



ОБЗОР ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ КОМПОЗИТНЫХ И ГИБРИДНЫХ КОНСТРУКЦИЙ БВС

Экспертно-аналитический доклад

ОБЗОР ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ КОМПОЗИТНЫХ И ГИБРИДНЫХ КОНСТРУКЦИЙ БВС

ЭКСПЕРТНО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ДОКЛАД

Санкт-Петербург

2025

Рецензенты:

Заслуженный работник высшей школы Российской Федерации, доктор технических наук,
профессор Высшей школы прикладной математики и вычислительной физики,
профессор Высшей школы передовых цифровых технологий СПбПУ

Ю. Я. Болдырев

Заместитель генерального директора

АНО «Федеральный центр беспилотных авиационных систем»

Д.С. Иванов

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 цифровых технологий обеспечения эксплуатации композитных и гибридных конструкций БВС. Экспертно-аналитический доклад.

В отчете представлены результаты аналитического исследования рынка цифровых технологий обеспечения эксплуатации композитных и гибридных конструкций беспилотных воздушных судов (БВС). Представлен анализ мирового и российского рынка БВС, а именно емкость рынков и темпы роста, структура отрасли БВС и характеристики ключевых игроков. Подробно рассмотрен объем рыночных сегментов беспилотных летательных систем (БАС) по направлениям применения для российского рынка. Приведен обзор видов композиционных материалов, применяемых в БВС, их влияние на характеристики элементов конструкций БВС, а также примеры применения подобных конструкций в России и мире. Рассмотрены особенности применения цифровых технологий для обеспечения эксплуатации композитных конструкций БВС, подкрепленные примерами, а также классификация и описание соответствующего программного обеспечения. Исследованы ключевые технологические и общеотраслевые тенденции, такие как повышение автономности, оптимизация конструкции, увеличение продолжительности полета и др., с примерами реализации в мировой практике и на российском рынке. Выявлены барьеры, препятствующие развитию отрасли как в мировом масштабе, так и риски, характерные для российского рынка, предложены пути их преодоления. Также сформулированы направления возможностей для роста, учитывающие ключевые технологические тенденции. Представлен обзор реализованных и разрабатываемых технологических проектов и научно-технологических достижений в сфере цифровых технологий, применяемых для обеспечения эксплуатации композитных и гибридных конструкций БВС, а также обозначены области специализации научно-производственных центров БАС в Российской Федерации. Проанализированы методы автоматизированного проектирования с применением современного численного моделирования, применяемые для обеспечения безопасной эксплуатации конструкций БВС. Рассмотрены механизмы внедрения цифровых технологий обеспечения эксплуатации композитных и гибридных конструкций БВС. Полученные в ходе подготовки экспертно-аналитического доклада результаты подкреплены данными опроса экспертов и участников рынка Национальной технологической инициативы (НТИ), проведенного Инфраструктурным центром «Технет» (передовые производственные технологии) при поддержке АНО «Платформа НТИ».

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

ОГЛАВЛЕНИЕ

СПИСОК РИСУНКОВ.....	5
СПИСОК ТАБЛИЦ.....	7
СОКРАЩЕНИЯ И ОБОЗНАЧЕНИЯ	9
ВВЕДЕНИЕ.....	11
ГЛАВА 1. АНАЛИЗ ТЕКУЩЕГО СОСТОЯНИЯ РАЗВИТИЯ ОТРАСЛИ.....	13
1.1. Объем рынка и структура отрасли БВС по состоянию на конец 2024 г.....	13
1.1.1. Объем и динамика мирового рынка.....	13
1.1.2. Объем и динамика российского рынка.....	28
1.2. Направления применения композитных и гибридных конструкций БВС.....	42
1.2.1. Применение композитных и гибридных конструкций БВС в мире.....	42
1.2.2. Применение композитных и гибридных конструкций БВС в России.....	51
1.3. Обзор цифровых технологий обеспечения эксплуатации композитных и гибридных конструкций БВС по состоянию на конец 2024 г.....	56
1.3.1. Обзор цифровых технологий обеспечения эксплуатации композитных и гибридных конструкций БВС в мире	56
1.3.2. Обзор цифровых технологий обеспечения эксплуатации композитных и гибридных конструкций БВС в России.....	72
ГЛАВА 2. АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВ РАЗВИТИЯ ОТРАСЛИ	84
2.1. Основные тенденции развития отрасли по состоянию на конец 2024 г.....	84
2.1.1. Основные тенденции развития отрасли в мире	84
2.1.2. Основные тенденции развития отрасли в России.....	97
2.2. Барьеры развития отрасли по состоянию на конец 2024 г.....	109
2.2.1. Барьеры развития отрасли в мире.....	109
2.2.2. Барьеры развития отрасли в России	117
2.3. Возможности для роста отрасли по состоянию на конец 2024 г.....	124
2.3.1. Возможности для роста отрасли в мире	124
2.3.2. Возможности для роста отрасли в России.....	129
ГЛАВА 3. КЛЮЧЕВЫЕ СОБЫТИЯ ОТРАСЛИ.....	136
3.1. Крупные технологические проекты и научно-технологические достижения	136
3.1.1. Крупные проекты и достижения в мире.....	136
3.1.2. Крупные проекты и достижения в России.....	152

ГЛАВА 4. ОСОБЕННОСТИ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ РАЗРУШЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С УЧЕТОМ УДАРНЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ.....	165
ГЛАВА 5. МЕХАНИЗМЫ ВНЕДРЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ КОМПОЗИТНЫХ И ГИБРИДНЫХ КОНСТРУКЦИЙ БВС.....	177
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	182
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. ПЕРЕЧЕНЬ КЛЮЧЕВЫХ ИГРОКОВ РОССИЙСКОГО РЫНКА	184
ГЛОССАРИЙ.....	205
БИБЛИОГРАФИЯ	211
ИЗДАНИЯ ЭКОСИСТЕМЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ СПБПУ	255
ОБ ИНФРАСТРУКТУРНОМ ЦЕНТРЕ НТИ ПО НАПРАВЛЕНИЮ «ТЕХНЕТ» СПБПУ	261

СПИСОК РИСУНКОВ

Рисунок 1. Структура ответов о текущем состоянии развития рынка БВС в мире, ед. ответов.....	14
Рисунок 2. Структура ответов о прогнозе роста мирового рынка БВС на 2030 год, ед. ответов..	14
Рисунок 3. Структура ответов об объеме мирового рынка БВС в 2024 году в количественном выражении, ед. ответов	14
Рисунок 4. Структура ответов о прогнозе роста мирового рынка БВС на 2030 год в количественном выражении, ед. ответов	15
Рисунок 5. Объем мирового рынка БВС в 2022–2030 годах, млрд долл. и соответствующие ему значения CAGR	16
Рисунок 6. Структура ответов о перспективных сферах для применения БВС на текущий момент и на горизонте до 2030 года, ед. ответов.....	18
Рисунок 7. Региональная структура мирового рынка БВС по состоянию на конец 2024 года, млрд долл., %.....	19
Рисунок 8. Структура ответов по текущему состоянию развития отрасли БВС в России, ед. ответов	28
Рисунок 9. Структура российского рынка БАС в 2024 г. по сегментам назначения, млрд руб., %.....	29
Рисунок 10. Полный объем российского рынка БАС в 2022–2030 годы, млрд руб.....	29
Рисунок 11. Структура ответов об объеме рынка БВС в России на 2024 год, ед. ответов.....	30
Рисунок 12. Структура ответов о прогнозе роста российского рынка БВС на 2030 год, ед. ответов	30
Рисунок 13. Структура ответов об объеме рынка БВС в России на 2024 год в количественном выражении, ед. ответов	31
Рисунок 14. Структура ответов о прогнозе роста российского рынка БВС на 2030 год в количественном выражении, ед. ответов.....	31
Рисунок 15. Структура ответов о лидирующих сферах для применения БВС на текущий момент в России, ед. ответов	33
Рисунок 16. Распределение предприятий-игроков российского рынка БАС в 2024 году по областям специализации, %.....	34
Рисунок 17. Структура ответов о распределении выручки организаций-участников рынка, %.....	35
Рисунок 18. Основные сегменты рынка композиционных материалов для БВС, %.....	44
Рисунок 19. Структура ответов по используемым при проектировании БВС материалам в мире на текущий момент и на горизонте до 2030 года, ед. ответов	46
Рисунок 20. Структура ответов по используемым при проектировании БВС материалам в России на текущий момент и на горизонте до 2030 года, ед. ответов	55

Рисунок 21. Доля композиционных материалов в конструкции самолетов Airbus	61
Рисунок 22. Доля композиционных материалов в конструкции самолетов Boeing	61
Рисунок 23. Беспилотный летательный аппарат «Снегирь-1».....	73
Рисунок 24. Структура ответов об использовании специализированного ПО при проектировании БВС, в том числе композитных и гибридных конструкций БВС, ед. ответов.....	80
Рисунок 25. Структура ответов об используемых функциональных возможностях САД-систем при проектировании БВС, в том числе композитных и гибридных конструкций БВС, ед. ответов.....	81
Рисунок 26. Структура ответов об используемых функциональных возможностях САЕ-систем при проектировании БВС, в том числе композитных и гибридных конструкций БВС, ед. ответов.....	82
Рисунок 27. Структура ответов об используемых функциональных возможностях САМ-систем при проектировании БВС, в том числе композитных и гибридных конструкций БВС, ед. ответов.....	83
Рисунок 28. Структура ответов с основными тенденциями на рынке БВС в России и в мире, ед. ответов	85
Рисунок 29. Ключевые направления применения БВС в мире, % оценок респондентов	86
Рисунок 30. Основные барьеры и вызовы, замедляющие развитие отрасли БВС по состоянию на 2023 год, % респондентов, отметивших рассматриваемый фактор как значимый.....	110
Рисунок 31. Изменение значимости основных барьеров отрасли БВС: сравнение 2023 и 2024 года.....	111
Рисунок 32. Структура ответов об основных барьерах развития отрасли БВС в мире, ед. ответов	116
Рисунок 33. Структура ответов по основным барьерам развития отрасли БВС в России, ед. ответов	121
Рисунок 34. Структура ответов о необходимых для принятия мерах поддержки отрасли на государственном уровне для дальнейшего развития отрасли в России, ед. ответов.....	132
Рисунок 35. Тематическая структура проектов резидентов НПЦ БАС в области ИИ	153
Рисунок 36. Соотношение материалов, использующихся в конструкции Airbus A350 (52 % композиционные материалы).....	165
Рисунок 37. Основные силовые элементы и материалы БПЛА– Снегирь.....	166
Рисунок 38. Концепция уровней многомасштабного моделирования для КМ.....	168
Рисунок 39. Микроуровневый подход для определения характеристик композиционных материалов для программного комплекса Digimat.....	172
Рисунок 40. Примеры моделирования Digimat с учётом технологического процесса.....	173
Рисунок 41. Цифровые (виртуальные) испытательные стенды и полигоны для проведения цифровых испытаний беспилотных летательных аппаратов на цифровой платформе CML-Bench®, разрабатываемые в рамках реализации Стратегии развития беспилотной авиации РФ	176

СПИСОК ТАБЛИЦ

Таблица 1. Оценки и прогнозы объема мирового рынка БВС в 2023–2030 годах	13
Таблица 2. Оценки роста рынка информатики материалов (Materials Informatics)	15
Таблица 3. Характеристики основных игроков зарубежного рынка отрасли	20
Таблица 4. Характеристики основных игроков российского рынка БВС	36
Таблица 5. Распространенные типы композиционных материалов, используемые в конструкциях БВС	44
Таблица 6. Влияние применяемых композиционных материалов на характеристики элементов конструкций БВС	47
Таблица 7. США: анализ примеров применения композитных и гибридных конструкций БВС.....	47
Таблица 8. Франция: анализ примеров применения композитных и гибридных конструкций БВС.....	49
Таблица 9. Израиль: анализ примеров применения композитных и гибридных конструкций БВС.....	50
Таблица 10. Турция: анализ примеров применения композитных и гибридных конструкций БВС	50
Таблица 11. Иран: анализ примеров применения композитных и гибридных конструкций БВС... ..	51
Таблица 12. Анализ примеров применения композитных и гибридных конструкций БВС в России	52
Таблица 13. Классификация и описание цифровых технологий обеспечения эксплуатации композитных и гибридных конструкций БВС в мире	57
Таблица 14. Классификация и описание программного обеспечения для моделирования и анализа, в том числе процессов эксплуатации композитных и гибридных конструкций БВС в мире.....	62
Таблица 15. Описание и особенности применения цифровых технологий для обеспечения эксплуатации композитных и гибридных конструкций БВС в мире.....	65
Таблица 16. Кейсы применения цифровых технологий для обеспечения эксплуатации композитных и гибридных конструкций БВС в мире.....	69
Таблица 17. Описание и особенности применения цифровых технологий для обеспечения эксплуатации композитных и гибридных конструкций БВС в России	74
Таблица 18. Кейсы применения цифровых технологий для обеспечения эксплуатации композитных и гибридных конструкций БВС в России.....	79
Таблица 19. Повышение автономности БВС за счет программно-аппаратных средств управления полетом и обработки данных: технологические решения и примеры их реализации на мировом рынке	87
Таблица 20. Оптимизация конструкции, в т.ч. за счет использования передовых композиционных материалов и применения модульного подхода: технологические решения и примеры их реализации на мировом рынке	89

Таблица 21. Увеличение продолжительности полета за счет увеличения срока службы батареи и совершенствования работы двигателя: технологические решения и примеры их реализации на мировом рынке.....	91
Таблица 22. Реорганизация систем связи: стандартизация протоколов и использование современных и перспективных сетей мобильной связи: технологические решения и примеры их реализации на мировом рынке	92
Таблица 23. Развитие технологий производства БВС, в частности за счет использования аддитивных технологий и наращивания доли композиционных материалов: технологические решения и примеры их реализации на мировом рынке	95
Таблица 24. Ключевые технологические тенденции, решения и примеры их реализации на российском рынке.....	98
Таблица 25. Ключевые направления применения БВС, основные сценарии и области применения, технологические решения и примеры реализации указанных направлений на российском рынке.....	104
Таблица 26. Основные пути преодоления барьеров развития отрасли	113
Таблица 27. Перечень барьеров и рисков развития отрасли в России.....	118
Таблица 28. Военно–технические вызовы и меры по их преодолению в отрасли БВС.....	120
Таблица 29. Перечень возможностей для роста отрасли в мире с учетом ключевых технологических тенденций	125
Таблица 30. Перечень возможностей для роста отрасли в мире с учетом с учетом преодоления ключевых барьеров.....	126
Таблица 31. Перечень возможностей для роста отрасли в России с учетом ключевых технологических тенденций.....	130
Таблица 32. Перечень возможностей для роста отрасли в России с учетом с учетом преодоления ключевых барьеров.....	133
Таблица 33. Основные реализованные технологические проекты и научно–технологические достижения в сфере цифровых технологий обеспечения эксплуатации композитных и гибридных конструкций БВС в мире.....	137
Таблица 34. Основные технологические проекты на стадии разработки в сфере цифровых технологий обеспечения эксплуатации композитных и гибридных конструкций БВС в мире	146
Таблица 35. Основные реализованные технологические проекты и научно–технологические достижения в сфере цифровых технологий обеспечения эксплуатации композитных и гибридных конструкций БВС в России.....	155
Таблица 36. Основные технологические проекты на стадии разработки в сфере цифровых технологий обеспечения эксплуатации композитных и гибридных конструкций БВС в России ..	158
Таблица 37. Основные критерии для численного описания разрушения полимерных композиционных материалов (реализация у основных разработчиков ПО).....	171

СОКРАЩЕНИЯ И ОБОЗНАЧЕНИЯ

Аббревиатура	Расшифровка	Перевод на русский язык
БАС	Беспилотная авиационная система [1]	-
БВС	Беспилотное воздушное судно [1]	-
БЛА (БПЛА)	Беспилотный летательный аппарат [1]	-
ГИС	Геоинформационная система	-
ИИ	Искусственный интеллект	-
ЛТХ	Летно-техническая характеристика	-
ЛЭП	Линия электропередачи	-
НИОКР	Научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы	-
НИР	Научно-исследовательская работа	-
НПЦ	Научно-производственный центр	-
ПКМ	Полимерные композиционные материалы	-
ПО	Программное обеспечение	-
ПЭО (RVE)	Representative Volume Element	Представительные элементы объема
ТЭК	Топливо-энергетический комплекс	-
ЭПР	Экспериментальный правовой режим	-
BVLOS	Beyond Visual Line Of Sight	Эксплуатация беспилотного воздушного судна вне прямой видимости (за преде- лами 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, Системы автоматизации изготовления/ производства* [2]
CTOL	Conventional Take-Off and Landing	Летательный аппарат, требующий взлетно-посадочных полос для взлета и посадки
DaaS	Drone-as-a-Service	Дрон как услуга

Аббревиатура	Расшифровка	Перевод на русский язык
eVTOL	Electric Vertical Take-Off and Landing	Электрический летательный аппарат вертикального взлета и посадки
GPS	Global Positioning System	Спутниковая система навигации [2]
HALE	High Altitude Long Endurance	Высотные БВС большой продолжительности полета [3]
IoT	Internet of Things	Интернет вещей
IIoT	Industrial Internet of Things	Промышленный интернет вещей
LALE	Low Altitude, Long Endurance	Маловысотные БПЛА большой продолжительности полета
MALE	Medium-Altitude Long-Endurance	Средневысотные БПЛА большой продолжительности полета [3]
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*
SPDM	Simulation Processes and Data Management	Средства управления процессами и данными компьютерного моделирования [2]
UAM	Urban Air Mobility	Городская воздушная мобильность
VTOL	Vertical Take-Off and Landing	Беспилотное воздушное судно вертикального взлета и посадки

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

ВВЕДЕНИЕ

Экспертно-аналитический доклад подготовлен Инфраструктурным центром «Технет» СПбПУ, в том числе с использованием данных опросов экспертов и участников рынка Национальной технологической инициативы (НТИ). Результаты исследования направлены на содействие решению стратегических задач, связанных с достижением технологического лидерства и обеспечением технологического суверенитета Российской Федерации, что особенно важно в условиях усиливающейся глобальной конкуренции. Также настоящий доклад вносит важный вклад в формирование научно-технологического задела для сбалансированного и устойчивого развития отрасли беспилотных воздушных судов (далее – БВС). Актуальность настоящего доклада подтверждается в том числе текущими государственными инициативами, такими как, например, создание отдельного рода войск беспилотных систем [4].

Экспертно-аналитический доклад посвящён комплексному анализу отрасли беспилотных воздушных судов – от текущего состояния отечественного рынка в сравнении с мировым до выделения основных экономических и технологических тенденций и возможностей развития в средне- и долгосрочной перспективе. Ключевым аспектом настоящего исследования выступает анализ использования композиционных материалов и цифровых технологий при проектировании БВС, и их влияния на основные характеристики БВС.

Появление первых беспилотных летательных аппаратов (далее – БПЛА) на стыке XIX и XX вв. было обусловлено решением узкоспециализированных задач. По мере технологической эволюции роль БВС значительно изменилась: они превратились в универсальный инструмент, активно внедряемый в различные сферы – логистика, строительство, безопасность и др. Так в настоящее время БВС выделяют в отдельную ключевую стратегическую зону с широким спектром применения, а государства-технологические лидеры уделяют отдельное внимание её поддержке и развитию. Например, в России поддержка развития БВС реализуется на государственном уровне через ключевые инициативы – Стратегия развития беспилотной авиации до 2030 года и на перспективу до 2035 года и Национальный проект «Беспилотные авиационные системы». В настоящем докладе рассматриваются как отечественные, так и зарубежные современные крупные технологические проекты и научно-технологические достижения в сфере БВС, что позволяет провести объективный сравнительный анализ и определить лучшие практики.

По состоянию на конец 2024 года отрасль БВС, включая сопряжённые с ней цифровые технологии проектирования и эксплуатации, а также разработки с применением композитных и гибридных конструкций, демонстрирует устойчивый рост и активное развитие. Перспективы развития сектора напрямую связаны с глобальными экономическими и технологическими трендами, включая распространение «сквозных» цифровых технологий. Однако нормативно-правовая среда пока не в полной мере отвечает требованиям быстроразвивающегося сектора, что замедляет внедрение инноваций и масштабирование проектов. В связи с этим в настоящем докладе подробно анализируются основные мировые и национальные тенденции развития отрасли БВС, а также ключевые барьеры и ограничения, замедляющие её рост.

К 2024 году во всём мире наблюдается устойчивый рост интереса к цифровым технологиям, применяемым для проектирования, производства и эксплуатации композитных и гибридных конструкций БВС. Ведущими факторами такого роста выступают стремление к оптимизации себестоимости,

увеличению надёжности, а также соответствие повышенным требованиям к безопасности. В рамках настоящего доклада рассматриваются ключевые технологии применительно к сфере БВС (инженерное программное обеспечение, аддитивное производство и др.), в том числе придается особое значение технологии цифровых двойников.

В целях сбора и систематизации информации для анализа текущего состояния и перспектив развития отрасли рынка, основных тенденций, барьеров (в т.ч. технологических) и возможностей для роста, а также ключевых событиях отрасли в рамках текущего исследования Инфраструктурным центром «Технет» при поддержке АНО «Платформа НТИ» проведен опрос организаций-участников рынка НТИ и формируемого рынка БАС. Опрос был направлен 150 ключевым представителям рынка БАС в России (полный перечень ключевых игроков рынка: разработчиков и производителей БАС, разработчиков программных решений для БАС – представлен в приложении №1 к настоящему отчету). Ответы были получены от 16 респондентов, включая представителей ООО «БАС», Концерн ВКО «Алмаз-Антей», АО «ОДК», АО «ГТЛК», АО «Технопарк Санкт-Петербурга», АО «Эколибри», АО «НИИАС», АО «ЦАРС», ООО «Флайтус», ООО «Солююд Аэриал», ООО «ТЕСИС», ФГАОУ «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева», ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ». Результаты опроса представлены сквозным образом в соответствующих разделах настоящего отчета.

В четвертой главе экспертно-аналитического доклада приводится подробный анализ современных методов автоматизированного проектирования композитных и гибридных конструкций БВС с применением современного численного моделирования. В связи с высокой актуальностью данного вопроса также формируются предварительные методологические основы разработки цифровых моделей в части расчета динамических процессов ударного воздействия на композитную конструкцию и оценки несущей способности конструкций с учетом ударного повреждения. Полученные наработки могут лечь в основу стандартизации цифровых моделей в аэрокосмической отрасли, а также послужить базой для дальнейших научных исследований и разработок.

В заключительной главе настоящего доклада описываются наиболее актуальные механизмы внедрения цифровых технологий обеспечения эксплуатации композитных и гибридных конструкций БВС, а также примеры их реализации на практике.

ГЛАВА 1. АНАЛИЗ ТЕКУЩЕГО СОСТОЯНИЯ РАЗВИТИЯ ОТРАСЛИ

В настоящем разделе представлен анализ текущего состояния развития отрасли БВС по состоянию на конец 2024 года по тематическим блокам (подразделам):

- объем рынка и структура отрасли БВС;
- направления применения композитных и гибридных конструкций БВС;
- обзор цифровых технологий обеспечения эксплуатации композитных и гибридных конструкций БВС.

В рамках каждого подраздела рассматриваются особенности и динамика мирового и российского рынков.

1.1. Объем рынка и структура отрасли БВС по состоянию на конец 2024 г.

1.1.1. Объем и динамика мирового рынка

По состоянию на конец 2024 года объем мирового рынка БВС оценивался международными аналитическими агентствами и консалтинговыми организациями в диапазоне от 23,5 млрд до 39,5 млрд долл. (Таблица 1).

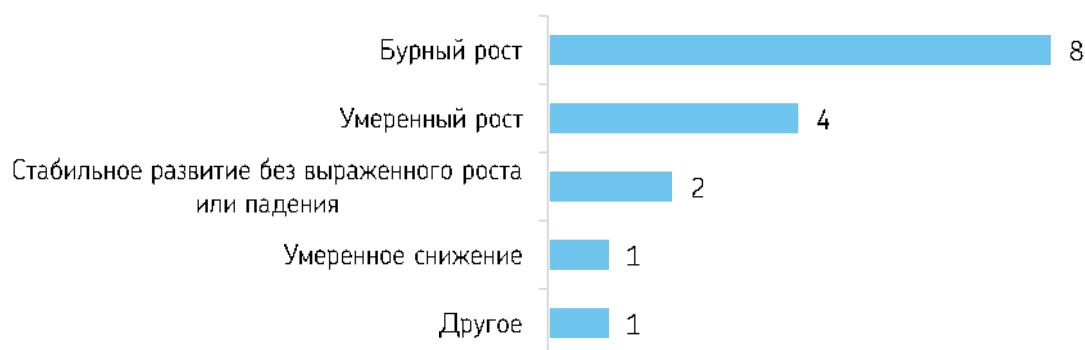
Таблица 1. Оценки и прогнозы объема мирового рынка БВС в 2023–2030 годах

Организация	Год публикации отчета	Объем рынка, млрд долл.				CAGR	Прогноз-ный период
		Оценка		Прогноз			
		2023	2024	2029	2030		
Drone Industry Insights [5]	2023	33,7	36,4	51,1	54,6	7,1%	2023–2030
BCC Research [6]	2024	30,4	–	61,2	–	12,6%	2024–2029
Precedence Research [7]	2024	32	37,2	79,1	92	15,5%	2024–2034
Markets and Markets [8]	2024	28,2	30,2	48,5	–	9,9%	2024–2029
Market.us Scoop [9]	2024	33,4	36,8	59,6	65,6	10,1%	2024–2033
Fortune Business Insights [10]	2025	31,7	–	–	91,2	16,3%	2023–2030
Market Research Future [11]	2025	23,5	24,8	–	–	7,6%	2025–2034
The Business Research Company [12]	2025	34,2	39,5	68,1	–	14,6%	2025–2029

Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным открытых источников

По результатам проведенного Инфраструктурным центром «Технет» опроса, текущее состояние развития рынка БВС в мире оценивается российскими участниками как бурный рост. Распределение полученных ответов представлено на рисунке 1. Категория ответа «Другое» включает бурный рост рынка в военном сегменте и умеренный – в гражданском сегменте.

Рисунок 1. Структура ответов о текущем состоянии развития рынка БВС в мире, ед. ответов



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по результатам опроса

Объем рынка БВС в мире на 2024 год, по мнению респондентов, составляет 30–45 млрд долл., один респондент дает оценку в 10 млрд долл. Прогнозы роста мирового рынка БВС к 2030 году демонстрируют существенный разброс оценок (Рисунок 2).

Рисунок 2. Структура ответов о прогнозе роста мирового рынка БВС на 2030 год, ед. ответов



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по результатам опроса

Распределение ответов респондентов относительно объема мирового рынка БВС в 2024 году в количественном выражении представлено на Рисунке 3. Большая часть респондентов оценивают его в 12 млн до 15 млн шт. Вместе с тем эксперты указывают на существенные различия в структуре рынка: гражданский сектор занимает ведущую позицию по количеству единиц продукции, а военный сектор – по стоимости.

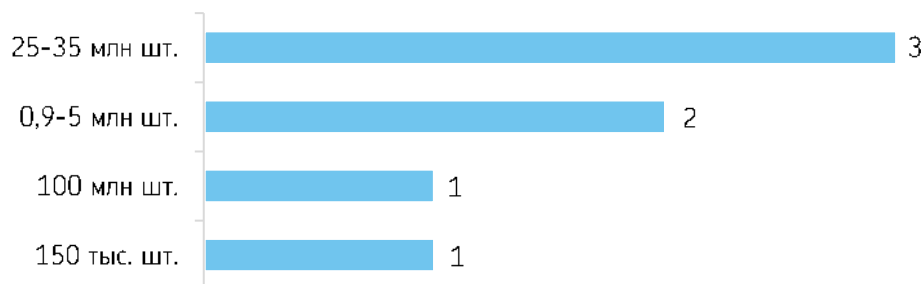
Рисунок 3. Структура ответов об объеме мирового рынка БВС в 2024 году в количественном выражении, ед. ответов



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по результатам опроса

Прогнозы респондентов относительно количественного роста мирового рынка БВС к 2030 году также неоднозначны. Большая часть экспертов полагают, что рынок достигнет объема 25–35 млн шт. Структура распределения прогнозов представлена на Рисунке 4.

Рисунок 4. Структура ответов о прогнозе роста мирового рынка БВС на 2030 год в количественном выражении, ед. ответов



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по результатам опроса

По состоянию на конец 2024 года объем мирового рынка информатики материалов (Materials Informatics), тесно связанный с развитием использования композиционных материалов БВС, оценивался международными аналитическими агентствами и консалтинговыми организациями в диапазоне от 173 млн до 248 млн долл. (Таблица 2).

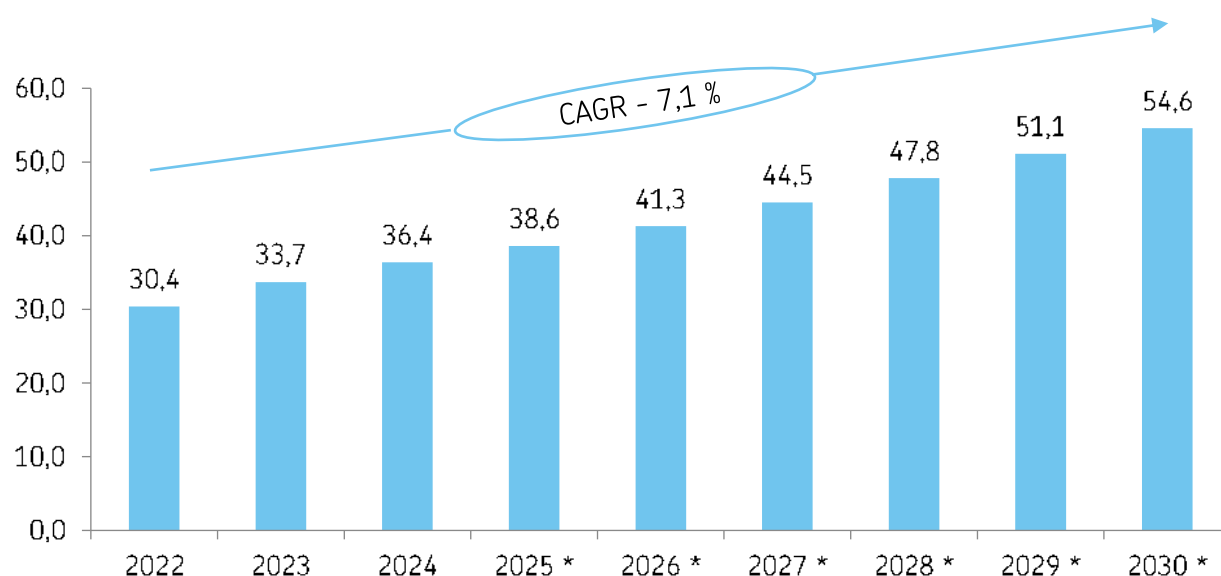
Таблица 2. Оценки роста рынка информатики материалов (Materials Informatics)

Организация	Год публикации отчета	Объем рынка, млн долл.				CAGR	Прогнозный период
		Оценка		Прогноз			
		2024	2025	2030	2034		
Precedence Research [13]	2025	173,0	208,4	–	1 139,5	20,8	2025-2034
Polaris Market Research [14]	2024	154,8	179,9	–	705,2	16,4	2025-2034
MarketsandMarkets [15,16]	2025	–	170,4	410,4	–	19,2	2025-2030

Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным открытых источников

Оценки перспективной динамики рынка БВС достаточно оптимистичны. Однако необходимо отметить, что специалисты международной консалтинговой организации Drone Industry Insights (Droneii), специализирующейся на анализе рынка коммерческих беспилотных аппаратов, ожидают менее интенсивный рост рынка, чем представители консалтинговых организаций более широкого профиля. Так, согласно отчету аналитического агентства Fortune Business Insights [10], объем рынка БВС к 2030 году составит 91,2 млрд долл. с учетом среднегодового темпа роста 16,3%, в то время как в материалах Droneii [5] объем рынка оценивается в размере 54,6 млрд долл., среднегодовой темп роста – в размере 7,1% соответственно. Более подробная динамика мирового рынка БВС в 2022–2030 годах представлена на графике ниже (Рисунок 5).

Рисунок 5. Объем мирового рынка БВС в 2022–2030 годах, млрд долл. и соответствующие ему значения CAGR



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по материалам Drone Industry Insights [5]

Наиболее значимым сегментом рынка БВС, по оценкам Droneii [5], являются услуги, на которые приходится больше 80% совокупного объема. Доля физических систем при этом оценивается в 16%, программного обеспечения (ПО) – в 3,9%.

По типу конструкции на мировом рынке лидируют БВС мультироторного типа (rotary-wing или rotary blade), включая вертолетные, на которые приходится от 60% [9] до 80% (в случае коммерческих БВС) [17] от общего объема рынка. В частности, консалтинговая компания Fortune Business Insights [18] оценивает объем рынка мультироторных БВС в 2024 году в 25,4 млрд долл. Беспилотные воздушные суда мультироторного типа в основном относятся к мини и микроклассам БВС. Ключевыми преимуществами конструкции являются возможность вертикальной посадки и взлета, а также способность зависать в воздухе. В то же время мультироторные БВС требуют значительного объема энергии для поддержания полета и, как правило, способны преодолевать меньшие расстояния. БВС мультироторного типа преимущественно используются для мониторинга, аэрофото- и видеосъемки, доставки грузов, проведения сельскохозяйственных работ (распыление средств защиты растений и др.), образовательной, спортивной и развлекательной деятельности [19].

На БВС самолетного типа (fixed-wing), включая БВС самолетного типа вертикального (укороченного) взлета и посадки (vertical take-off and landing, VTOL) по состоянию на конец 2024 года приходится от 20% до 40% общего объема мирового рынка БВС, в частности, 8,7 млрд долл. по оценкам Market Research Future [20]. Ключевыми преимуществами конструкции в рассматриваемом случае являются возможность продолжительного полета на значительные расстояния на существенной высоте, большая подъемная сила по сравнению с мультироторными БВС и простота обслуживания при относительно невысокой стоимости. В то же время для эксплуатации большинства БВС самолетного типа необходима взлетно-посадочная полоса или стартовая катапульта [19].

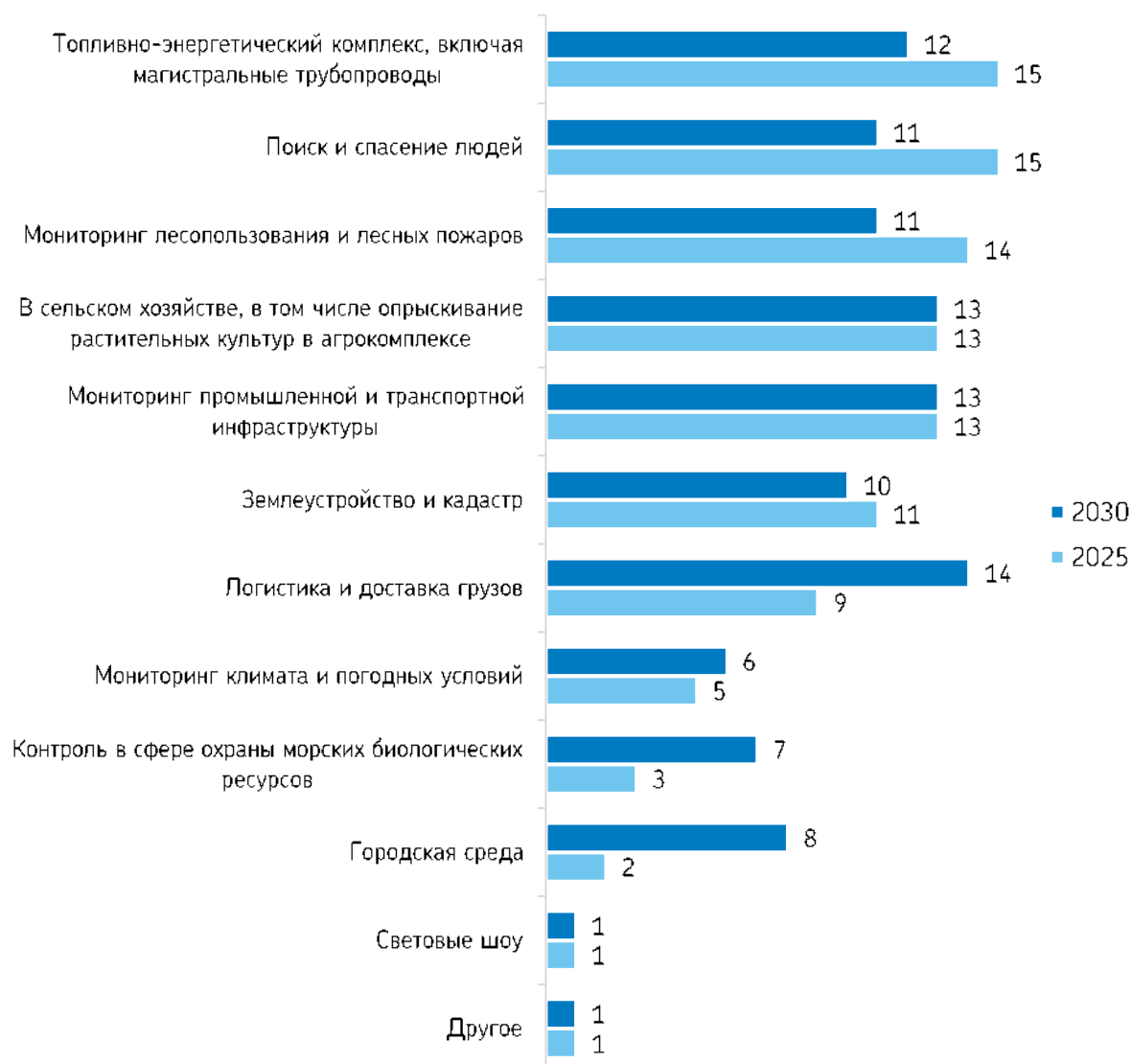
В настоящее время разрабатываются также БВС самолетного типа вертикального (укороченного) взлета и посадки или БВС гибридного типа, при этом доля рынка БВС, приходящаяся на них непосредственно, составляет около 6,5% (1,6 млрд долл.) [20]. Беспилотные воздушные суда самолетного типа преимущественно используются при картографировании и аэрофотосъемке больших территорий, перевозке тяжелых грузов и т.д.

Необходимо отметить, что в сфере создания БВС с момента появления этого класса воздушных судов, в связи со стремлением разработчиков сконструировать аппараты максимально легкими и малозаметными для радаров, активно используются композиционные материалы [21]. Композиционные материалы отличаются высокой прочностью на разрыв, что позволяет обеспечивать высокую маневренность БВС и устойчивость к турбулентности. Композиционные материалы также устойчивы к коррозии, что увеличивает срок эксплуатации изделий и снижает потребность в обслуживании [22]. Свойства композиционных материалов позволяют сделать БВС малозаметными и малозаметными для радаров, что дополнительно увеличивает привлекательность данного типа материалов в военной сфере. На сегодняшний день использование композиционных материалов, в особенности углепластиков, стало общераспространенной практикой при создании тяжелых/дорогостоящих БВС [23].

Лидирующим сегментом-потребителем БВС, по оценкам международных консалтинговых организаций, является оборонно-промышленный комплекс. В частности, аналитическое агентство Precedence Research оценивает объем рынка военных БВС в 2024 году в 15,7 млрд долл. [24] (примерно 42% от общего объема рынка). Среди гражданских отраслей применения беспилотных воздушных судов необходимо отметить сельское хозяйство, строительство и недвижимость, энергетику, нефтегазовую отрасль, транспорт и логистику. При этом сельское хозяйство является одной из самых активно развивающихся областей применения БВС. Беспилотные воздушные суда используются для мониторинга состояния посевов, аэрофотосъемки и обработки полей. В строительной отрасли БВС применяются для контроля за ходом работ, создания 3D-моделей и кадастрового учета; в транспортной сфере – для доставки грузов и мониторинга дорожной ситуации; в энергетическом секторе – для осмотра инфраструктуры и проверки оборудования, в нефтегазовой отрасли БВС играют важную роль в оценке состояния оборудования.

По результатам опроса, проведенного Инфраструктурным центром «Технет», ведущими сферами применения БВС, по мнению российских представителей рынка, на текущий момент являются топливно-энергетический комплекс, включая магистральные трубопроводы, поиск и спасение людей, мониторинг лесопользования и лесных пожаров; к 2030 году – логистика и доставка грузов, использование в сельском хозяйстве, в том числе опрыскивание растительных культур в агрокомплексе (Рисунок 6).

Рисунок 6. Структура ответов о перспективных сферах для применения БВС на текущий момент и на горизонте до 2030 года, ед. ответов



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по результатам опроса

В разрезе сфер применения респондентами отмечены следующие лидирующие решения (включая разработчика, модель и страну происхождения):

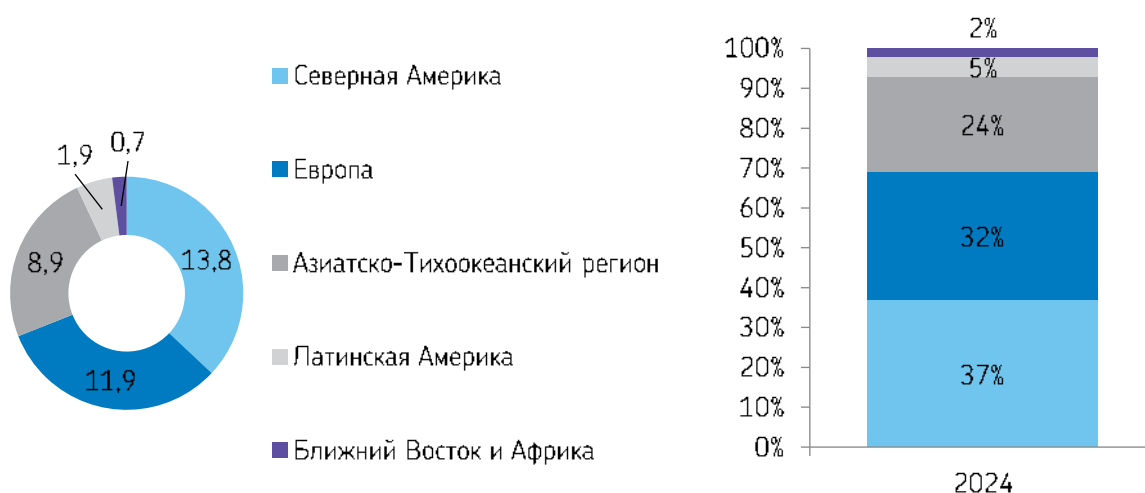
- мониторинг климата и погодных условий: страна-лидер – США;
- мониторинг лесопользования и лесных пожаров: разработчик и модель Matrice 350 RTK разработчика DJI (Китай);
- контроль в сфере охраны морских биологических ресурсов: страны-лидеры – США, Австралия, Норвегия и страны Европейского союза;
- топливо-энергетический комплекс, включая магистральные трубопроводы: страны-лидеры – США, Китай;
- мониторинг промышленной и транспортной инфраструктуры: страны-лидеры – США и

Китай, модель Matrice разработчика DJI (Китай);

- в сельском хозяйстве, в том числе опрыскивание растительных культур в агрокомплексе: модель Agras T40 разработчика DJI (Китай);
- логистика и доставка грузов: страна-лидер – США;
- землеустройство и кадастр: страны-лидеры – США и Китай, модель – Phantom 4 RTK разработчика DJI (Китай);
- световые шоу: страна-лидер – Китай;
- городская среда: страна-лидер – Китай;
- поиск и спасение людей: модели Mavic 3 разработчика DJI с модификациями (Китай) и Skydio X10 разработчика Skydio (США).

Регионом-лидером мирового рынка БВС является Северная Америка, на которую, по оценкам консалтинговой организации Precedence Research, приходится 37% общего объема рынка по состоянию на конец 2024 года (Рисунок 7).

Рисунок 7. Региональная структура мирового рынка БВС по состоянию на конец 2024 года, млрд долл., %



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по материалам Precedence Research [25]

Отраслевые эксперты прогнозируют сохранение доминирования Северной Америки на рассматриваемом рынке в горизонте до 2034 года, прежде всего за счет растущего спроса на военные и коммерческие разработки в таких странах, как Канада и США. При этом наиболее динамичный рост, по оценкам международных консалтинговых организаций, будет демонстрировать Азиатско-Тихоокеанский регион (АТР), где ожидается наращивание производства, в том числе изначальной комплектации, в 2025–2034 годах.

В рамках экосистемы рынка БВС в число основных стейкхолдеров входят как компании-гиганты, лидирующие в области оборонно-промышленных технологий, авиации и ИТ, так и профильные игроки, непосредственно специализирующиеся на производстве беспилотных воздушных судов, компонентов и профильного программного обеспечения. Ниже подробнее рассмотрены основные игроки зарубежного рынка БВС, выделенные на основании данных международных консалтинговых организаций и аналитических агентств (в частности, BCC Research [26] и Drone U [27]), за

исключением компаний-представителей стран БРИКС (Таблица 3).

Таблица 3. Характеристики основных игроков зарубежного рынка отрасли

№	Название компании	Страна	Выручка за 2024 год, млн долл.	Сфера деятельности
1	Trimble	США	1 504,00 [28]	Разработка промышленных технологий и решений на основе БВС для сбора геопространственных данных, повышения точности позиционирования и интеграции с аналитическими платформами [29]. Специализация: разработка ПО
2	Bentley Systems	США	1 350,00 [30]	Разработка программных решений с интеграцией «беспилотных» технологий для инфраструктурного проектирования, строительства и градостроительного планирования, обеспечивая повышение эффективности и результативности проектов на глобальном уровне [30]. Специализация: разработка ПО
3	AgEagle Aerial Systems	США	1 057,00 (за 9 месяцев, до 30.09.2024 г.) [31]	Разработка БПЛА для сельского хозяйства, картографии, логистики [32]. Специализация: производство БВС и компонентов
4	AeroVironment	США	716,72 [33]	Разработка беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), систем управления, энергетических решений для военных и коммерческих целей [34]. Специализация: производство БВС и компонентов
5	Insitu	США	240,00 (по оценке сервиса Growjo) [35]	Создание технологий, которые обеспечивают безопасность, мониторинг и сбор данных в сложных условиях, что делает их ключевым игроком в сфере оборонных и промышленных беспилотных систем [36]. Специализация: производство БВС и компонентов
6	Skydio	США	210,90 (по оценке сервиса Growjo) [37]	Разработка и производство автономных БВС с использованием технологий искусственного интеллекта и компьютерного зрения для применения в различных сферах, включая видеосъемку, осмотр инфраструктуры, общественную безопасность и оборону [38]. Специализация: производство БВС и компонентов

№	Название компании	Страна	Выручка за 2024 год, млн долл.	Сфера деятельности
7	ESRI	США	186,30 (по оценке сервиса Growjo) [39]	разработка геоинформационной платформы ArcGIS, интегрирующей данные БВС, спутников и IoT-устройств для анализа пространственной информации, поддержки принятия решений в урбанистике, управлении ресурсами, логистике и реагировании на ЧС [40]. Специализация: разработка ПО
8	Parrot	Франция	85,91 (по курсу на 14.04.2025 г.) [41]	Производство БВС, IoT-решений, ПО для корпоративного сектора [42]. Специализация: разработка ПО
9	Wingtra	Швейцария	63,00 (по оценке сервиса Growjo) [43]	Производство профессиональных БВС для аэрофотосъемки, картографии и геодезии [44]. Специализация: производство БВС и компонентов
10	Flyability	Швейцария	47,70 (по оценке сервиса Growjo) [45]	Производство БВС для инспекций в ограниченном пространстве (тоннели, резервуары) [46]. Специализация: производство БВС и компонентов
11	DroneDeploy	США	44,80 (по оценке сервиса Growjo) [47]	Использование алгоритмов обработки изображений и машинного обучения для создания 3D-моделей, карт высокого разрешения и аналитики в реальном времени в таких отраслях, как строительство, сельское хозяйство, горнодобывающая промышленность и страхование [48]. Специализация: разработка ПО
12	Airobotics	Израиль	36,40 (по оценке сервиса Growjo) [49]	Разработка и производство полностью автономных систем БВС для промышленного, коммерческого применения, обеспечения безопасности, сельского хозяйства, инспекции и картографирования [50]. Специализация: производство БВС и компонентов
13	Propeller Aero	Австралия	32,00 (по оценке сервиса Growjo) [51]	Разработка комплексных аппаратно-программных решений для сбора и анализа аэроданных в строительстве и горнодобывающей отрасли, облачная аналитика для визуализации хода работ, управления запасами и выполнения объемных расчетов с целью оптимизации операций и снижения рисков [52]. Специализация: разработка ПО
14	Brinc	США	29,30 (по оценке сервиса Growjo) [53]	Разработка БВС для экстренной доставки, поисково-спасательных операций и IoT-решений [54].

№	Название компании	Страна	Выручка за 2024 год, млн долл.	Сфера деятельности
				Специализация: производство БВС и компонентов
15	Airspace Link	США	19,90 (по оценке сервиса Growjo) [55]	Разработка платформы AirHub для безопасной интеграции БВС в национальное воздушное пространство и локальные сообщества, обеспечивая планирование полетов, авторизацию воздушного пространства (LAANC), управление флотами БВС [56]. Специализация: разработка ПО
16	Delair	Франция	17,10 (по оценке сервиса Growjo) [57]	Производство промышленных БВС, аналитика данных для сельского хозяйства, энергетики и логистики [58]. Специализация: производство БВС и компонентов
17	FreeFly	США	16,60 (по оценке сервиса Growjo) [59]	Разработка и производство профессионального оборудования для кино- и видеопроизводства, включая БВС, стабилизаторы камеры, высокоскоростные камеры [60]. Специализация: производство БВС и компонентов
18	Pix4D	Швейцария	14,70 (по оценке сервиса getlatka) [61]	Разработка фотограмметрического ПО для преобразования аэрофотоснимков в точные 3D-модели, ортомозаики и облака точек, используемые в сельском хозяйстве, строительстве, геодезии и экологии [62]. Специализация: разработка ПО
19	Orqa International	Хорватия	12,84 (по курсу на 04.04.2025 г.) [63]	Разработка и производство высококачественных FPV-очков, компонентов для беспилотных систем, а также инновационных решений для образовательных программ [64]. Специализация: производство БВС и компонентов
20	Guardian Agriculture	США	7,80 (по оценке сервиса Growjo) [65]	Разработка беспилотных авиационных систем для устойчивого сельского хозяйства, обеспечивающих точное аэроопыление, оптимизацию химикатов, повышение урожайности и снижение экологического воздействия [66]. Специализация: производство БВС и компонентов
21	Draganfly	Канада	6,56 [67]	Разработка и производство БВС для обеспечения общественной безопасности, здравоохранения и оперативного реагирования в чрезвычайных ситуациях [68].

№	Название компании	Страна	Выручка за 2024 год, млн долл.	Сфера деятельности
				Специализация: производство БВС и компонентов
22	Airdata	США	1,40 (по оценке сервиса getlatka) [69]	Разработка облачной платформы для управления парками БВС, обеспечивающей сбор данных полетов в реальном времени, анализ безопасности, отслеживание обслуживания, планирование миссий и контроль сертификаций пилотов для повышения эффективности и соблюдения нормативов [70]. Специализация: разработка ПО
23	Maps Made Easy	США	Н/Д	Разработка облачной платформы для картографии с применением беспилотных воздушных судов, позволяющей планировать полеты, обрабатывать аэрофотоснимки с помощью алгоритмов 3D-моделирования и геопривязки, а также создавать детализированные карты и 3D-модели для визуализации, измерений и анализа в строительстве, сельском хозяйстве и геодезии [71]. Специализация: разработка ПО
24	VOTIX	США	Н/Д	Разработка аппаратно-независимой платформы для полной автоматизации и удаленного управления БВС, поддерживающей расширенные сценарии (BVLOS, Drone-in-a-Box), которая применяется в инспекциях, картографии, доставке, наблюдении и экстренном реагировании [72]. Специализация: разработка ПО

Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным открытых источников

Trimble

Компания основана в 1978 году в США. Trimble специализируется на промышленных технологиях, предлагая решения для сбора и анализа геопространственных данных с помощью БВС. Компания развивает партнерства (например, с DroneDeploy) для повышения точности позиционирования и автоматизации рабочих процессов, что критически важно для строительства, сельского хозяйства и инфраструктурных проектов. Интеграция БВС-технологий с аналитическими платформами позволяет Trimble оптимизировать управление активами, мониторинг объектов и принятие решений на основе данных.

Bentley Systems

Компания основана в США в 1984 году. Bentley Systems разрабатывает программные решения для архитектуры, инженерии, строительства и управления инфраструктурой, интегрируя технологии БВС, искусственного интеллекта и 3D-моделирования для анализа, визуализации и

оптимизации проектов. Компания позволяет объединять данные аэрофотосъемки с геопространственным анализом, повышая точность планирования и принятия решений на всех этапах жизненного цикла объектов.

AgEagle Aerial Systems

Компания основана в 2010 году в Уичито (штат Канзас, США). AgEagle разрабатывает БПЛА для сельского хозяйства, картографии и логистики. Их БВС, такие как eBee X, используются для точного земледелия, мониторинга урожая и создания цифровых карт. Компания интегрирует мультиспектральные сенсоры и ИИ-алгоритмы для прогнозирования урожайности и снижения затрат на удобрения.

AeroVironment

Компания AeroVironment, основанная в 1971 году в Сими-Валли (штат Калифорния, США), является лидером в производстве военных и коммерческих БВС. В линейке продукции данной компании представлены такие известные модели, как Raven, Puma и Global Observer. Беспилотные воздушные средства компании AeroVironment широко применяются для разведки, наблюдения, мониторинга объектов энергетики, а также в сельском хозяйстве. Отдельно стоит отметить модель Quantix, которая используется для задач в агросекторе, энергетике и техническом осмотре. Компания активно сотрудничает с партнерами, включая Министерство обороны США и NASA.

Insitu

Компания основана в Бингене (штат Вашингтон, США) в 1994 году. Компания специализируется на разработке и производстве беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для оборонных и промышленных задач. Их БВС ScanEagle используется для наблюдения, разведки и мониторинга в военных операциях и нефтегазовой отрасли, отличаясь высокой надежностью и способностью работать в экстремальных условиях. Insitu поставляет свои решения по всему миру, включая Северную Америку, Европу, Азиатско-Тихоокеанский регион и другие территории, обеспечивая безопасность и сбор данных в сложных условиях.

Skydio

Компания основана в 2014 году в Редвуд-Сити (штат Калифорния, США). Skydio разрабатывает автономные БВС с ИИ и компьютерным зрением. Модели Skydio 2 и X2D используются для видеосъемки, осмотра инфраструктуры (мосты, ЛЭП) и обеспечения общественной безопасности. Технология автономного облета препятствий делает их лидером в сегменте «БВС для сложных сред».

ESRI

Компания основана в США в 1969 году. ESRI (Environmental Systems Research Institute) специализируется на разработке геоинформационных систем (ГИС), предоставляя платформу ArcGIS для сбора, анализа и визуализации пространственных данных в целях управления инфраструктурой, природными ресурсами и городским планированием. Компания обслуживает государственные организации, бизнес и НКО, предлагая решения для мониторинга климатических изменений, оптимизации логистики, анализа ЧС и создания «умных» городов. Интеграция с БВС, спутниковой съемкой и искусственным интеллектом делает ESRI ключевым игроком в цифровой трансформации отраслей через геопространственную аналитику.

Parrot

Компания основана в 1994 году в Париже (Франция). Parrot разрабатывает БВС, IoT-решения и ПО для корпоративного сектора. Их модели для широкого потребления, такие как Parrot Anafi, известны компактностью и качеством съемки, а профессиональные БВС (например, ANAFI USA) используются в оборонной и промышленной сферах. Компания также активно инвестирует в технологии искусственного интеллекта и облачную аналитику.

Wingtra

Компания основана в 2016 году в Цюрихе (Швейцария). Wingtra производит профессиональные БВС вертикального взлета и посадки (VTOL) для аэрофотосъемки, картографии и геодезии. Их флагманская модель WingtraOne сочетает преимущества мультикоптера и самолета, обеспечивая высокую детализацию съемки и покрытие больших территорий. Решения компании востребованы в сельском хозяйстве, горной промышленности и инфраструктурном мониторинге.

Flyability

Компания основана в 2014 году в Лозанне (Швейцария). Flyability фокусируется на производстве БВС для осмотров в ограниченных пространствах, таких как тоннели, резервуары и промышленные объекты. БВС компании Elios оснащен защитной клеткой, позволяющей безопасно работать в сложных условиях, и используется в энергетике, нефтегазовой отрасли и горнодобывающей промышленности. Технологии компании помогают снижать риски для рабочих и повышать эффективность проверок.

DroneDeploy

Компания основана в США в 2013 году. DroneDeploy предоставляет облачную платформу для планирования полетов БВС, обработки аэрофотоснимков и анализа данных с использованием алгоритмов машинного обучения, создавая 3D-карты, модели и отчеты в реальном времени. Решения компании применяются в строительстве (мониторинг объектов), сельском хозяйстве (анализ урожайности), энергетике (осмотры ЛЭП) и страховании (оценка ущерба). Интеграция с робототехникой, 360-камерами и сторонними платформами (Autodesk, DJI) делает DroneDeploy ключевым игроком в цифровизации полевых работ и управлении инфраструктурой.

Airobotics

Компания основана в Тель-Авиве (Израиль) в 2014 году (с 2023 года Airobotics функционирует как дочерняя компания Ondas Holdings (США)). Airobotics разрабатывает и производит полностью автоматизированные системы беспилотных воздушных судов для промышленных, коммерческих задач и обеспечения общественной безопасности. Ее решения включают защиту от БВС (например, система Iron Drone для перехвата без GPS-глушения), сельскохозяйственный мониторинг, осмотр инфраструктуры и создание карт. Технологии компании помогают повышать эффективность, снижать риски и оптимизировать процессы в различных отраслях за счет автономности и точности данных.

Propeller Aero

Компания основана в 2014 году в Австралии. Propeller Aero разрабатывает комплексные решения

для сбора и анализа аэроданных в строительстве и горнодобывающей промышленности, объединения БВС, сенсоры и облачную платформу для автоматической обработки информации. Компания предоставляет инструменты для 3D-картографирования, измерения объемов грунта, мониторинга хода строительства и управления запасами на объектах.

Brinc

Компания основана в 2020 году в Сиэтле (США). Brinc создает БВС для экстренной доставки, поисково-спасательных операций и IoT-решений. Беспилотное воздушное судно Lemur 2, выпускаемое компанией, оснащено тепловизорами и двусторонней аудиосвязью, что позволяет использовать его при пожарах, землетрясениях и других ЧС. Компания фокусируется на социально значимых проектах, включая помощь в зонах конфликтов.

Airspace Link

Компания основана в Детройте (штат Мичиган, США) в 2018 году. Airspace Link специализируется на создании цифровой инфраструктуры для безопасной интеграции БВС в национальное воздушное пространство, используя платформу AirHub. Компания предоставляет инструменты для планирования полетов, автоматизированного получения разрешений (LAANC), управления флотами БВС и взаимодействия с местными сообществами, чтобы минимизировать риски и конфликты. Их решения направлены на поддержку экологических инициатив, развитие социальной справедливости и экономики за счет внедрения инновационных технологий в авиации и городской среде.

Delair

Компания основана в 2011 году в Тулузе (Франция). Delair производит промышленные БВС для сельского хозяйства, энергетики и логистики, акцентируя внимание на аналитике данных. Их БПЛА самолетного типа (например, DT26) обеспечивают длительные полеты и сбор геопространственных данных для оптимизации управления ресурсами. Платформа Delair Analytics позволяет принимать решения на основе эффективной обработки сырых данных.

FreeFly

Компания основана в 2010 году в Сиэтле (США). FreeFly производит профессиональное оборудование для кинопроизводства, включая БВС (например, Alta 8) и стабилизаторы камер. Их решения рассчитаны на тяжелые камеры (до 20 кг) и используются в голливудских проектах, рекламе и спортивной съемке. БВС компании отличаются высокой грузоподъемностью и стабильностью даже при сильном ветре.

Pix4D

Компания основана в 2011 году в Швейцарии. Pix4D разрабатывает инновационное фотограмметрическое ПО для обработки аэроснимков с БВС, создавая высокоточные 3D-модели, ортомозаики и облака точек, которые используются в геодезии, картографии и анализе территорий. Компания обслуживает такие отрасли, как сельское хозяйство (мониторинг урожая), строительство (планирование объектов), экология (оценка изменений ландшафта) и горнодобывающая промышленность. Партнерства с лидерами рынка (DJI, Esri) и интеграция с облачными платформами укрепляют ее позиции как глобального поставщика решений для цифровизации пространственных данных.

Orqa International

Компания основана в 2018 году в Осиеке (Хорватия). Компания является производителем БВС и FPV-очков. Известна своими инновационными разработками в области электроники, оптики, радиосистем и камер. Активно сотрудничает с государственными и корпоративными заказчиками, предоставляя критически важные компоненты для беспилотных систем, а также развивает образовательные программы, такие как Drone Soccer. Orqa уделяет особое внимание внутреннему производству и инженерным разработкам, укрепляя свои позиции как многофункционального и перспективного игрока на мировом рынке БВС.

Guardian Agriculture

Компания была основана в 2017 году в Вобурне (штат Массачусетс, США). Guardian специализируется на разработке автоматизированных систем eVTOL (электрических вертикального взлета и посадки), одобренных FAA, для повышения эффективности и экологичности сельского хозяйства. Их флагманский продукт, Guardian SC1, созданный из углепластика и аэрокосмического алюминия, обеспечивает точное аэроопыление, сокращает использование химикатов и минимизирует воздействие на окружающую среду. Компания нацелена на помощь фермерам в оптимизации затрат, увеличении урожайности и переходе к устойчивым методам земледелия.

Draganfly

Компания основана в 1998 году в Саскатуне (Канада). Draganfly специализируется на разработке и производстве БВС для обеспечения общественной безопасности, здравоохранения и оперативного реагирования в чрезвычайных ситуациях. Такие решения, как Draganflyer X4-ES, используются для доставки медицинских грузов, поисково-спасательных операций и мониторинга в чрезвычайных ситуациях. Компания сочетает высокую маневренность БВС с возможностью интеграции специализированных датчиков, что делает ее ключевым игроком в сфере гуманитарных технологий и безопасности.

Airdata

Компания основана в США в 2015 году. AirData специализируется на комплексных решениях для управления парками БВС, оптимизирующая их эксплуатацию через облачные технологии, автоматизацию и аналитику. Ее платформа объединяет сбор данных полетов в реальном времени, анализ рисков, планирование миссий, мониторинг технического состояния БВС и управление квалификациями операторов, что делает ее ключевым инструментом для энергетики, строительства, сельского хозяйства и других отраслей. AirData фокусируется на повышении безопасности, соблюдении нормативных требований и снижении операционных издержек, предоставляя предприятиям инструменты для полного цикла контроля за воздушными операциями.

Maps Made Easy

Компания основана в 2014 году в США. Maps Made Easy разрабатывает облачные решения для картографии с применением беспилотных воздушных судов, позволяя пользователям преобразовывать аэрофотоснимки в точные 2D-карты, 3D-модели и ортомозаики с функциями измерения объемов, анализа рельефа и геопривязки. Платформа ориентирована на строительство, сельское хозяйство и геодезию, предлагая инструменты для мониторинга объектов, управления земельными

ресурсами и визуализации пространственных данных. Упрощенный интерфейс и автоматизация обработки изображений делают технологии картографии доступными для малого бизнеса, энтузиастов и образовательных проектов.

VOTIX

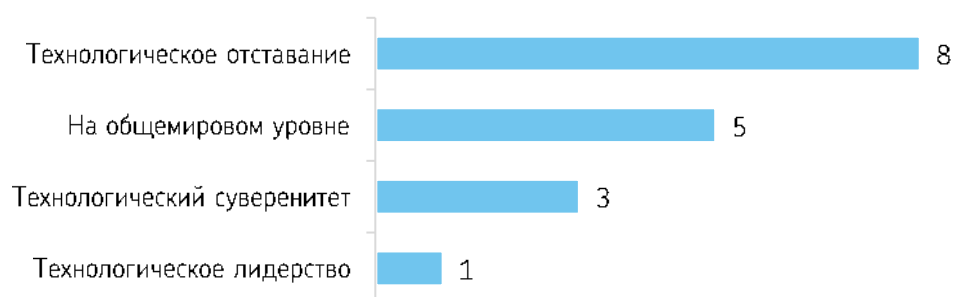
Компания основана в США в 2022 году. VOTIX разрабатывает универсальную программную платформу для полной автоматизации и удаленного управления БВС, совместимую с любым оборудованием и поддерживающую расширенные сценарии, включая полеты вне прямой видимости (BVLOS) и автономные системы Drone-in-a-Box. Компания фокусируется на решениях для осмотров инфраструктуры, картографии, доставки грузов, наблюдения и экстренного реагирования, объединяя все этапы работы БВС в единый масштабируемый рабочий процесс. Их технологии позволяют предприятиям оптимизировать логистику, снижать риски и внедрять автономные воздушные системы для сложных задач в энергетике, сельском хозяйстве и безопасности.

1.1.2. Объем и динамика российского рынка

При оценке объема, динамики и структуры российского рынка беспилотных воздушных судов, как правило, рассматривается несколько более широкий сегмент беспилотных авиационных систем (БАС). Под БАС, согласно Воздушному кодексу Российской Федерации (в редакции от 04.08.2023 г. № 487-ФЗ), понимается комплекс взаимосвязанных элементов, включающий в себя одно или несколько беспилотных воздушных судов, средства управления полетом одного или нескольких беспилотных воздушных судов и контроля за полетом одного или нескольких беспилотных воздушных судов (станцию внешнего пилота и линию управления беспилотными авиационными системами и контроля беспилотной авиационной системы), а также средства осуществления взлета и посадки беспилотных воздушных судов [73].

Оценка текущего состояния развития отрасли БВС в России, полученная в рамках опроса Инфраструктурным центром «Технет» представителей рынка, указывает на преобладание мнения о технологическом отставании отечественного рынка БВС от мирового (Рисунок 8).

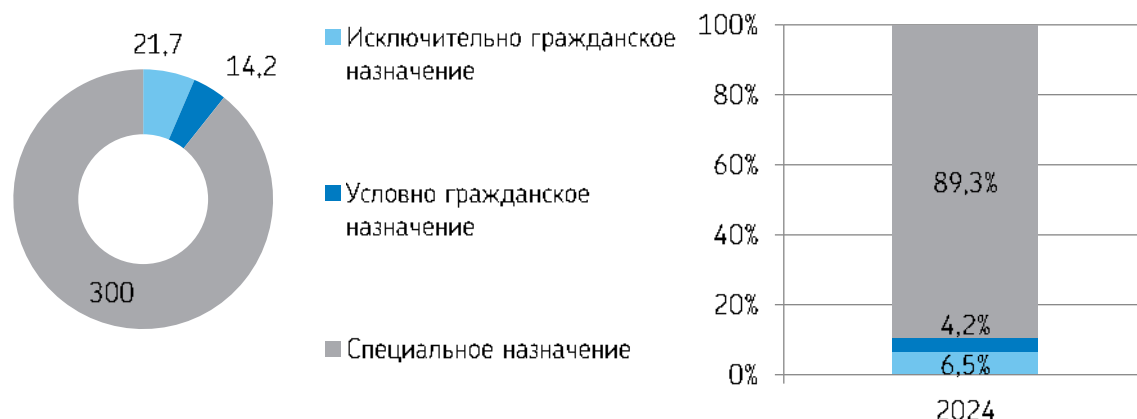
Рисунок 8. Структура ответов по текущему состоянию развития отрасли БВС в России, ед. ответов



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по результатам опроса

По состоянию на конец 2024 года, согласно оценкам Ассоциации «АЭРОНЕКСТ» [74], полный объем рынка БАС (включающий как гражданский сегмент, так и сегмент специального назначения) составил около 335,9 млрд руб. (Рисунок 9).

Рисунок 9. Структура российского рынка БАС в 2024 г. по сегментам назначения, млрд руб., %

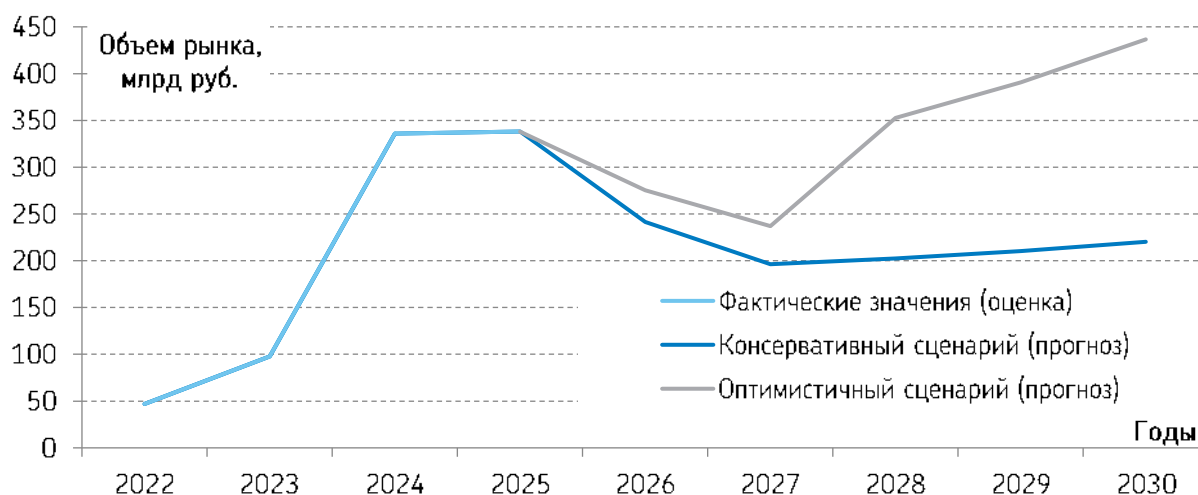


Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по материалам Ассоциации «АЭРОНЕКСТ» [74]

При этом объем российского рынка БАС без учета образовательных БАС, отмеченный в перечне целевых индикаторов национального проекта «Беспилотные авиационные системы» на 2024 год, составляет 27 951 единицу. В то же время, плановое значение объема российского рынка с учетом потребности в рамках услуг, заложенное в «Стратегии развития беспилотной авиации до 2030 года и на перспективу до 2035 года» [75] на 2023–2026 годы, составляет 372 700 единиц в базовом сценарии и 389 700 единиц – в прогрессивном.

Рост объема рынка БАС в 2024 году относительно 2023 года, по оценкам Ассоциации «АЭРОНЕКСТ», составил 244%. При этом к 2030 году в рамках оптимистичного сценария предполагается рост рынка в 1,3 раза по сравнению с 2024 годом. В то же время консервативный сценарий прогноза Ассоциации «АЭРОНЕКСТ» предусматривает сокращение объема рынка БАС на 35% (Рисунок 10).

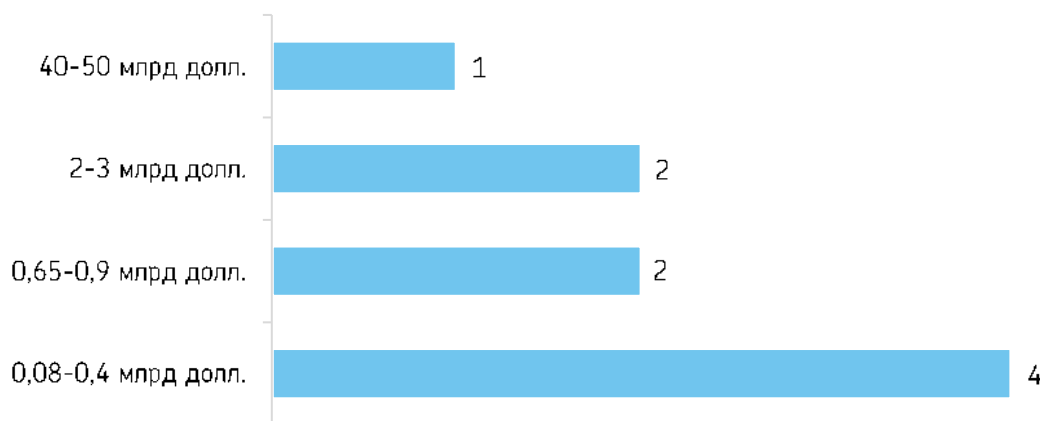
Рисунок 10. Полный объем российского рынка БАС в 2022–2030 годы, млрд руб.



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по материалам Ассоциации «АЭРОНЕКСТ» [74]

Объем рынка БВС в России в 2024 году, по оценке респондентов проведенного Инфраструктурным центром «Технет» опроса, преимущественно находится в диапазоне от 0,08 млрд до 0,4 млрд долл. Структура распределения экспертных оценок представлена на Рисунке 11.

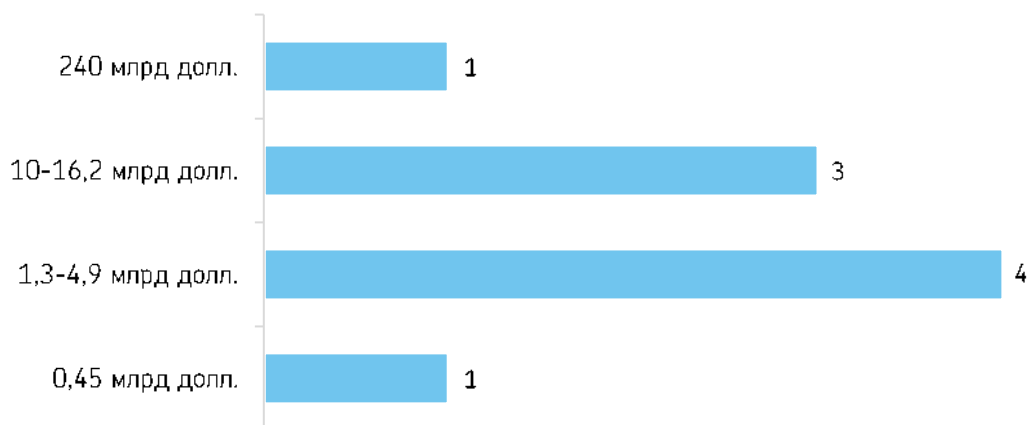
Рисунок 11. Структура ответов об объеме рынка БВС в России на 2024 год, ед. ответов



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по результатам опроса

Прогнозы роста российского рынка БВС к 2030 году также демонстрируют существенный разброс оценок (Рисунок 12).

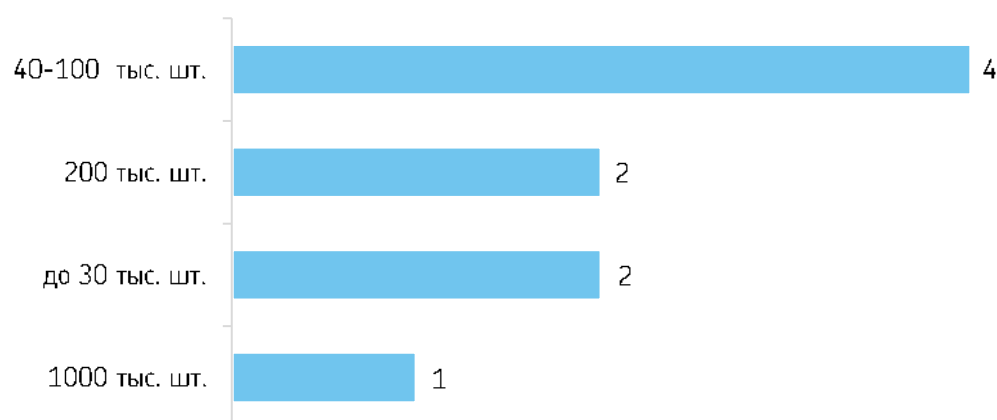
Рисунок 12. Структура ответов о прогнозе роста российского рынка БВС на 2030 год, ед. ответов



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по результатам опроса

Распределение ответов респондентов относительно объема российского рынка БВС в 2024 году в количественном выражении представлено на Рисунке 13. Большая часть экспертов оценивают его в 40–100 тыс. шт.

Рисунок 13. Структура ответов об объеме рынка БВС в России на 2024 год в количественном выражении, ед. ответов



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по результатам опроса

Прогнозы респондентов относительно количественного роста российского рынка БВС к 2030 году также неоднозначны. Большая часть экспертов полагают, что рынок достигнет объема 200–350 тыс. шт. Структура распределения прогнозов представлена на Рисунке 14.

Рисунок 14. Структура ответов о прогнозе роста российского рынка БВС на 2030 год в количественном выражении, ед. ответов



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по результатам опроса

Целевой объем российского рынка беспилотных авиационных систем с учетом потребности в рамках услуг, заложенный в Стратегии развития беспилотной авиации до 2030 года и на перспективу до 2035 года [75] на 2027–2030 годы, составляет 684 500 единиц в базовом сценарии и 718 800 единиц – в прогрессивном. При этом в рамках национального проекта «Беспилотные авиационные системы» [76] предусмотрен рост объема российского рынка БАС без учета образовательных БАС до 46 230 единиц.

Объем гражданского сегмента рынка БВС в 2024 году вырос на 45% по сравнению с 2023 годом (с 24,7 млрд до 35,9 млрд руб.), при этом подавляющая доля пришлась на «условно гражданский

сегмент» – поставки гражданских БАС компаниями гражданского сектора для специального применения. В то же время, даже в рамках консервативного сценария ожидается рост гражданского сегмента БАС практически в 2 раза, а оптимистичный сценарий предполагает рост значения соответствующего показателя в 8 раз (Рисунок 15). Объем поставок БАС компаниями гражданского сектора исключительно в целях гражданского применения в 2023–2024 годах вырос на 9,6% (с 19,8 млрд до 21,7 млрд руб.) В прогнозном периоде рост рассматриваемого показателя, по оценкам Ассоциации «АЭРОНЕКСТ», должен составить от 3 до 12 раз.

При этом по данным, приведенным в отчете Ростелекома [77], российский рынок беспилотных летательных аппаратов в коммерческом секторе в 2024 году оценивался в 13,4 млрд руб. (рост на 63% по сравнению с 2023 годом), а к 2028 году значение рассматриваемого показателя составит 81,8 млрд.

В «Стратегии развития беспилотной авиации до 2030 года и на перспективу до 2035 года» [75] закреплена сегментация рынка БАС по направлениям применения, в частности, выделено 8 основных областей:

- сбор и передача данных, дистанционный мониторинг, под которым понимаются любые виды работ, проводимые с применением оптических, радиолокационных, аэромагнитных, тепловизионных, мультиспектральных, измерительных и других средств сбора и передачи данных, а также работы по обеспечению связи;
- проведение авиационной разведки и обеспечение охраны территории и объектов;
- внесение веществ (распыляемых жидких, порошкообразных, газообразных веществ, биологических объектов, иных форм и средств защиты растений, связывания грунтов, нейтрализации разлива нефтепродуктов);
- аэрологистика – перевозка любого вида груза в фюзеляже, внешнем контейнере, на подвеске;
- радиосвязные работы, оперативная организация сетей подвижной радиосвязи, ретрансляция оптических и радиосигналов;
- образовательная и спортивная деятельность, в частности развитие инженерных компетенций у школьников и студентов за счет использования беспилотных авиационных систем (применение БАС в ходе летной практики при обучении внешних пилотов в рамках направления не учитывается);
- визуальные инсталляции – одиночные и групповые полеты БВС в целях демонстрации рекламных конструкций, создания визуальных эффектов, в т.ч. с применением пиротехнических средств;
- внешние работы, не вошедшие в другие группы, такие как строительно-монтажные работы, применение пиротехнических средств, обрезка деревьев, мойка объектов, пожаротушение, акустическое вещание.

Кроме того, в качестве перспективного потенциально возможного направления в рамках «Стратегии развития беспилотной авиации до 2030 года и на перспективу до 2035 года» указаны аэроперевозки людей с использованием беспилотных воздушных судов.

Необходимо отметить, что если рассматривать усредненную ретроспективную структуру выручки, то, согласно оценкам, приведенным в «Стратегии развития беспилотной авиации до 2030 года и

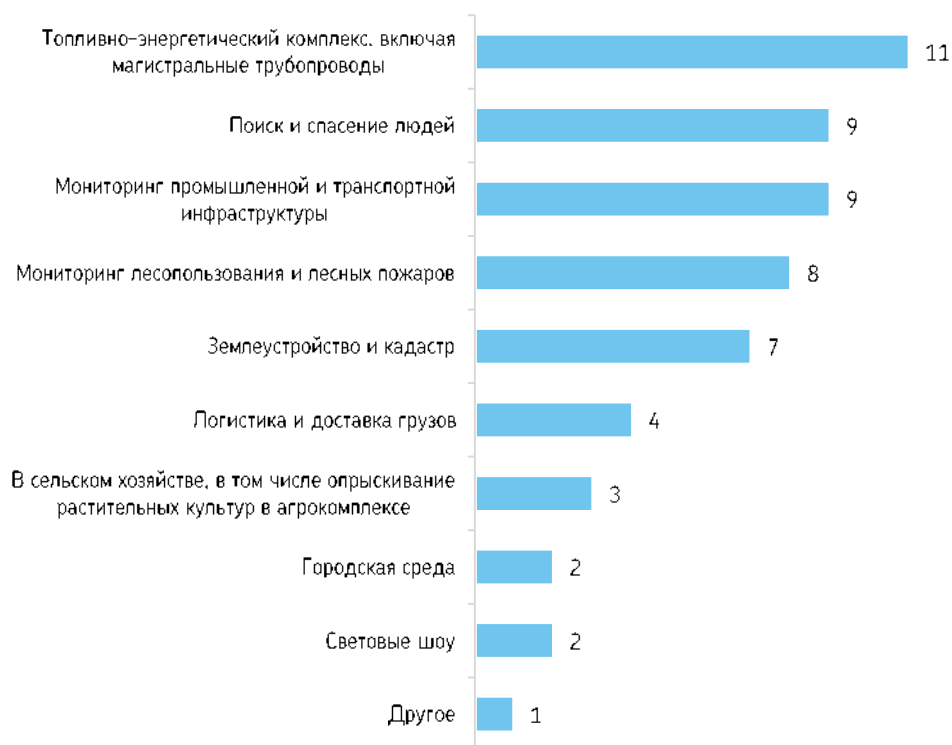
на перспективу до 2035 года» [75], 75% российского рынка БАС формируется за счет реализации соответствующих услуг, при этом непосредственно на реализацию БАС, компонентов авиационных систем и ПО приходится 25%. К концу 2024 года дисбаланс на рассматриваемом рынке несколько сглаживается. Так, по оценкам Ассоциации «АЭРОНЕКСТ» [74], на продажи БАС на гражданский рынок приходится уже чуть более половины общего объема выручки.

Более половины объема выручки от реализации услуг в сфере БАС приходится на сбор и передачу данных, дистанционный мониторинг. Доли секторов, занимающих второе и третье место, при этом, существенно уступают «лидеру»: страхование БАС и гражданская ответственность – 17% и аэрологистика – 15%.

Одной из ключевых отраслей гражданского применения беспилотных авиационных систем/ беспилотных воздушных судов в Российской Федерации, как и в мире, является сельское хозяйство, на которое, по оценкам Ростелекома [77], приходится около 40% от общего объема рынка коммерческих БВС. В Стратегии развития беспилотной авиации до 2030 года и на перспективу до 2035 года [75], в числе наиболее значимых отраслевых направлений также выделены нефте- и газодобыча, строительство и лесное хозяйство.

По результатам опроса, проведенного Инфраструктурным центром «Технет», лидирующими сферами для применения БВС, по мнению российских представителей рынка, на текущий момент являются топливно-энергетический комплекс, включая магистральные трубопроводы, поиск и спасение людей, мониторинг промышленной и транспортной инфраструктуры (Рисунок 15).

Рисунок 15. Структура ответов о лидирующих сферах для применения БВС на текущий момент в России, ед. ответов



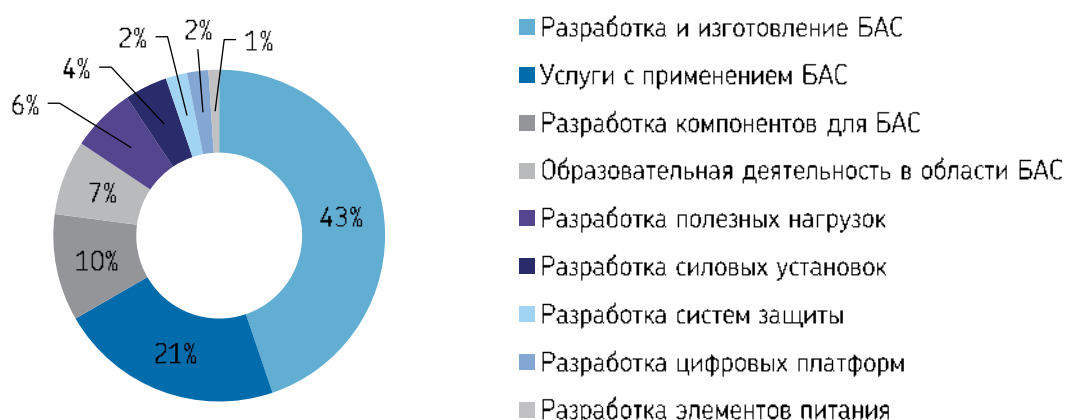
Источник: Инфраструктурный центр «Технет»

В разрезе сфер применения респондентами опроса отмечены следующие лидирующие решения в России (включая разработчика, модель и страну происхождения):

- мониторинг лесопользования и лесных пожаров: разработчик ГК «Геоскан» (Россия), модели Matrice разработчика DJI (Китай), Орлан-10 разработчика ООО «СТЦ» (Россия);
- топливно-энергетический комплекс, включая магистральные трубопроводы: разработчик ГК «Геоскан» (Россия), модели Орлан-10 разработчика ООО «СТЦ» (Россия), Supercam S350 разработчика ГК «Беспилотные системы» (Россия);
- мониторинг промышленной и транспортной инфраструктуры: разработчик ГК «Геоскан» (Россия);
- в сельском хозяйстве, в том числе опрыскивание растительных культур в агрокомплексе: разработчик DJI и модель DJI Agras (Китай);
- логистика и доставка грузов: разработчик ГК «Тихие Крылья» (Россия);
- землеустройство и кадастр: разработчик ГК «Геоскан» и модели Геоскан 201 и Геоскан 701 (Россия), модель Supercam S350 разработчика ГК «Беспилотные системы» (Россия), модель ДИАМ-20К разработчика ООО «ДИАМ-АЭРО» (Россия);
- световые шоу: разработчик ГК «Геоскан» (Россия);
- городская среда: ответы отсутствуют;
- поиск и спасение людей: разработчик ГК «Геоскан» (Россия);
- мониторинг строительства: разработчик ООО «Скайер ИТ» (Россия).

Если рассматривать игроков российского рынка БАС по областям специализации, то, по оценкам Ассоциации «АЭРОНЕКСТ», непосредственно разработкой и изготовлением БАС занимается 43% предприятий отрасли (Рисунок 16).

Рисунок 16. Распределение предприятий-игроков российского рынка БАС в 2024 году по областям специализации, %



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по материалам Ассоциации «АЭРОНЕКСТ» [74]

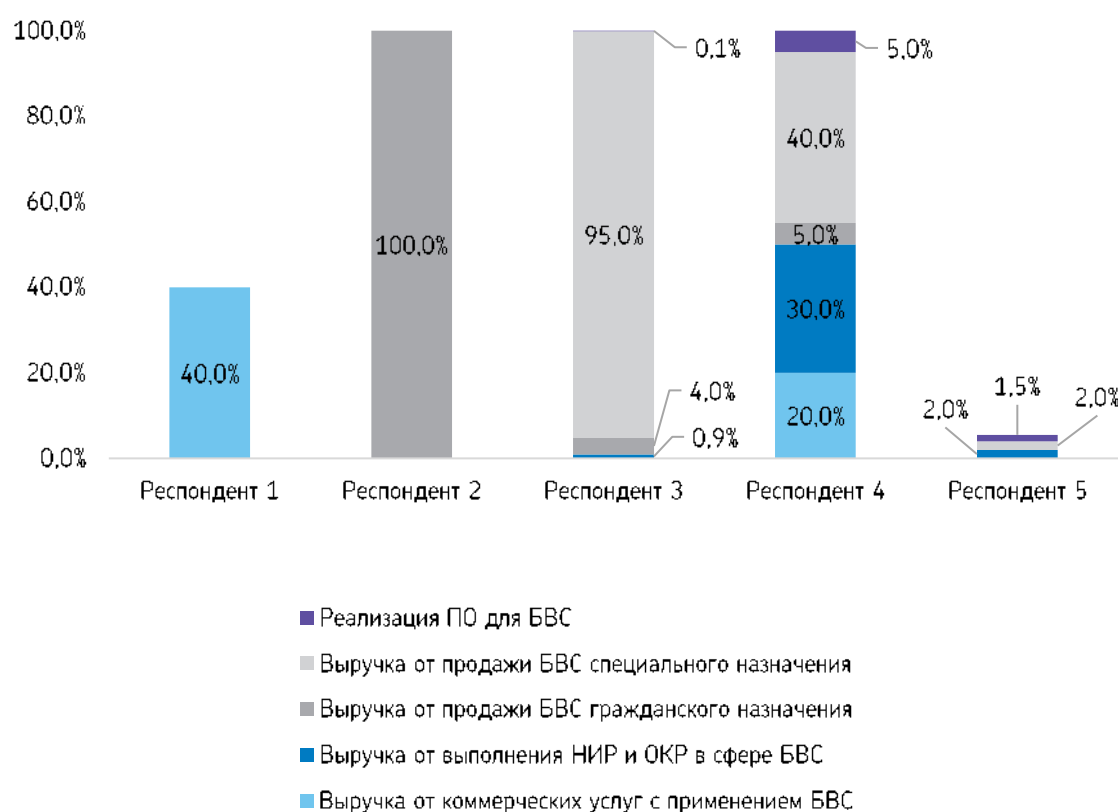
Необходимо отметить, что по оценкам, представленным в «Стратегии развития беспилотной авиации до 2030 года и на перспективу до 2035 года» [75], около 70% компаний-производителей специализируются в области разработки и эксплуатации БВС мультироторного типа. БВС самолетного типа с вертикальным взлетом и посадкой изготавливают около 22% организаций и

вертолетного типа – 7%. При этом в рамках Стратегии на 2023–2026 годы предусмотрено наращивание объемов производства БВС мультиторного типа без учета образовательных до 39 тыс. (около 75% общего планового выпуска в натуральном выражении).

Эксперты Ассоциации «АЭРОНЕКСТ» отмечают [74] также, что лишь незначительная часть рассматриваемых предприятий (за исключением образовательных организаций) имеет узкую монопрофильную специализацию, большая часть – совмещает ряд видов деятельности.

Результаты проведенного Инфраструктурным центром «Технет» опроса представителей рынка, демонстрируют разнообразие структуры выручки профильных организаций. Как показано на Рисунке 17, соотношение доходов от реализации ПО, продажи БВС различного назначения, выполнения НИОКР и коммерческих услуг существенно варьируется в зависимости от профиля организации (Рисунок 17).

Рисунок 17. Структура ответов о распределении выручки организаций-участников рынка, %



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по результатам опроса

Ниже представлен перечень предприятий – лидеров отечественного рынка производства гражданских БВС, сформированный на основании оценок аналитических агентств [78], а также приведены ключевые характеристики рассматриваемых предприятий (Таблица 4).

Таблица 4. Характеристики основных игроков российского рынка БВС¹

№	Название компании	Выручка 2024 года, млн руб.	Сфера деятельности (область специализации)	Комментарий (при наличии)
1	Вертолеты России	Н/Д	Разработка тяжелых БПЛА вертолетного типа (БАС-200, VRT300) для грузоперевозок, разведки и патрулирования [79]. Специализация: разработка БВС и компонентов	Выручка в 2023 году – 246 900,00 млн руб. [80]
2	Геоскан	4 700,00 [81]	Разработка БПЛА для аэрофотосъемки, геодезии, образования, 3D-моделирования и мониторинга инфраструктуры [82]. Специализация: разработка БВС и компонентов	–
3	Кронштадт	Н/Д	Разработка оборудования, программного обеспечения и комплексных решений для беспилотной авиации двойного назначения. В частности, БПЛА «Орион» и «Орлан» для картографии, разведки и противопожарной безопасности [83]. Специализация: разработка БВС и компонентов, разработка ПО	Выручка в 2023 году – 1300,00 млн руб. [84]
4	Птеро	1 200,00 [85]	Разработка БВС с бензиновыми/водородными двигателями для аэросъемки, мониторинга ТЭК [86]. Специализация: разработка БВС и компонентов	–
5	Альбатрос	955,00 [87]	Разработка БПЛА самолетного типа для отраслевых задач, разработка ПО [88]. Специализация: разработка БВС и компонентов, разработка ПО	–
6	Аэромакс	615,57 [89]	Разработка комплексных решений с использованием БПЛА и геоинформационных платформ. Разработка тяжелых БПЛА вертолетного типа (SH-3000) для грузоперевозок и экологического мониторинга [90]. Специализация: разработка БВС и компонентов	–
7	ВНИИ «Вега»	Н/Д	Разработка автономных БПЛА для мониторинга ЛЭП с защитой от электромагнитных помех. Разработка включает элементы	Выручка в 2016 году – 533,00 млн руб. [92]

¹ Расширенный перечень ключевых игроков (разработчиков и производителей БАС, разработчиков программных решений для БАС и др.) российского рынка представлен в Приложении №1 к настоящему отчету

№	Название компании	Выручка 2024 года, млн руб.	Сфера деятельности (область специализации)	Комментарий (при наличии)
			искусственного интеллекта и машинного зрения [91]. Специализация: разработка БВС и компонентов	
8	Аэродин	406,00 [93]	Разработка промышленных мультикоптеров (Пегас, Пилигрим), адаптированных для работы в экстремальных климатических и эксплуатационных условиях [94]. Специализация: разработка БВС и компонентов	–
9	АВАКС-ГеоСервис	Н/Д	Разработка БПЛА и их компонентов в области систем управления, радиосвязи, энергоснабжения, двигательных установок и полезных нагрузок [95]. Специализация: разработка БВС и компонентов	Выручка в 2021 году – 99,93 млн руб. [96]
10	Люфтэра	39,00 [97]	Разработка комплексов для геодезии, сельского хозяйства и мониторинга строительства [98]. Специализация: разработка БВС и компонентов	–
11	Роспроект (ОмДжет)	34,00 [99]	Разработка БПЛА с вертикальным взлетом для геодезии, сельского хозяйства и лазерного сканирования [100]. Специализация: разработка БВС и компонентов	–
12	Аэролаборатория (РусАэроЛаб)	15,00 [101]	Разработка и производство БПЛА. Исследования в области распознавания видеоизображений с БПЛА и автономных полетов без GPS/ ГЛОНАСС с использованием искусственного интеллекта. Разработка ГидроБВС (R.A.L. HYDRA) и комплексов для морского мониторинга и спасательных операций [102]. Специализация: разработка БВС и компонентов	–
13	Аэроксо	Н/Д	Разработка БПЛА большой дальности действия, программно-аппаратных комплексов для БПЛА, услуги по разработке ПО автопилотов, компьютерному проектированию, моделированию, аэродинамическим расчетам. Разработка конвертопланов серии ЭРА для логистики, георазведки и мониторинга [103].	Выручка в 2023 году – 11,58 млн руб. [104]

№	Название компании	Выручка 2024 года, млн руб.	Сфера деятельности (область специализации)	Комментарий (при наличии)
			Специализация: разработка БВС и компонентов, разработка ПО	
14	Оптиплейн	10,91 [105]	Разработка винтокрылов для отраслевых задач [106]. Специализация: разработка БВС и компонентов	–
15	ZALA AERO	7,65 [107]	Разработка широкого спектра БПЛА (Z-16, Z-22) для разведки, и доставки грузов, которые могут быть интегрированы с искусственным интеллектом [108]. Специализация: разработка БВС и компонентов	–
16	АгроДронГруп	0,00 [109]	Разработка специализированных БПЛА с мультиспектральными камерами для задач сельского хозяйства [110]. Специализация: разработка БВС и компонентов	–
17	Беспилотные системы	Н/Д	Разработка широкого спектра беспилотных комплексов, программного обеспечения для полетов, диагностики, 3D-моделирования и симуляции, услуги аэрофотосъемки и авиапатрулирования с использованием собственных беспилотных воздушных систем. Разработка серии Supercam для аэрофотосъемки, мониторинга ТЭК и доставки грузов [111]. Специализация: разработка БВС и компонентов, разработка ПО	–
18	Тихие крылья	Н/Д	Разработка БПЛА вертолетного и самолетного типа, решений для воздушного патрулирования линейных объектов и геотехнического мониторинга. Разработка БПЛА «Легионер» для аэрофотосъемки и геотехнического мониторинга [112]. Специализация: разработка БВС и компонентов	–

Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным открытых источников

Вертолеты России

АО «Вертолеты России» [113] – холдинг в структуре Государственной корпорации «Ростех», объединяющий разработчиков и производителей вертолетов Российской Федерации. Компания основана в 2007 году в г. Москве и является одним из мировых лидеров вертолетостроительной отрасли. АО «Вертолеты России» выпускает тяжелые БПЛА вертолетного типа. Основные

заказчики – МЧС и Министерство обороны Российской Федерации. Беспилотные воздушные суда холдинга решают задачи грузоперевозок, разведки и патрулирования в сложных условиях.

Геоскан

ГК «Геоскан» [114] – группа технологических компаний, один из пионеров рынка. Компания основана в 2011 году в Санкт-Петербурге. Помимо разработки и производства БАС и малых космических аппаратов (кубсатов) специализируется также в области разработки и производства авионики, средств беспроводной связи, сенсоров для БАС и кубсатов. Кроме того, Геоскан занимается разработкой и производством беспилотных систем и систем навигации в помещениях для решения образовательных задач и проведения соревнований по робототехнике, предоставлением услуг по беспилотной аэрофотосъемке (в т.ч. мультиспектральной и тепловизионной), воздушному лазерному сканированию, геологоразведке, шоу дронов.

Кронштадт

АО «Кронштадт» [83] зарегистрировано в 2002 году в г. Санкт-Петербурге. Компания занимается разработкой и производством беспилотных авиационных систем, включая комплекс воздушной разведки на базе БВС «Орион», который используется для решения широкого спектра задач, как военного, так и гражданского назначения. Также компания специализируется на создании бортового оборудования и целевых нагрузок для БВС, разработке программно-аппаратных комплексов для навигации и управления БПЛА, а также наземных пунктов управления. Кроме того, компания производит тренажеры и обучающие системы.

Птеро

ООО «Птеро» [86] как отдельное предприятие сформировано в 2017 году при выделении направления по производству БАС в структуре IT-интегратора ООО «АФМ-Серверс» (г. Москва). Необходимо отметить, что в рамках деятельности ООО «АФМ-Серверс» разработка БАС инициирована в 2004 году, а с 2010 года запущено мелкосерийное производство БВС с электрическим двигателем.

Альбатрос

ООО «Альбатрос» [88] сформировано в 2017 году в Елабуге (Республика Татарстан) как дочерняя компания ЗАО Инженерный Центр «ГЕОМИР». Компания специализируется на разработке и производстве БВС самолетного типа и интеллектуальных авиационных систем, предназначенных для выполнения широкого спектра задач в таких отраслях, как сельское хозяйство, нефтегазовый сектор, строительство и др. Кроме того, к областям специализации компании относятся системы анализа данных на основе нейросетей и устройства защиты воздушного пространства от БВС.

Аэромакс

ГК «Аэромакс» [90] – группа компаний, в которую входят предприятия, специализирующиеся на разработке и производстве БВС и профильного программного обеспечения (включая ПО для обработки геопространственных данных), а также на оказании услуг с использованием беспилотных воздушных судов, таких как аэросъемка и доставка грузов. ООО «Аэромакс» зарегистрирована в 2017 году в г. Москве. В настоящее время головной компанией группы является АО «Аэромакс-Авиа». На базе группы компаний действует авиационный учебный центр. Кроме того, в структуру

группы входит ООО «АС-КАМ» (Ростов-на-Дону) – предприятие-разработчик БВС самолетного и коптерного типов с расширенными эксплуатационными характеристиками, а также ООО «Диам-Аэро» (Санкт-Петербург) – предприятие-разработчик БВС самолетного типа.

ВНИИ «Вега»

АО «ВНИИ «Вега» [91] основан как научно-исследовательский институт в 1956 года в г. Воронеже для разработки и внедрения радиосредств систем связи специального назначения. В настоящее время организация входит в состав Госкорпорации «Ростех» и основной контур Концерна «Созвездие» и специализируется на создании авиационных и космических систем мониторинга, дистанционного зондирования Земли, а также занимается производством антенной техники и развитием других направлений радиоэлектроники. В число продуктов компании, в частности, входят системы управления БВС и блоки радиосвязи для беспилотных летательных аппаратов и системы передачи видео в режиме реального времени.

Аэродин

ООО «Аэродин» [94] основано в 2017 году в г. Санкт-Петербурге. Компания занимается разработкой и производством собственной линейки беспилотных авиационных систем, специализируясь на промышленных мультироторных БВС с электрическими и гибридными двигателями. Эти решения адаптированы для работы в экстремальных климатических и эксплуатационных условиях. Помимо серийного производства, компания выполняет НИОКР, разрабатывает БВС на заказ, занимается мелкосерийным производством, а также контрактным производством полезной нагрузки для БВС.

АВАКС-ГеоСервис

ООО НПО «Автономные аэрокосмические системы-ГеоСервис» [95] – научно-производственное предприятие, основанное на базе Сибирского федерального университета в г. Красноярске в 2012 году. Деятельность компании охватывает разработку и производство БВС и их компонентов, а также интеграцию компонентов на беспилотные воздушные суда сторонних производителей и услуги по аэрофотосъемке и обработке ее результатов. Продукция и услуги АВАКС-ГеоСервис находят применение в таких сферах, как горное дело, геодезия, дорожное хозяйство, строительство и сельское хозяйство.

Люфтэра

ООО «Люфтэра» [98] основано в 2017 году в г. Москве. Компания специализируется на проектировании, производстве и эксплуатации автономных беспилотных систем, разрабатывая аппаратно-программные комплексы, включающие БПЛА и создавая интеграционные решения для применения БПЛА в различных отраслях, прежде всего, в горнодобывающей промышленности.

Роспроект (ОмДжет)

ООО «Региональное объединение специалистов проектирования» (ООО «Роспроект») [100] – российское предприятие, выпускающее беспилотные летательные аппараты «ОмДжет». Компания зарегистрирована в 2002 году в г. Омске [115]. ООО «Роспроект» фокусируется на разработке и производстве БВС с вертикальным взлетом, которые применяются в сельском хозяйстве для мониторинга посевов и анализа почвы, в геодезии для лазерного сканирования местности и т. д.

В настоящее время ООО «Птеро» специализируется на проектировании и производстве БВС и аэросъемочной аппаратуры, а также на оказании соответствующих услуг с применением БВС. Кроме того, сфера деятельности компании включает разработку технологий для автоматического сбора геопространственных данных и их анализа.

Аэролаборатория

Команда «Аэролаборатория» [116] сформирована в 2010 году, в 2012 году в г. Москве зарегистрировано ЗАО «Аэролаборатория» (ЗАО «РусАэроЛаб»), с 2015 года компания реорганизована в ООО. ООО «Аэролаборатория» в настоящее время занимается разработкой и серийным производством БВС, а также созданием для них полезной нагрузки. В спектр деятельности организации входит производство наземных станций управления, станций зарядки аккумуляторов, электронных узлов и компонентов для беспилотных комплексов. Кроме того, компания проводит исследовательские работы в области обработки видеоизображений, полученных с борта БВС, и разработки технологий для автоматизации полетов без использования систем GPS/ ГЛОНАСС с применением алгоритмов искусственного интеллекта.

Аэроксо

ООО «Конструкторское бюро Аэроксо» [117] зарегистрировано в 2024 году в г. Москве [118]. Компания занимается разработкой и производством собственных моделей авиационной робототехники большой дальности действия, а также созданием программно-аппаратных комплексов для беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Она специализируется на разработке программного обеспечения для наземных станций управления, интеграции ПО полезных нагрузок клиентов в автопилоты БПЛА, а также предлагает платформы для сбора данных и облачные решения для обработки и визуализации аэрофотоснимков. Дополнительно компания предоставляет услуги по разработке ПО автопилотов, компьютерному проектированию, моделированию, аэродинамическим расчетам и созданию БАС на основе уникальной запатентованной аэродинамической схемы конвертоплана.

Оптиплайн

ООО «Оптиплайн Аэродинамика» [106] основано в 2017 году в г. Новосибирске. Компания специализируется на создании гибридных (винтокрылых) БВС для картографирования местности, мониторинга и охраны объектов ТЭК и строительства, управления сельскохозяйственными угодьями и других применений.

ZALA AERO

АО «ZALA AERO» [108] основано в 2003 году в г. Ижевске. Компания является подразделением концерна «Калашников», специализирующимся в области разработки и производства БВС, целевых нагрузок и мобильных комплексов. Ключевые продукты компании – беспилотные комплексы и ПО для авиационного мониторинга, как военного, так и гражданского назначения. Беспилотные комплексы ZALA, в частности, применяются для охраны государственных границ, проведения разведывательных и спасательных операций, мониторинга нефтегазовой инфраструктуры, обследования объектов повышенной опасности и мест чрезвычайных ситуаций.

АгроДронГрупп

ООО «Агродронгрупп» [110] зарегистрировано в 2016 году в г. Москве. Компания является

резидентом Сколково и входит в число лидерских проектов АСИ, специализируясь на разработке, производстве и оказании услуг сельскохозяйственным производителям с использованием БВС. В число решаемых компанией задач входит анализ сорной растительности, густоты всходов, контроль азота, стрессовых зон и густоты насаждений, планирование и оптимизация ресурса техники и т.д.

Беспилотные системы

Группа компаний «Беспилотные системы» [111] основана в 2010 году в г. Ижевске. Организация занимается разработкой и производством беспилотных авиационных систем, а также предоставлением услуг с использованием БАС. Кроме того, группа компаний «Беспилотные системы» создает программное обеспечение для управления БВС, осуществления аэрофотосъемки и др. Ключевой продукт организации – БВС Supersam, которые используются для видеонаблюдения, аэрофотосъемки, мониторинга нефте- и газопроводов, контроля объектов лесного хозяйства, а также оперативного картографирования.

Тихие крылья

ООО «ГК Тихие Крылья» [112] – инжиниринговый центр в составе концерна «Калашников», ориентированный на разработку, производство и применение БВС, а также на разработку соответствующего программного обеспечения (в частности, систем управления и навигации). Компания зарегистрирована в 2020 году в г. Санкт-Петербурге [119]. К областям специализации ГК Тихие Крылья относятся оказание услуг с использованием БВС (аэрофотосъемка, воздушное лазерное сканирование, аэромагнитная съемка), обработка и аналитика данных, получаемых от беспилотных систем, и непосредственно производственная деятельность.

1.2. Направления применения композитных и гибридных конструкций БВС

1.2.1. Применение композитных и гибридных конструкций БВС в мире

Начало промышленного применения композиционных материалов в авиации пришлось на 1960–е годы, с началом использования стекловолокна для некритичных компонентов воздушных судов, таких как элементы кабины пилотов. В 1970–х годах технологический прогресс позволил начать применять углеродное волокно в военной авиации – углепластики использовались в производстве горизонтальных стабилизаторов американских истребителей F-14, F-15 и F-16 [120]. В 1980–е годы использование композиционных материалов начало активно распространяться на гражданскую авиацию. В наиболее современных моделях летательных аппаратов компаний Boeing и Airbus начали использоваться горизонтальные и вертикальные стабилизаторы с применением углеродного волокна. 2000–е годы стали революционным этапом в мировом авиастроении – на рынок вышли Boeing 787 Dreamliner и Airbus A350, в которых более 50% конструкции было создано из композиционных материалов, что позволило значительно сократить расход топлива. В настоящее время производители стремятся наращивать долю используемых композиционных материалов для достижения требуемых экономических целей и снижения нагрузки на окружающую среду.

Необходимо отметить, что активное распространение коммерческих БВС и появление новых

игроков на рынке военных беспилотных воздушных судов совпало с началом эпохи распространения и удешевления композиционных материалов, в силу чего значительная часть новых БВС изначально проектируется с расчетом на свойства материалов этого типа.

В настоящее время не существует единой классификации композиционных материалов. В различных научных и технологических областях используется множество классификаций, выстроенных на ряде оснований, но в чаще всего используются только композиционные материалы на боро-, угле-, стекло- и арамидопластики.

Основные преимущества композиционных материалов по сравнению с металлами (алюминием) при изготовлении БВС:

- низкий вес;
- коррозионная стойкость;
- высокая устойчивость к усталости;
- сокращение механической обработки;
- возможность изготовления конических секций и сложных контурных деталей;
- возможность ориентации армирующих волокон в направлении максимальной жесткости и прочности;
- сокращение количества сборок и крепежных элементов при использовании процессов совместного отверждения или совместной консолидации композитов;
- низкое поглощение радиолокационных и микроволновых сигналов композитами, что обеспечивает «стелс»-возможности, затрудняя обнаружение радаром;
- очень низкое тепловое расширение, что снижает эксплуатационные проблемы при полетах на большой высоте.

Тем не менее у композиционных материалов присутствует ряд сравнительных недостатков по сравнению с металлами:

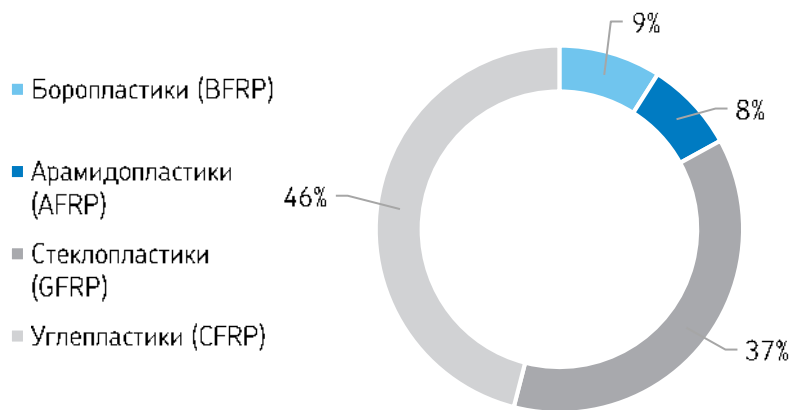
- более высокая стоимость;
- меньшее количество установленных критериев проектирования;
- ухудшение структурных свойств при высоких температурах или при намокании;
- низкая энергопоглощающая способность и связанные с этим повреждения при жесткой посадке;
- необходимость защиты от ударов молний;
- проблемы с коррозией из-за плохого или неполного сцепления с металлами, особенно при использовании углепластиков;
- надежное обнаружение некачественных соединений композитов с металлами затруднено;
- определение местоположения таких некачественных соединений часто неточно;
- дорогостоящие и сложные процедуры проверки [121].

Беспилотные воздушные суда, изначально создаваемые для военного применения, несмотря на постепенное распространение малых военных БВС, в основном относятся к категориям высотных БВС большой продолжительности полета (High Altitude Long Endurance, HALE) и средневысотных БВС большой продолжительности полета (Medium-altitude long-endurance, MALE), в их

конструкции используется сочетание композитов и сплавов металлов, в особенности дюралюминия². В отличие от них, БВС, предназначенные для гражданского применения, относятся к категории маловысотных аппаратов большой продолжительности полета (Low Altitude Long Endurance, LALE), что обуславливает необходимость использования легких композиционных материалов [122].

В области производства БВС доминирует ограниченное число видов композиционных материалов (Рисунок 18).

Рисунок 18. Основные сегменты рынка композиционных материалов для БВС, %



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным Evolve Business Intelligence [123]

Помимо использования естественного композиционного материала – дерева, все еще активно применяющегося при производстве летательных аппаратов, – абсолютное большинство случаев использования композиционных материалов связано с углепластиковыми и стеклопластиковыми (Таблица 5).

Таблица 5. Распространенные типы композиционных материалов, используемые в конструкциях БВС

Композиционный материал	Описание	Применение/ Свойства
Полимерные композиционные материалы		
Углепластики (углерод-углеродные композиционные материалы, УУКМ/ Carbon Fiber Reinforced Plastic, CFRP) [124]	Углепластики представляют собой армированный пластик, содержащий углеродные волокна. Преимущество углепластиков – высокая прочность при малом весе [125]	Основной материал для современных авиационных конструкций, включая фюзеляж, крылья и хвостовые секции. Boeing 787 Dreamliner содержит примерно 50% углепластиков по весу, что способствует 20% снижению веса и соответствующему повышению топливной эффективности по сравнению с алюминиевыми конструкциями [126]

² В данном случае не учитываются вопросы использования барражирующих боеприпасов и FPV-БПЛА.

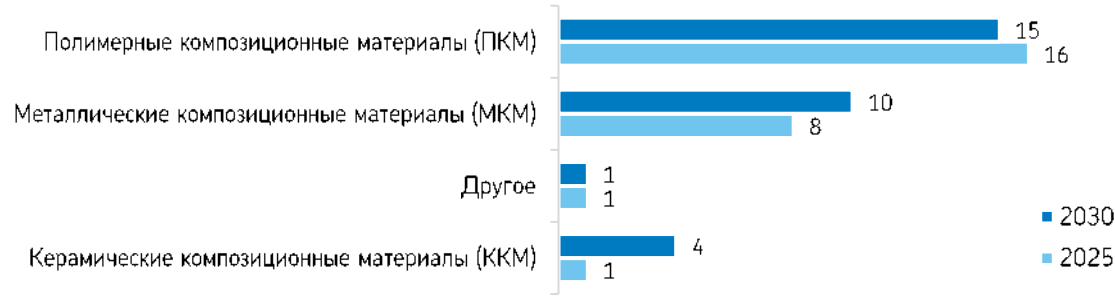
Композиционный материал	Описание	Применение/ Свойства
Стеклопластики/ стекловолокно (Glass Fiber Reinforced Plastic, GFRP)	Стекловолоконный армированный полимер (GFRP), также известный как стекловолокно, представляет собой композиционный материал, в котором тонкие стеклянные волокна сочетаются с матрицей из полимерной смолы [126]	Стекловолокно часто используется как более дешевая альтернатива углеродному волокну. Хотя они тяжелее и менее жесткие, чем углеродные волокна, они обладают отличной прочностью на разрыв, немагнитны и более гибки. Они часто используются во вторичных авиационных конструкциях [125]
Арамидопластики (кевлар)	Арамидное волокно, широко известное под торговой маркой Kevlar, – синтетический материал, характеризующийся высокой прочностью, легкостью и устойчивостью к воздействию тепла и химических веществ [125]	Используется в самолетах и БВС, требующих значительной ударопрочности, что особенно ценно в военных БВС
Боропластики (пластики, армированные борными волокнами, BFRP)	Борные волокна начали применяться в конце 1950-х годов, еще до эпохи широкого распространения углепластиков. Стеклопластики того времени не обладали достаточной жесткостью. В течение долгого времени боропластики преимущественно использовались в формате лент для ремонта алюминиевой обшивки боевых самолетов. В 1990-е годы на рынок вышел сложный гибридный материал Hy Bor, представляющий собой комбинацию борных и углеродных волокон. В сфере БВС Hy-Bor используется для производства компонентов БВС MQ Reaper [127]	Ремонт алюминиевых компонентов, элементы конструкции дорогостоящих БВС, подверженные особо высоким нагрузкам
Гибридные и специализированные композиционные материалы		
GLARE (стеклоармированный алюминиевый ламинат)	GLARE (glass-reinforced aluminum laminate) – класс металловолоконных ламинатов для современных аэрокосмических конструкций. GLARE представляет собой тонкие алюминиевые листы, соединенных между собой однонаправленным или двухосным армированным клеевым препрегом из высокопрочных стеклянных волокон. Такой материал отличается высокой усталостной и ударной прочностью, а также огнестойкостью и устойчивостью к коррозии [128]	GLARE широко используется в конструкции авиалайнера A380 – переднем обтекателе, верхней обшивке фюзеляжа, короне и боковых панелях, а также в верхних секциях передней и кормовой верхней части фюзеляжа [129]
Сэндвич-структуры		
Сотовые структуры	Сотовая сэндвич-структура состоит из двух тонких, но прочных и жестких сторон, которые разделены	Широко используется в компонентах самолетов, требующих высокой

Композиционный материал	Описание	Применение/ Свойства
(Honeycomb core structures)	относительно толстым и легким сотовым наполнителем [130]	удельной жесткости, в том числе в напольных панелях, поверхностях управления и внутренних компонентах самолета [129]

Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным открытых источников

К наиболее часто используемым материалам при проектировании БВС в мире участники российского рынка, прошедшие опрос Инфраструктурного центра «Технет», отнесли полимерные композиционные материалы (Рисунок 19).

Рисунок 19. Структура ответов по используемым при проектировании БВС материалам в мире на текущий момент и на горизонте до 2030 года, ед. ответов



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по результатам опроса

В разрезе использования материалов при проектировании респондентами отмечено применение плоченой углеродной ткани, например, от компании АСПРО, а также различные типы связующих, например, эпоксидной смолы ЭП-20 в полимерных композиционных материалах. Дополнительно выделен материал HEXPly (HEXCEL, США). Кроме того, по ответам респондентов, при проектировании БВС в мире используют дерево и пенопласт.

На перспективу до 2030 года респонденты отметили востребованность полимерных композиционных материалов при проектировании БВС. По мнению экспертов, использование керамических материалов будет ограничено узким спектром задач, в то время как полимерные материалы (пластмассы) сохраняют свою широкую востребованность.

Как отмечается в профильных публикациях, несмотря на значительные различия в физических размерах БВС – от малых до крупных – общие требования к их характеристикам, таким как продолжительность полета и грузоподъемность, остаются неизменными. Ключевой задачей при разработке новых материалов для беспилотных воздушных судов является уменьшение общего веса. В силу этого приоритетным направлением исследований является использование углепластиков CFRP (полимерных материалов, армированных углеродным волокном), обладающих не только значительным потенциал по снижению веса, но и обеспечивающим длительный срок службы в условиях высоких нагрузок и необходимости обеспечивать защиту от коррозии [131].

Ниже представлена ключевая информация о влиянии применяемых композиционных материалов

на характеристики элементов конструкций БВС (Таблица 6).

Таблица 6. Влияние применяемых композиционных материалов на характеристики элементов конструкций БВС

Элементы конструкций БВС	Применяемые композиционные материалы	Влияние на характеристики конструкций
Фюзеляж	Преимущественно углепластики	Снижения веса, увеличение дальности полета
Хвостовое оперение самолета	Преимущественно углепластики и гибридные композиционные материалы	Снижения веса, увеличение устойчивости к нагрузкам
Крылья	В дорогостоящих и тяжелых БВС преимущественно углепластики и гибридные материалы (например, сочетающие углепластики и боропластики, такие как HyBor)	Углепластики и боропластики обеспечивают устойчивость к сверхвысоким нагрузкам и увеличение дальности полета [127,132]
Пропеллер	Углепластики и стеклопластики	Пропеллеры, изготовленные из углепластиков, демонстрируют высокую виброустойчивость и меньшую деформацию при эквивалентных нагрузках, по сравнению с пропеллерами из стеклопластика. Использование стеклопластика является более дешевой альтернативой для БВС-квадрокоптеров более бюджетного класса [133]
Шасси	Углепластики	Высокая усталостная прочность, присущая углепластикам обеспечивает долговечность работы шасси при повторяющихся циклах нагрузок на взлете и посадке [134]

Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным открытых источников

Соединенные Штаты Америки по-прежнему сохраняют лидерство в области беспилотных воздушных судов с применением композиционных материалов за счет многолетнего доминирования в сфере производства дальних и средних разведывательных и ударных БВС, таких как Northrop Grumman RQ-4 Global Hawk, General Atomics MQ-1 Predator и MQ-9 Reaper. Несмотря на нарастающее рыночное давление со стороны новых игроков, США сохраняют значительную долю рынка и масштабно инвестируют в следующее поколение БВС (Таблица 7).

Таблица 7. США: анализ примеров применения композитных и гибридных конструкций БВС

Организации/наименование	Элементы конструкций БВС	Применяемые композиционные материалы	Описание достигнутых характеристик
Тяжелые БВС			
MQ-1 Predator (General Atomics)	Фюзеляж	Углепластики, арамидопластики. Фюзеляж Predator представляет собой смесь углеродных и кварцевых волокон, объединенных	Н/Д

Организации/ наименование	Элементы конструкций БВС	Применяемые композиционные материалы	Описание достигнутых характеристик
		в композит с кевларом. Под фюзеляжем конструкция поддерживается ламинатом из номекса (метаарамидное волокно), пеноматериала и дерева, который спрессован слоями. Между каждым слоем ламината проложена прочная ткань, обеспечивающая изоляцию внутренних компонентов. Ребра конструкции выполнены из ленты на основе углеродного/стекловолокна и алюминия [135]	
	Крылья	Гибридные композиты. Для изготовления законцовок крыла используется композиционный материал Hy-Bor®, состоящий из углепластиков и борного волокна [136]	Увеличение общей грузоподъемности БВС, увеличение полезной нагрузки (боеприпасов) [137], что позволило установить ракеты Hellfire массой 45 кг без изменения формы крыла [138]
	Крылья	Продвинутые композитные и адгезивные материалы	Крылья с размахом 24 метра, разработанные в соответствии со стандартом STANAG 4671, включают защиту от молний и птиц, с применением неразрушающего контроля [139]
MQ 9 Reaper (General Atomics)	Фюзеляж	В публикациях упоминается использование композиционных материалов без указания конкретных видов [140]	Н/Д
	Крылья	Для изготовления законцовок крыла также используется композиционный материал Hy-Bor®, состоящий из углепластиков и борного волокна [138]	Н/Д
	Хвостовое оперение	В публикациях упоминается использование композиционных материалов без указания конкретных видов [141]	Н/Д
RQ-4 Global Hawk	Крылья	Углепластики	Возможность создания тонкого, легкого и длинного крыла (35,3 метра) [142]
	V-образное хвостовое оперение	Графитовые композиционные материалы [143]	Н/Д

Организации/ наименование	Элементы конструкций БВС	Применяемые композиционные материалы	Описание достигнутых характеристик
	Обтекатели	Стеклопластики [143]	Н/Д
Легкие БВС			
Skydio X2 [144]	Рама квадрокоптера	Композиционные материалы из магния и углеродного волокна с технологией аддитивного формо- вания Arris Composites	Снижение веса и повыше- ния прочности конструкции
Skydio X10D [145]	Рама квадрокоптера	Композиционные материалы из магния и углеродного волокна	Снижение веса и повыше- ния прочности конструкции

Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным открытых источников

Достаточно активным игроком в сфере БВС является Франция, за счет наличия в стране крупного гражданского авиастроения, производства вертолетов и общеевропейских проектов на базе компаний Safran и Airbus. Французский производитель гражданских БВС Parrot – одна из немногих европейских компаний заметная на рынке квадрокоптеров, на котором доминируют китайские и американские производители.

Ниже приведены ключевые примеры применения композитных и гибридных конструкций БВС во Франции (Таблица 8).

Таблица 8. Франция: анализ примеров применения композитных и гибридных конструкций БВС

Организации/ наименование	Элементы конструкций БВС	Применяемые композиционные материалы	Описание достигнутых характеристик (с конкретизированными метриками в численном выражении)
Тяжелые и средние БВС			
nEUROn (Dassault Aviation)	Крылья, фюзеляж	Углепластики [146,147]	Н/Д
Patroller (Safran)	Фюзеляж [148,149]	Углепластики	Н/Д
VSR700 (Airbus Helicopters)	Фюзеляж вертолет- ного корпуса [150], лопасти ротора	Тип композитов в фюзеляже не уточнен. Лопасти ротора изгото- влены с применением уг- лепластика	Н/Д
Легкие БВС			
Hercules 2 (Drone Volt)	Каркас квадроко- птера изготовлен из углепластика	Углепластики	Высокая устойчивость к тяжелым условиям полета
Parrot Anafi (Parrot) [151]	Рама БВС усилена углепластиком	Углепластики	Увеличение устойчивости к нагрузкам
DT26X (Delair) [152]	Фюзеляж, крылья, винт	Стеклопластики, углепластики, арамидопластики (кевлар)	Н/Д

Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным открытых источников

Среди значимых нишевых участников рассматриваемого рынка необходимо выделить такие страны как Израиль (Таблица 9), развивающий собственные разработки в сфере беспилотных воздушных судов с 1970-х годов, а также новых активных игроков, таких как Турция (Таблица 10) и Иран (Таблица 11).

Таблица 9. Израиль: анализ примеров применения композитных и гибридных конструкций БВС

Организации/ наименование	Элементы конструкций БВС	Применяемые композиционные материалы	Описание достигнутых характеристик (с конкретизированными метриками в численном выражении)
Cormorant (Tactical Robotics)	Фюзеляж	Углепластики. Фюзеляж Cormorant изготовлен из углеродного композита. Два отсека объемом по 770 л предназначены для размещения грузов и раненых, в них можно разместить различное оборудование для жизнеобеспечения [153]	Н/Д
Hermes 450 (Elbit Systems) [154]	Фюзеляж	Информация по конкретным материалам не раскрывается	Н/Д
Skylark 1 LE Mini Unmanned Aerial vehicle (Elbit Systems) [155]	Фюзеляж, крылья	Информация по конкретным материалам не раскрывается	Н/Д

Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным открытых источников

Таблица 10. Турция: анализ примеров применения композитных и гибридных конструкций БВС

Организации/ наименование	Элементы конструкций БВС	Применяемые композиционные материалы	Описание достигнутых характеристик (с конкретизированными метриками в численном выражении)
Bayraktar TB2 (Baykar) [156]	Фюзеляж	Используются различные углепластики, кевлар и гибридные композиционные материалы	Н/Д
Bayraktar Mini UAV (Baykar) [157]	Фюзеляж	Углепластики и кевлар	Н/Д
ANKA (TAI) [158]	Фюзеляж	Углепластики	Н/Д

Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным открытых источников

Таблица 11. Иран: анализ примеров применения композитных и гибридных конструкций БВС

Организации/ наименование	Элементы конструкций БВС	Применяемые композиционные материалы	Описание достигнутых характеристик (с конкретизированными метриками в численном выражении)
Ababil-2 (HESA)	Фюзеляж	Стеклопластики	Снижение веса (ранние версии БВС в 1990-е годы изготавливались из алюминия)
Ababil-3 (HESA) [159]	Фюзеляж	Стеклопластики [160]. Есть информация об использовании углепластиков в позднейших модификациях [161]	Н/Д
Mohajer-4 (Qods Aviation Industry Company) [162]	Фюзеляж	Указания на конкретные материалы отсутствуют	Снижение веса

Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным открытых источников

Развитие мирового рынка композиционных материалов, несмотря на санкционные ограничения в мировой торговле, позволяет использовать такие материалы во все большем числе беспилотных летательных аппаратов. Относительно дешевые композиционные материалы, такие как стеклопластик, находят масштабное применение в среднем ценовом сегменте, в то время как относительно дорогостоящий углепластик применяется в наиболее технологически сложных и дорогих аппаратах высокой грузоподъемности и дальности полета. Увеличение числа игроков на рынке, действующих в разных экономических условиях, и развитие использования 3D-печати в производстве поддерживает активное экспериментирование в сфере БВС, в том числе в вопросах использования материалов для различных аэродинамических схем компоновки.

1.2.2. Применение композитных и гибридных конструкций БВС в России

Как было сказано выше, композиционные материалы, использование которых позволяет создавать более легкие и прочные элементы конструкции, активно применяются при разработке и производстве беспилотных воздушных судов, как в мировой [21], так и в российской [163] практике. Значительный практический и научный интерес к материалам данного типа обусловлен возможностью регулирования их технических и эксплуатационных характеристик за счет варьирования состава и подбора используемых компонентов. На мировом рынке, как упоминалось выше, лидируют полимерные композиционные материалы (ПКМ). Доминирующая доля потребления ПКМ в России (более 90% – по оценкам консалтинговой компании NeoAnalytics [164]), приходится на стекловолокно. Александр Тюнин, генеральный директор Композитного дивизиона Госкорпорации «Росатом», при этом оценивает структуру российского рынка композиционных материалов в финансовом выражении следующим образом: доля стекловолокна и изделий из него – около 59%; доля углепластиков – порядка 30%, и примерно 11% приходится на остальные виды волокна, материалы и изделия на их основе [165].

Необходимо отметить также, что в 2023–2027 годы в России реализуется комплексная научно-

техническая программа «Новые композиционные материалы: технологии конструирования и производства» [166], направленная на обеспечение технологического суверенитета и научно-технологического лидерства страны путем создания передовых технологий производства композиционных материалов и изделий из них для удовлетворения растущего спроса ключевых отраслей экономики [167].

Увеличению спроса на композиционные материалы в контексте разработки и производства БВС, как в мире в целом, так и в Российской Федерации способствует рост потребности в снижении массогабаритных параметров и заметности для радаров данного класса воздушных судов, рост требований к маневренности и т. д. Конкретные примеры применения композитных и гибридных конструкций БВС в российской практике приведены ниже (Таблица 12).

Таблица 12. Анализ примеров применения композитных и гибридных конструкций БВС в России

Организации/ наименование	Модель БВС	Применяемые композиционные материалы: характеристики и специфика	Заявленные преимущества, достигаемые за счет композиционных материалов
АО «Кронштадт»	Орион [168]	Доля ПКМ в конструкции – около 90% [169], в т.ч. силовой набор конструкции; основной применяемый материал – углеволокно [168] (углепластик КМУ-1 [170])	Пониженная радиолокационная заметность [171]. Прочность и долговечность материала, сравнимая с титаном и легированными конструкционными сталями [172] (характеристики углепластика КМУ-1: предел растяжения – 1 020 МПа; предел сжатия – 400 МПа; предел изгиба – 1100 Мпа; предел сдвига 30 МПа; модуль Юнга растяжения – 180×10^{-3} МПа; модуль Юнга изгиба – 145×10^{-3} МПа; модуль Юнга сдвига – $3,5 \times 10^{-3}$ Мпа [170]). Легкость, увеличение грузоподъемности (максимальная взлетная масса экспортной версии БВС Орион – 1 150 кг; максимальная масса целевой (полезной) нагрузки – 250 кг [168]). Увеличение продолжительности полета, в т.ч. за счет снижения веса и улучшения аэродинамических характеристик (максимальная продолжительность полета – не менее 30 ч.; со стандартной полезной нагрузкой – не менее 24 ч. [168])
АО «Кронштадт», совместно с ОКБ «Сокол» (разработчики); АО «Уральский завод гражданской авиации»	Альтиус	Планер практически полностью изготовлен из композиционных материалов	Пониженная радиолокационная заметность. Легкость, увеличение грузоподъемности (максимальная масса полезной нагрузки – 1 000 кг). Увеличение продолжительности полета, в т.ч. за счет снижения веса

Организации/ наименование	Модель БВС	Применяемые композиционные материалы: характеристики и специфика	Заявленные преимущества, достигаемые за счет композиционных материалов
(производитель) [173]			и улучшения аэродинамических характеристик (до 48 ч./ 10 000 км) [174]
ООО «Специальный технологический центр» (СТЦ)	Орлан-10 [175]	Гибридная конструкция, корпус из углепластика, в который заключено оборудование БВС [176]	Возможность размещения контрольно-измерительной аппаратуры внутри консолей крыла [177]. Пониженная радиолокационная заметность. Легкость, компактность, увеличение грузоподъемности (максимальная взлетная масса – 18 кг, максимальная масса полезной нагрузки – 5 кг); Увеличение продолжительности полета, в т.ч. за счет снижения веса и улучшения аэродинамических характеристик (до 18 ч./ 600 км в автономном режиме). Устойчивость к воздействию погодных условий: БВС может функционировать в диапазоне температур от +40°C до -30°C и высокой влажности, в частности, за счет защитного покрытия из полимерной пленки, которая при образовании наледи отделяется вместе с ледовой коркой [176]
ГК «Геоскан»	Геоскан 201 [178]	Корпус из композиционных материалов, крылья из вспененного полипропилена [179]	Легкость, компактность, увеличение грузоподъемности (максимальная взлетная масса – 8,5 кг, максимальная масса полезной нагрузки – 1,5 кг). Увеличение продолжительности полета, в т.ч. за счет снижения веса и улучшения аэродинамических характеристик (до 3 ч./ 210 км) [180]. Ударостойкость при посадке [179]
	Геоскан 701 [181]	Корпус из композиционных материалов, крылья из вспененного полипропилена [179]	Легкость, компактность, увеличение грузоподъемности (максимальная взлетная масса – 22 кг, максимальная масса полезной нагрузки – 3,5 кг). Увеличение продолжительности полета, в т.ч. за счет снижения веса и улучшения аэродинамических характеристик (до 10 ч./ 1 000 км) [181]. Ударостойкость при посадке [179]
	Геоскан 401 [182]	Рама из углепластика [183]	Легкость, компактность, увеличение грузоподъемности (максимальная взлетная масса – 9,3 кг, максимальная масса полезной нагрузки – 2,5 кг [184]); Увеличение продолжительности полета (до 1 ч./ 24 км [185]).

Организации/ наименование	Модель БВС	Применяемые композиционные материалы: характеристики и специфика	Заявленные преимущества, достигаемые за счет композиционных материалов
			Устойчивость к нагрузкам и суровым условиям эксплуатации [183] (допустимая скорость ветра до 12 м/с; рабочий диапазон температур базового комплекса без полезной нагрузки: от -20°C до +40°C; от -40°C до +20°C с АКБ «Арктика»; в то же время БВС не предназначено для полетов во время дождя, снега и прочих атмосферных осадков [184])
	Геоскан Gemini [186]	Композиционные материалы использованы в конструкции рамы и корпуса [187]	Легкость, компактность, увеличение грузоподъемности (масса с АКБ и винтами – 2 кг); Увеличение продолжительности полета, в т.ч. за счет снижения веса и улучшения аэродинамических характеристик (до 40 мин./ 30 км) [186]
АО «Концерн Вега»	Система мониторинга воздушных ЛЭП (мультироторное БВС, являющееся частью системы мониторинга состояния линий электропередач) [188,189]	БВС сделано из композиционных материалов	Легкость и прочность конструкции; Устойчивость к воздействию погодных условий: рабочий диапазон температур от -30°C до +60°C, в т.ч. возможна эксплуатация при дожде, сильном ветре или снегопаде [190]
ООО «АВАКС-ГеоСервис»	SIGMA [95]	Планер изготовлен из композиционных материалов (углепластик)	Прочность и долговечность материала: БВС рассчитано на длительное время эксплуатации. Легкость, увеличение грузоподъемности (максимальная взлетная масса – 30 кг, максимальная масса полезной нагрузки – 5 кг). Увеличение продолжительности полета, в т.ч. за счет снижения веса и улучшения аэродинамических характеристик (6-12 ч. в зависимости от конфигурации) [95]

Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным открытых источников

К наиболее часто используемым материалам при проектировании БВС в России участники рынка, прошедшие опрос Инфраструктурного центра «Технет», отнесли полимерные композиционные материалы (Рисунок 20), что соответствует общемировой тенденции (см. разд. 1.2.1, Рисунок 19).

Рисунок 20. Структура ответов по используемым при проектировании БВС материалам в России на текущий момент и на горизонте до 2030 года, ед. ответов



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по результатам опроса

Респондентами отмечается общая для отечественной отрасли тенденция использования при проектировании БВС различных пластмасс для крупной серии, аддитивных технологий для прототипов и мелкой серии, а также древесины и пенопласта. Выделяются также отдельные производители материалов, такие как NoName (Китай), ИНУМиТ (Россия), ИТЕКМА (Россия).

Сами организации-респонденты широко применяют при проектировании БВС металлические и полимерные композиционные материалы, в частности, ПКМ с наполнителем: углепластики, стеклопластики. Отмечается, что плетеная углеродная ткань (например, от компании АСПРО) находит применение в качестве армирующего материала в сочетании с различными связующими (например, эпоксидной смолой ЭП-20). Кроме того, организации используют препреги производства композитного дивизиона UMATEX ГК «Росатом», получаемые путем пропитки армирующей волоконной основы системами полимерных смол, в т.ч. препрег АСМ-102. Широко применяется 3D-печать, в особенности фотополимерная печать, реже – печать методом послойного наплавления (Fused Deposition Modeling, FDM).

Ответы респондентов показывают, что по состоянию на конец 2024 года композиционные материалы, в частности карбон, находят применение в производстве рам и корпусов БВС. PETG, в свою очередь, используется для 3D-печати отдельных узлов и креплений. Также рассматривается возможность применения композитов в более широком спектре элементов конструкции, включая корпус, планер, воздушные винты, обтекатели, рессоры шасси и грузовые отсеки, особенно в контексте БВС для грузоперевозок. При этом подчеркивается, что выбор материала, в том числе и композитных, обусловлен конкретными задачами эксплуатации БВС, и определяется конструкторскими требованиями.

В планах к 2030 году у участников рынка отмечается использование продукции российских производителей, таких как ИНУМиТ, ИТЕКМА и АКРИМИД (НИИ полимеров). Предполагается дальнейшее применение аддитивных технологий и переход к литью пластмасс. Выбор подходящих полимерных композиционных материалов будет осуществляться на основе анализа доступных предложений и соответствия текущим задачам. По мнению респондентов, к 2030 году тенденция по использованию полимерных композиционных материалов при проектировании БВС в России сохранится.

В России, как и в мире в целом, отмечается растущий спрос на применение композитных и

гибридных конструкций в авиации, в частности – в разработке и производстве беспилотных воздушных судов. Использование композиционных материалов в рассматриваемой области способствует снижению производственных затрат, как за счет сокращения числа элементов деталей конструкции (т. е. уменьшения трудоемкости), так и за счет повышения эффективности применения материалов. В профильных публикациях [172], например, в данном контексте отмечается рост коэффициента использования материала до 90%.

По словам исполнительного директора Союза производителей композитов С.Ю. Ветохина [191], в части конечных изделий из композиционных материалов РФ к настоящему времени удерживает устойчивые позиции – доля конечной продукции, закупаемой за рубежом, чрезвычайно мала. В то же время необходимо учитывать, что, по оценкам отраслевых экспертов [164], отечественные производители уступают зарубежным конкурентам, как в части ассортимента, так и в части комплексных технологических характеристик продукции. При этом сохраняется зависимость российского рынка композиционных материалов от импорта сырья, а также производственного оборудования, инструментов и ПО [164,192,193]. В частности, исследовательская компания NeoAnalytics [164] оценивает долю импортируемого программного и аппаратного обеспечения на рассматриваемом рынке примерно в 90%, а долю волокон и материалов – примерно в 50%.

Потребности развития сектора беспилотной авиации в России диктуют необходимость увеличения производства композиционных материалов. Открытие профильных предприятий в различных регионах России, демонстрирует движение отечественной промышленности в сторону импортозамещения. Как и в случае с мировым рынком, значительное разнообразие классов БВС и конкретных моделей создает пространство для использования большого количества различных видов и сортов композиционных материалов, как максимально дешевых, так и, в случае с передовыми разработками военных БВС, наиболее технологичных и дорогих видов.

1.3. Обзор цифровых технологий обеспечения эксплуатации композитных и гибридных конструкций БВС по состоянию на конец 2024 г.

1.3.1. Обзор цифровых технологий обеспечения эксплуатации композитных и гибридных конструкций БВС в мире

Рост требований к функциональным и технологическим характеристикам современных беспилотных воздушных судов, наряду с необходимостью обеспечения экономической эффективности их производства и эксплуатации обуславливают повышение спроса на соответствующие цифровые технологии, программные продукты и модули. С одной стороны, необходимо принимать во внимание соображения безопасности, долговечности и надежности конструкций (обшивки, крыльев, лопастей турбин и других критических компонентов), в частности – за счет выявления наличия трещин и других дефектов, которые могут повлиять на целостность конструкции. Ключевое значение имеет обеспечение экономических показателей, таких как снижение стоимости изделия в целом, снижение затрат на реализацию производственных процессов за счет уменьшения объемов ручного труда, уменьшение финансовых и трудозатрат на ремонт.

В рассматриваемом контексте ключевое значение приобретают такие группы цифровых технологий, как системы цифрового проектирования и моделирования, технологии неразрушающего

контроля с цифровой обработкой данных, системы мониторинга технического состояния и предиктивного обслуживания, аддитивное производство (3D-печать) и цифровые двойники (Таблица 53).

Национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 57700.37–2021 [194], в котором дано определение цифровому двойнику изделия и описание его применения на всех стадиях жизненного цикла (разработка, производство, эксплуатация), был включён в перечень взаимно признаваемых стандартов в сфере авиастроения между Китайской Народной Республикой и Российской Федерацией [195].

Таблица 13. Классификация и описание цифровых технологий обеспечения эксплуатации композитных и гибридных конструкций БВС в мире

Группа цифровых технологий	Описание	Подгруппы цифровых технологий	Направления применения	Особенности применения
Технологии цифрового проектирования и моделирования (CAD/ CAE/ CAM)	Средства (системы) автоматизированного проектирования (CAD) – прикладные автоматизированные системы, используемые для проектирования, геометрического моделирования и параметрического проектирования. Используются для создания конструкторской и технологической документации, 3D моделей, чертежей [196]; Средства (системы) автоматизации инженерных расчетов (средства инженерного анализа, CAE) – 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	CAD (Computer-Aided Design – средства (системы) автоматизированного проектирования; CAE (Computer-Aided Engineering – средства (системы) автоматизации инженерных расчетов (системы инженерного анализа); CAM (Computer-Aided Manufacturing) – средства (системы) управления оборудованием с числовым программным управлением	Системы CAD/ CAE/ CAM применяются на стадии проектирования композитных и гибридных конструкций БВС	Системы CAD/ CAE/ CAM – неотъемлемая часть современного производства. Чаще всего системы CAD/ CAE/ CAM предоставляются в составе единых пакетов программного обеспечения и обеспечивают связь между процессами проектирования, инженерного анализа и непосредственного изготовления продукции

Группа цифровых технологий	Описание	Подгруппы цифровых технологий	Направления применения	Особенности применения
	условиях эксплуатации с учетом внешних воздействий [196]; Средства (системы) управления оборудованием с числовым программным управлением (CAM) – программные системы, осуществляющие автоматизированное программирование оборудования с ЧПУ [197]			
Технологии неразрушающего контроля (Non-Destructive Testing, NDT) с цифровой обработкой данных	Неразрушающий контроль (NDT, также распространено название «оценка надежности неразрушающими методами») – это совокупность методов анализа, используемых для оценки состояния материалов, компонентов и систем без их повреждения. Технологии данной группы критически важны для эксплуатации конструкций, находящихся под большими нагрузками, таких как важные капитальные сооружения, наземные транспортные средства или летательные аппараты. Современные средства NDT используют цифровую обработку сигналов, что повышает точность и увеличивает скорость обработки информации [198]	Тепловой/ Инфракрасный контроль (Thermal/ Infrared Testing). Радиографический контроль (Radiography Testing). Визуальный контроль (Visual Testing). Контроль на герметичность (Leak Testing). Акустозмиссионный контроль (Acoustic Emission Testing). Ультразвуковой контроль (Ultrasonic Testing). Магнитопорошковый контроль (Magnetic Particle Testing). Контроль проникающими веществами (Liquid Penetrant Testing) Вихрековый контроль (Eddy Current Testing) [199]	Использование разных типов датчиков (тепловых, инфракрасных, электромагнитных, ультразвуковых и пр.) для сбора информации о состоянии материала [200]	Позволяет осуществлять регулярный контроль качества конструкций без необходимости разрушения продукции или длительного нарушения деятельности сооружений. Автоматизированные цифровые технологии визуального контроля (AOI, Automated Optical Inspection) позволяют вести сплошное тестирование на производственных линиях [200]
Системы мониторинга технического состояния (Structural Health	Системы мониторинга технического состояния (SHM) позволяют осуществлять оценку целостности	Системы SHM отличаются значительным разнообразием и могут использовать датчики многих видов:	Чаще всего сенсоры интегрируются непосредственно в конструкцию	Системы SHM позволяют вести мониторинг с минимальным вмешательством в сооружение или изделие

Группа цифровых технологий	Описание	Подгруппы цифровых технологий	Направления применения	Особенности применения
Monitoring, SHM)	и работоспособности конструкций на непрерывно или периодически основе с помощью датчиков, встроенных в конструкцию, измеряющих такие параметры как деформация, вибрация и температура. Системы SHM могут быть предоставлены на этапе производства или устанавливаться на уже существующие изделия и конструкции. Наиболее активно системы мониторинга технического состояния используются в строительстве инфраструктурных объектов, энергетике, аэрокосмической и транспортной отрасли [201]	Тензометрические датчики. Акселерометры. Наклонометры. Пьезометры. Волоконно-оптические датчики. Акустические датчики. Молекулярно-электронные датчики [202]	сооружения или изделия	
Аддитивное производство (3D-печать)	Технологии аддитивного производства основаны на создании трехмерных объектов путем послойного нанесения материалов по заданным цифровым моделям. Аддитивное производство обеспечивает гибкость в проектировании и позволяет изготавливать легкие конструкции со сложной геометрией с небольшим количеством отходов. Эти свойства исключительно важны для производства целых БВС и изготовления запасных частей. Возможность быстрого создания прототипов также важна для сферы БВС [203]	Основные классы технологий аддитивного производства: Экструзия материала (Material Extrusion). Фотополимеризация в ванне (Vat Photopolymerization). Струйное нанесение связующего (Binder Jetting). Струйное нанесение материала (Material Jetting). Листовая ламинация (Sheet Lamination); Прямой подвод энергии и материала (Directed Energy Deposition).	Послойное создание 3D-конструкций на основе трехмерных цифровых моделей [205]	Аддитивное производство активно используется в создании компонентов БВС, особенно легкого и среднего класса. Ряд производителей стремится максимально использовать возможности аддитивных технологий для производства всех композитных компонентов БВС [206]

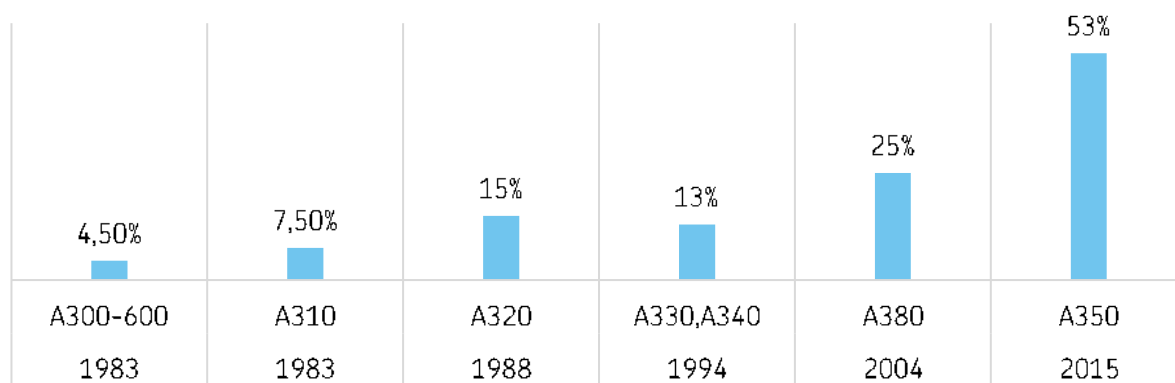
Группа цифровых технологий	Описание	Подгруппы цифровых технологий	Направления применения	Особенности применения
		Синтез на подложке (Powder Bed Fusion) [204]		
Цифровые двойники (Digital Twins)	В мире есть различные определения цифрового двойника [201]. В 2021 году был принят стандарт ГОСТ Р 57700.37–2021 «Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения», согласно которому цифровой двойник изделия (ЦД изделия) представляет собой систему, состоящую из цифровой модели изделия и двусторонних информационных связей с изделием и (или) его составными частями. Цифровая модель изделия, в свою очередь, – система математических и компьютерных моделей, а также электронных документов изделия, описывающая его структуру, функциональность и поведение 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 [194]	ЦД-Р – цифровой двойник, наполнение и функциональность которого определяется в ходе реализации стадии разработки изделия. ЦД-П – цифровой двойник, наполнение и функциональность которого определяется в ходе реализации стадии производства изделия. ЦД-Э – цифровой двойник, наполнение и функциональность которого определяется в ходе реализации стадии эксплуатации изделия	Выполнение технических и тактико-технических требований к изделию, снижение себестоимости и сроков разработки опытных образцов изделия, повышение технологичности изделия, а также повышение надёжности и эффективности изделия	Применяются для высокотехнологичных и критически важных компонентов и процессов. Особо важны для производственных процессов в высокотехнологичных отраслях и системах критической инфраструктуры [207]

Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным открытых источников

Для современных дальнемагистральных самолетов и передовых БВС становится нормой использование широкого спектра композиционных материалов. По утверждению многих авторов, с 1980-х годов в отрасли происходит «композитная революция», в которую с определенного момента включились и российские производители [208]. Применение композиционных материалов позволяет достигать впечатляющих результатов для воздушных судов – веса конструкции

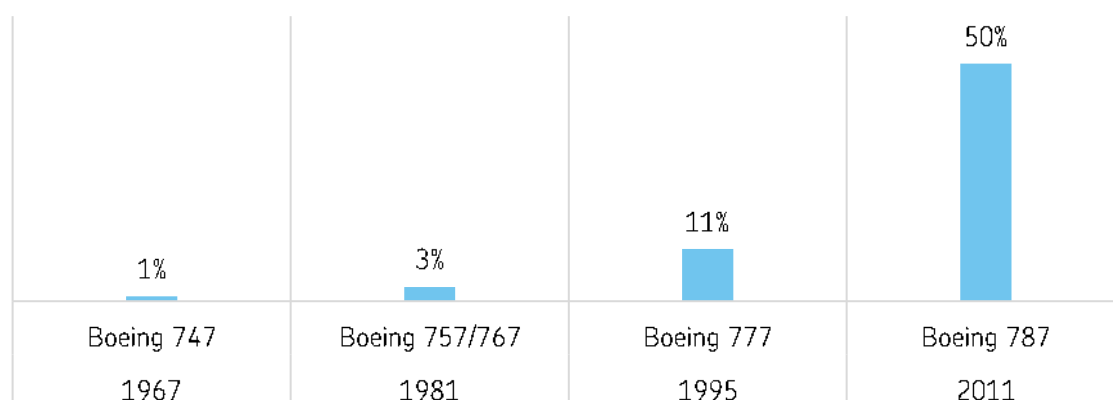
самолета снижается на 15–20%, общий ресурс повышается в полтора–два раза, повышается безопасность и сокращаются сроки разработки и производства [209]. В условиях глобальной конкуренции, масштабное использование композиционных материалов становится обязательным требованием для присутствия на рынке (Рисунок 21 и Рисунок 22).

Рисунок 21. Доля композиционных материалов в конструкции самолетов Airbus



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным sensXPERT [210]

Рисунок 22. Доля композиционных материалов в конструкции самолетов Boeing



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным sensXPERT [210]

Стремительное увеличение композиционных материалов в авиастроении и производстве БВС ставит перед промышленностью новые вызовы в сфере обеспечения эффективности производства и безопасности конструкций летательных аппаратов.

Передовые производственные технологии, такие как технологии цифровых двойников, платформы разработки и применения цифровых двойников, CAD/ CAE-технологии позволяют авиастроительной отрасли значительно сократить время вывода на рынок новых изделий и снизить стоимость проектирования, производства и эксплуатации на всех стадиях жизненного цикла изделия. Необходимо отметить также, что развитие новых, в том числе облачных, CAD/ CAE-решений, позволило небольшим компаниям – производителям БВС получить доступ к передовым средствам проектирования.

Ведущие игроки отрасли при этом сочетают различные технологические направления, так, компания BAE Systems, поставившая целью значительное увеличение доли компонентов, произведенных методом 3D-печати, внедряет использование технологий неразрушающего контроля на самых ранних этапах производства аддитивных компонентов [211].

Использование композиционных материалов в авиации стимулирует и развитие соответствующего применения цифровых двойников. Особенно велика роль цифровых двойников в обеспечении экономности использования композиционных материалов при производстве воздушных судов и обеспечении безопасности их конструкций [212], что крайне важно для авиационной отрасли, находящейся под тщательным надзором регулирующих органов.

Конкретные примеры программного обеспечения для моделирования и анализа, в том числе процессов эксплуатации композитных и гибридных конструкций БВС в мире приведены ниже (Таблица 14).

Таблица 14. Классификация и описание программного обеспечения для моделирования и анализа, в том числе процессов эксплуатации композитных и гибридных конструкций БВС в мире

Разработчик (страна)	Продукт	Класс ПО	Функциональные возможности	Классы решаемых задач	Применение
Ansyes (США)	Ansyes LS-Dyna	Программный комплекс для анализа высоконелинейных динамических процессов с использованием различных схем интегрирования по времени	Возможность работы практически с любыми CAD-форматами геометрии в SpaceClaim, доступ к свойствам материалов Engineering Data и построение сеток в Ansys Meshing, SpaceClaim Meshing или ICEM CFD. Параметризация на любом этапе создания модели и работа с композитами в Ansys Composite PrepPost. Также поддерживается взаимодействие с ресурсами для высокопроизводительных вычислений через Ansys RSM и параметризация на любой стадии проекта	Ударостойкость конструкций при больших деформациях, скоростях деформаций и разрушении материалов. Взрывы и ударно-волновое нагружение конструкций. Связанные динамические расчеты взаимодействия жидкостей и конструкций. Квазистатические и динамические расчеты поведения материалов при больших деформациях. Термомеханические нестационарные расчеты и др.	Обработка металлов давлением, резка, задачи геомеханики и деформирования материалов со сложными физико-механическими свойствами и др.
Dassault Systemes (Франция)	SIMULIA Abaqus/ CAE	FEA для композиционных материалов	SIMULIA Abaqus позволяет моделировать повреждения	SIMULIA Abaqus позволяет проводить совместный мультифизический	SIMULIA Abaqus применяется для

Разработчик (страна)	Продукт	Класс ПО	Функциональные возможности	Классы решаемых задач	Применение
			слоистых компози- тов и производить анализ расслоений. Такие возможности необходимы для оценки структурной целостности и про- изводительности компонентов БВС в различных условиях полета [215]	анализ, позволяю- щий оценить, как тепловые, струк- турные и аэроди- намические силы взаимодействуют с композиционными компонентами во время эксплуатации БВС. Программа предо- ставляет такие средства визуали- зации как 2D/3D- карты напряжений и анимацию раз- рушений	оптимизации веса компо- нентов БВС и оценки уста- лостной дол- говечности композитных крыльев [213]
COMSOL (Швеция)	COMSOL Multiphysics	Мультифи- зическая CAE-плат- форма	Платформа COMSOL Multiphysics® позво- ляет осуществлять моделирование электромагнитных полей, теплопере- дачи, механики жидкостей и струк- турной механики с возможностью их совместного ана- лиза. При работе исполь- зуются метод конеч- ных элементов (FEA) и создание сурро- гатных моделей за счет использования специализирован- ного модуля (Surrogate Model Training). COMSOL Multiphysics® ис- пользуется для та- ких сфер как струк- турная механика, акустика, оптика и электрохимия [214]	Платформа позво- ляет решать ши- рокий спектр за- дач, среди кото- рых для сферы БВС наиболее важными являются оптимизация аэродинамических характеристик для летательных аппа- ратов. Модуль компози- ционных материа- лов Comsol Mul- tiphysics, включает в себя специали- зированные ин- струменты моде- лирования и функ- циональность для анализа слоистых композиционных конструкций [215]	Среди проектов применения COMSOL Multiphysics® в сфере БВС – проекты по созданию новых форм крыльев [216]
Ansys (США)	Ansys Twin Builder	Платформа создания цифровых двойников	Программное решение для создания гибридных цифровых двойников.	Ansys Twin Builder используется для таких сфер как механика, термо- динамика и элект- ромагнитные	Ansys Twin Builder применяется для предик- тивного об- служивания

Разработчик (страна)	Продукт	Класс ПО	Функциональные возможности	Классы решаемых задач	Применение
			Ansys Twin Builder позволяет использовать методы суррогатного моделирования и модели с сокращенного порядка (ROM), а также включает в себя модуль Hybrid Analytics, который позволяет осуществлять настройку параметров модели и объединять данные полученные с сенсоров с результатами математического моделирования [217]	расчеты и предоставляет такие средства визуализации как интерактивные дашборды и трехмерная анимация моделей	авиационных систем и оптимизация энергопотребления БВС [218]
PTC (США)	Creo Parametric	CAD/ CAE	Creo Parametric – это полный пакет решений, объединяющий системы CAD, CAM и CAE в единое программное обеспечение. Среди ключевых особенностей ПО заявляется генеративное проектирование, построение рабочих процессов аддитивного производства и моделирование на базе пакетов Ansys [219]	Генеративное проектирование, используемое в Creo программы позволяют осуществлять быстрый анализ нескольких вариантов конструкции и выбора наилучшего решения для аэрокосмических применений [220]	В Creo реализована методология проектирования, основанная на моделировании, благодаря которой инженеры могут выполнять моделирование для быстрой проверки моделей с отдельным вниманием к многослойности композиционных материалов [221]

Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным открытых источников

Рынок инженерного программного обеспечения, в том числе работающего с композиционными материалами, отличается высокой устойчивостью и зрелостью. Большая часть рынка (50%-55%) контролируется ограниченной группой компаний, основанных в 1970-1980-х годах (Ansys, Dassault Systemes, Siemens Digital Industries Software, Altair Engineering и Hexagon AB) [222].

Для рынка характерны долгосрочные контракты и устойчивая связь между лидирующими

разработчиками программного обеспечения и крупными высокотехнологичными промышленными компаниями. Новые игроки на рынке появляются редко, в силу крайне высоких барьеров входа. Более того, степень концентрации отрасли – после поглощения компании Ansys компанией Synopsys – начала вызывать опасения регуляторов [223]. На рынке присутствуют также и более специализированные игроки, такие как компания COMSOL, также доминирующие в своих нишах на протяжении десятков лет.

Многочисленные технологические изменения в авиационной отрасли и производстве БВС не привели к появлению каких-либо новых игроков на рынке, чему дополнительно препятствует активная политика слияний и поглощений, реализуемая лидерами отрасли.

Описание и особенности применения цифровых технологий для обеспечения эксплуатации композитных и гибридных конструкций БВС в мире представлены ниже (Таблица 15).

Таблица 15. Описание и особенности применения цифровых технологий для обеспечения эксплуатации композитных и гибридных конструкций БВС в мире

Разработчик (страна)	Цифровая технология/ продукт	Описание технологии/ назначение	Преимущества	Недостатки	Особенности применения для композитных/ гибридных конструкций
Ansys (США)	ANSYS Composite PrepPost (ACP)	Инструмент, предназначенный для моделирования композиционных слоистых материалов и получения результатов расширенного анализа с использованием специальных инструментов для работы с разрушениями, интегрированный в платформу Workbench. ACP позволяет создавать модели на базе анализа методом конечных элементов (FEA) с различными зонами слоистой	Возможность моделирования сложных композиционных раскладок и точного моделирования их поведения. Интеграция с ANSYS Workbench для обеспечения бесшовности рабочего процесса [225]. Инструменты для анализа разрушений в композиционных материалах [226]	По некоторым отзывам, работа ANSYS Composite PrepPost требует детального ввода данных и глубоких знаний в области композиционных материалов и моделирования [227]	ANSYS Composite PrepPost позволяет моделировать сложные композитные конструкции [226] и осуществлять эффективный анализ разрушений с учетом особенностей композиционных материалов [228]

Разработчик (страна)	Цифровая технология/ продукт	Описание технологии/ назначение	Преимущества	Недостатки	Особенности применения для композитных/ гибридных конструкций
		структуры, заданными послойно. В нем используются решатели Ansys Mechanical для выполнения неявных/ явных структурных и тепловых расчетов [224]			
Siemens Digital Industries Software (США)	Siemens Fibersim	Программный инструмент для проектирования, анализа и производства композитных конструкций [229]	Параллельное проектирование – интеграция процессов разработки и проектирования с производственными процессами. Учет специфики деталей при проектировании композитных/ гибридных конструкций, в т.ч. отраслевой специализации (аэрокосмическая промышленность, автомобильная промышленность, электроэнергетика и др.). Интеграция с Simcenter и другими системами CAE, обеспечивающая двустороннее обновление данных и обмен данными между	Сложность освоения и высокие требования к подготовке пользователей. Избыточная сложность для работы с простыми композитными конструкциями. Потенциальные проблемы интеграции с «внешними» инженерными системами [231,232]	Итерационный анализ передовых композиционных материалов при проектировании с учетом уникальных весовых характеристик детали. Обеспечение технологичности конструкции вне зависимости от применяемой технологии производства композиционного материала (контактное формование, автоматическая выкладка нитей и лент, автоматизированная выкладка волокон, плетение). Автоматическое создание границ слоев на основе минимальных геометрических данных. Расширенные возможности сортировки, фильтрации и

Разработчик (страна)	Цифровая технология/ продукт	Описание технологии/ назначение	Преимущества	Недостатки	Особенности применения для композитных/ гибридных конструкций
			инженерами-конструкторами и аналитиками с учетом производственных ограничений [229]; Совместимость с ведущими CAD-системами: NX от Siemens DI Software, CATIA от Dassault Systems, Creo от PTC [230]; Совместимость с PLM-системой Siemens Teamcenter; Открытая архитектура, позволяющая интеграцию с иными системами [229]		переименования, обеспечивающие инструменты для навигации, необходимые с учетом сложности современных композитных деталей. Инженерная документация, включающая профили схода слоев, порядок укладки слоев и используемые материалы, что позволяет автоматизировать процесс верификации разработки. Автоматическое создание поверхностных и твердотельных моделей, позволяющее выявлять коллизии между компонентами сборки и контролировать соблюдение требований к компоновке [229]
Dassault Systemes (Франция)	CATIA Composites Design	Модуль платформы CATIA V5 для проектирования изделий из композиционных материалов позволяющий производителям из аэрокосмической,	Возможность создания 3D-моделей [234]. Высокая продуктивность системы и учет особенностей сложных композиционных материалов [235]. Учет требований к	Пользователи отмечают такие недостатки системы CATIA как недружелюбность пользовательского интерфейса, сложность в освоении и высокие	Продукт глубоко интегрирован с системами управления аддитивным производством композиционных материалов [238]. Разработчики уделяют отдельное внимание

Разработчик (страна)	Цифровая технология/ продукт	Описание технологии/ назначение	Преимущества	Недостатки	Особенности применения для композитных/ гибридных конструкций
		автомобильной и судостроительной промышленности сократить время проектирования деталей предоставляет инструменты как для предварительной, так и для детальной фазы проектирования [233]	технологичности изделия на всех стадиях проектирования [233]. Интеграция с иными инструментами моделирования, такими как Abaqus в рамках платформы 3DEXPERIENCE [236]	системные требования [234]. Пользователи также отмечают высокую стоимость программного пакета CATIA [237]	поддержке создания легких конструкций из композиционных материалов [239]. Также CATIA активно используется для создания элементов БВС из композиционных материалов [240]
Hexagon AB (Швеция)	Digmat	Цифровая платформа многомасштабного моделирования, специализирующаяся на микромеханическом анализе сложных многокомпонентных материалов, таких как пластики, композиционные материалы, металлы и эластомеры [241]	Комплексность, платформа включает следующие компоненты (функциональные блоки): Цифровая лаборатория материалов для виртуального проектирования и тестирования. Многомасштабное моделирование, расширяющее возможности анализа методом конечных элементов (FEA) и устанавливающее взаимосвязи между материалами, технологиями производства и эксплуатационными характеристиками. Аддитивное	Сложность освоения и высокие требования к подготовке пользователей. Низкая производительность, медленная работа [242]	Применяется для построения моделей материалов, таких как определяющие уравнения композиционных материалов, и реверс-инжиниринга фазовых свойств за счет гомогенизации среднего поля [243]. Позволяет прогнозировать поведение материалов от микро- до макроуровня [241]

Разработчик (страна)	Цифровая технология/ продукт	Описание технологии/ назначение	Преимущества	Недостатки	Особенности применения для композитных/ гибридных конструкций
			производство, фокусирующееся на полимерных и иных композиционных материалах		

Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным открытых источников

Инженерное программное обеспечение для работы с композиционными материалами от технологических лидеров отрасли обладает сравнительно схожими характеристиками. Выбор того или иного программного обеспечения осуществляется преимущественно на основании экономических возможностей покупателя, отраслевых стандартов для конкретной отрасли (так, например, пакеты CATIA часто рассматриваются пользователями как стандарт де-факто в авиастроительной и автомобилестроительных отраслях) и степени глубины необходимых компетенций у инженеров-пользователей программного обеспечения.

Ключевые примеры применения цифровых технологий для обеспечения эксплуатации композитных и гибридных конструкций БВС в мире приведены ниже (Таблица 16).

Таблица 16. Кейсы применения цифровых технологий для обеспечения эксплуатации композитных и гибридных конструкций БВС в мире

Разработчик (страна)	Цифровая технология/ продукт	Год внедрения	Описание применения	Достиженные эффекты
OdysightAI (Израиль)	Camera-as-a-Sensor™ (камера как датчик)/ OdysightAI® [244]	2024 [245]	Мониторинг компонентов БВС в режиме реального времени за счет непрерывной оценки состояния воздушного судна, его деталей и элементов конструкции с помощью технологии «камера как датчик» (расширяющей возможности датчиков на основе технического зрения за счет ИИ) для превентивного выявления и устранения потенциальных проблем до того, как они приведут непосредственно к возникновению неисправности [246]. В частности, в 2024 году OdysightAI объявила о	OdysightAI® позволяет осматривать труднодоступные и недоступные компоненты/ элементы конструкции, в т.ч. в экстремальных условиях эксплуатации. В целом технология повышает безопасность полетов, эффективность принятия решений и эффективность миссий [246]

Разработчик (страна)	Цифровая технология/ продукт	Год внедрения	Описание применения	Достигнутые эффекты
			подписании с международным оборонным подрядчиком соглашения о заказе на сумму свыше 10 млн долл. на поставку системы предиктивного технического обслуживания (PdM) и мониторинга состояния (CBM) на основе технического зрения, которая будет интегрирована с этапа проектирования в базовую конфигурацию основной платформы БВС, а также в существующую линейку БВС [245]	
Siemens Digital Industries Software, Национальный институт авиационных исследований (NIAR) Учительского государственного университета (США)	Виртуальный полигон для тестирования БВС на базе Simcenter	2023	Виртуальный полигон для оценки функциональных характеристик и специфики эксплуатации БВС на базе Siemens Simcenter, дополняющий модель БВС NIAR X-Plane, основанную на библиотеке физики полета AVET. В частности, разработана модель испытательного полигона для БВС в Салине, штат Канзас, площадью более 200 км ²	Разработанный цифровой инструмент позволяет проводить виртуальное тестирование БВС в условиях, приближенных к реальной эксплуатации [247]
Boeing Australia, МЕМКО, Университет Южного Квинсленда (Австралия), Dassault Systemes (Франция)	Цифровой двойник воздушного судна	2023	Разработка/ применение цифровых двойников для оптимизации ремонта композиционных и гибридных конструкций воздушных судов. Использование экспертизы инжиниринговой компании МЕМКО в части цифровых технологий и ее доступа к платформе цифровых двойников Dassault Systemes в сочетании с экспертизой команды Университета Южного Квинсленда в части композиционных материалов для решения задач подразделения Boeing в Австралии. Кейс – проект внедрения в рамках государственной программы «Инновационный запуск, автоматизация, новые материалы, связь и гиперзвук» (iLAUNCH).	Повышение эффективности ремонта и эксплуатации воздушных судов, сокращение времени ремонта композиционных компонентов [248]

Разработчик (страна)	Цифровая технология/ продукт	Год внедрения	Описание применения	Достиженные эффекты
			направленной на стимулирование и поддержку кооперации университетов и бизнеса	
American GFM, Национальный институт авиационных исследований (NIAR) Уичитского государственного университета (США), Field International (Великобритания)	Комплексное основанное на данных программно-аппаратное решение, объединяющее осмотр, поверхностную обработку и ремонт в рамках портативной автоматизированной системы	2021	Ремонт воздушных судов «на месте» с использованием портативной установки (1,6 на 1,6 на 1,5 м) для работы с композиционными материалами от American GFM, а также методики и программного обеспечения NIAR. Проект в разработке, методика и ПО запатентованы	Сокращение затрат, в т.ч. временных, и повышение эффективности ремонта воздушных судов [249]

Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным открытых источников

Цифровые технологии для обеспечения эксплуатации композиционных материалов и конструкций из них развиваются относительно стабильно. «Революция композиционных материалов» в авиастроении разворачивалась в 1990–2000-е годы и вовлекла всех основных игроков отрасли в тесном взаимодействии с разработчиками программного обеспечения. Корпоративный ландшафт поставщиков цифровых технологий достаточно стабилен, в силу общей олигопольной структуры рынка инженерного программного обеспечения.

Активное развитие рынка беспилотных воздушных судов, на котором отсутствует жесткое доминирование ограниченного числа компаний, характерное для мирового пассажирского авиастроения, также стимулирует рост доступности средств компьютерного проектирования и анализа, равно как и развитие международной кооперации, позволяющее малым игрокам использовать компоненты, произведенные крупными производителями из-за рубежа (преимущественно из КНР). Следует отметить, что в секторе БВС, наибольшим использованием высокотехнологичных композиционных материалов отличаются крупные БВС для военных задач, производимых крупнейшими американскими компаниями из сектора авиастроения и оборонных технологий (Boeing, General Atomics, Lockheed Martin и т. д.).

Взрывообразное развитие сектора малых и средних БВС гражданского и двойного назначения ставит вопрос не столько о научном и технологическом фронтире, сколько о распространении современных инженерных практик использования программного обеспечения (CAD/ CAE/ CAM), ранее доступных только лидерам рынка, в сегменте малых и средних компаний. Зачастую такое освоение достигается благодаря платформенным и облачным решениям крупнейших игроков рынка инженерного программного обеспечения, доступным для малых компаний, что, в то же время, обуславливает значимость вопросов защиты чувствительных данных. Указанная проблема является наиболее острой для новых игроков на рынке БВС, стремящихся к независимому развитию сектора.

1.3.2. Обзор цифровых технологий обеспечения эксплуатации композитных и гибридных конструкций БВС в России

Для активно развивающегося российского рынка значимыми технологиями обеспечения эксплуатации композитных и гибридных конструкций БВС, как и в мире, являются системы цифрового проектирования и моделирования, технологии неразрушающего контроля с цифровой обработкой данных, системы мониторинга технического состояния и предиктивного обслуживания, аддитивное производство (3D-печать) и технологии цифровых двойников. При проектировании эксплуатации композитных и гибридных конструкций БВС в России нужно учитывать ряд специфических вызовов, связанных, в частности, с суровыми климатическими условиями. Широкий диапазон температур (от $+40^{\circ}\text{C}$ до -50°C), повышенная влажность, высокая скорость ветра, дождь, снег, прочие атмосферные осадки и т. д. могут существенно влиять на прочностные характеристики композиционных материалов, используемых в конструкции БВС, что требует предъявлять повышенные требования к цифровым системам проектирования и мониторинга технического состояния.

В целях создания российских цифровых решений, формирования мер стимулирования процессов импортозамещения, подготовки кадров и развития экспортного потенциала в 2022 году принята Дорожная карта развития высокотехнологичной области «Новое индустриальное программное обеспечение» [250] (утв. протоколом заочного голосования членов президиума Правительственной комиссии по цифровому развитию, использованию информационных технологий для улучшения качества жизни и условий ведения предпринимательской деятельности от 14 декабря 2022 года № 56). Как уже было сказано выше, для удовлетворения растущего спроса ключевых отраслей экономики композиционных материалов и изделий из них в России в 2023–2027 годы реализуется комплексная научно-техническая программа «Новые композиционные материалы: технологии конструирования и производства» [166]. В то же время, для непосредственного стимулирования роста и развития отрасли БВС в Российской Федерации реализуются Стратегия развития беспилотной авиации до 2030 года и на перспективу до 2035 года [251] и национальный проект «Беспилотные авиационные системы» [252].

В 2023 году ПИШ СПбПУ активно включилась в реализацию Стратегии развития беспилотной авиации РФ на период до 2030 года и на перспективу до 2035 года (Распоряжение Правительства Российской Федерации от 21 июня 2023 г. № 1630-р) [75]. Цифровая платформа позволяет осуществлять разработку различных типов беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) и БВС, в том числе самолетного и вертолетного типов, мультироторных систем, конвертопланов, гибридных БВС, объединяющих преимущества БВС разных типов, беспилотных гидросамолетов и самолетов-амфибий и т.д.

Работы по формированию единой среды проектирования беспилотных летательных аппаратов на базе цифровой платформы CML-Bench® организованы в Санкт-Петербургском политехническом университете Петра Великого (СПбПУ) и ведутся в соответствии с национальным стандартом ГОСТ Р 57700.37–2021 [194], признанным стандартом в сфере авиационного строительства в Китайской Народной Республике [195].

В качестве примера применения цифровой платформы CML-Bench® для разработки БВС можно привести проект, реализованный в 2023 году в инициативном порядке сотрудниками Передовой

инженерной школы СПбПУ «Цифровой инжиниринг» в кратчайшие сроки (за 5 месяцев), в рамках которого разработан и изготовлен опытный образец БПЛА «Снегирь-1» [253] (Рисунок 23). В результате проведенных работ подготовлена производственная площадка для изготовления опытных образцов беспилотных летательных аппаратов.

Рисунок 23. Беспилотный летательный аппарат «Снегирь-1»



Источник: ПИШ СПбПУ «Цифровой инжиниринг» [254]

Высокая стоимость разработки, производства, испытаний и сертификации беспилотных летательных аппаратов существенный барьер развития отрасли беспилотной авиации. За счет проведения большого числа цифровых (виртуальных) испытаний, в том числе на специализированных цифровых (виртуальных) стендах и полигонах на цифровой платформе **CML-Bench®**, становится возможным на практике реализовать **»цифровую сертификацию«** — специализированный бизнес-процесс, основанный на тысячах (десятках тысяч) цифровых (виртуальных) испытаний как отдельных компонентов, так и системы в целом. Целью цифровой сертификации является **прохождение с первого раза всего комплекса натурных, сертификационных и прочих испытаний** (в соответствии с Распоряжением Правительства Российской Федерации от 7 ноября 2023 года № 3113-р об утверждении стратегического направления в области цифровой трансформации обрабатывающих отраслей промышленности, относящейся к сфере деятельности Министерства промышленности и торговли Российской Федерации) [255–257]. Это значительно сокращает сроки и стоимость вывода на рынок новых типов БПЛА, обеспечивает соответствие Федеральным авиационным правилам, в том числе требованиям летной годности, и является необходимым условием для формирования конкурентоспособной отрасли БАС и БВС в России [258].

В условиях санкционных ограничений особую важность приобретает разработка отечественных решений для обеспечения эксплуатации композитных и гибридных конструкций БВС, способствующих обеспечению технологического суверенитета страны.

Разработка специализированного программного обеспечения находится в России в начальной фазе активного развития, идет дополнение систем цифрового проектирования и моделирования соответствующими модулями и/или разработка и производство аппаратно-программных систем неразрушающего контроля изделий, в которых особое внимание уделяется аппаратной части.

Ключевые примеры российских цифровых технологий для обеспечения эксплуатации композитных и гибридных конструкций БВС представлены ниже (Таблица 17).

Таблица 17. Описание и особенности применения цифровых технологий для обеспечения эксплуатации композитных и гибридных конструкций БВС в России

Разработчик	Цифровая технология/ продукт	Описание технологии/ назначение	Преимущества	Недостатки	Особенности применения для композитных/ гибридных конструкций
ФГАОУ ВО СПбПУ	Цифровая платформа разработки и применения цифровых двойников БАС (ЦП РПЦД БАС)	ЦП РПЦД БАС – программная система управления проектами, исследованиями, разработкой, цифровыми (виртуальными) испытаниями для решения комплексных задач в области беспилотных авиационных систем, состоящая из совокупности компьютерных программ (ПО) и программных документов, необходимых для ее эксплуатации, включающая в себя базу данных цифровых (виртуальных) испытательных стендов (ВИС), виртуальных испытательных полигонов (ВИП) и параметризованных шаблонов численных моделей. Назначение ЦП РПЦД БАС – оптимизация методик проектирования БАС, обеспечение совокупности программных инструментов для	Применение технологии цифрового двойника позволяет повысить объем анализа вариантов воздействующих факторов при проектировании новых изделий посредством проведения цифровых испытаний на верифицированных и валидированных виртуальных испытательных стендах и полигонах и, как следствие, снизить объем натурных испытаний за счет их прохождения с первого раза. Применение ЦП РПЦД БАС как специализированной программно-технологической платформы в соответствии с п.6.3 ГОСТ Р 57700.37–2021 позволяет	Н/Д (технология реализуется впервые)	ЦП РПЦД БАС является универсальным инструментом проведения цифровых испытаний объектов из различных материалов

Разработчик	Цифровая технология/ продукт	Описание технологии/ назначение	Преимущества	Недостатки	Особенности применения для композитных/ гибридных конструкций
		реализации бизнес-процесса «цифровой сертификации» БАС. «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, сертификационных и прочих испытаний (распоряжение Правительства РФ от 07.11.2023 № 3113-р)	реализовать бизнес-процесс «цифровой сертификации» БАС, призванный ускорить процесс сертификации новых образцов БАС посредством применения элементов технологии цифрового двойника и цифрового документооборота		
АСКОН	КОМПАС-3D: Композиты	ПО для проектирования и подготовки производства изделий из композиционных материалов (новый продукт, выход на рынок с 2025 года) CAD-приложение функционирует в интерфейсе КОМПАС-3D и реализует как конструкторские, так и технологические задачи. Разработка осуществляется при	При разработке используется отечественное геометрическое ядро С3D, которое защищено от санкций и может развиваться под задачи приложения; Замена зарубежного ПО Fibersim в части функциональных возможностей (по словам разработчиков)	Н/Д (программный модуль в разработке)	Согласно разработчикам продукта, применение продукта позволит: Ускорить конструкторско-технологическую подготовку производства за счет автоматизации сложных и/или рутинных задач. Повысить качество изделия. Снизить количество брака. Снизить количество отходов при

Разработчик	Цифровая технология/ продукт	Описание технологии/ назначение	Преимущества	Недостатки	Особенности применения для композитных/ гибридных конструкций
		участии Индустриального центра компетенций «Двигателестроение» в интересах АО «ОДК-Авиадвигатель»			использовании связки «программное обеспечение + оборудование», увеличить эффективность производства. Обеспечить высокую «повторяемость» деталей. «КОМПАС-3D: Композиты» ориентирован на изделия из слоистых пластиков (ламинатов) [259]
НТЦ АПМ	Опция Composite для APM Structure3D	Дополнительная функциональная возможность в конечно-элементном ядре APM Structure3D, – основе других программных продуктов компании, таких как APM WinMachine и APM Civil Engineering [260]	Совместимость с другими продуктами компании; Использование классической теории ламинатных пластин (Basics of Laminate Theory), что обеспечивает надежность методики; Учет основных характеристик и свойств материалов и компонентов; Визуализация и анализ, как по поверхности, так и по толщине композитной пластины; Использование ряда критериев прочности (максимальные напряжения, максимальные деформации,	Сложность задания параметров и необходимость глубокого понимания композиционных материалов, что требует высокого уровня квалификации со стороны пользователя; В описании не указана поддержка сложных моделей разрушения композитов, таких как межслоевые расслоения или прогрессирующие повреждения, что может потребовать	Опция позволяет рассчитывать такие характеристики деталей из композитов, как напряженно-деформированное состояние с учетом поля температур, устойчивость, динамические параметры (собственные частоты и формы, модальные массы, в т.ч. под нагрузкой), а также оптимизировать структуру материала. Композитные свойства в среде АПМ могут быть заданы через свойства материалов [261]

Разработчик	Цифровая технология/ продукт	Описание технологии/ назначение	Преимущества	Недостатки	Особенности применения для композитных/ гибридных конструкций
			Цая-Хилла), что обеспечивает комплексность оценки; Сокращение цикла разработки и уменьшение числа промежуточных испытаний	дополнительных инструментов	
ООО «Фидесис»	Fidesys Composite	Специализированный модуль для работы с композиционными материалами, позволяющий осуществлять анализ композитных структур и конструкций, в т.ч. для расчета эффективных свойств материалов [262]	Интеграция с платформой Fidesys; Поддержка сложных расчетов, возможность моделирования резинкорда и других сложных материалов, что расширяет функционал для нестандартных задач	Требуется высокая квалификация пользователя для корректного задания параметров композиционных материалов и интерпретации результатов	Использование Fidesys Composite позволяет создавать реалистичные микроструктуры композиционного материала, осуществлять расчеты изделий из композиционных материалов (в т.ч. пористых, слоисто-волоконистых и тканых), определять критическую величину несущей способности конструкции, осуществлять моделирование поведения композиционного материала после начала разрушения и т. д. [262,263]
ООО «Локус»	Локотерм (аппаратно-программный комплекс)	Автоматизированная термографическая система неразрушающего контроля изделий из композиционных материалов, основанная на методе активной термографии. Предназначена	Заявленные разработчиком преимущества: Высокая производительность. Повторяемость результата. Возможность контроля изделий со сложной геометрией	Потенциальная сложность интеграции аппаратно-программного комплекса, необходимость установки	Конфигурация системы и ее размеры определяются условиями эксплуатации и особенностями объекта контроля [264]

Разработчик	Цифровая технология/ продукт	Описание технологии/ назначение	Преимущества	Недостатки	Особенности применения для композитных/ гибридных конструкций
		для неразрушающего контроля изделий из композиционных материалов на наличие таких внутренних дефектов как: расслоения в обшивке, поры, раковины, отслоения обшивки от наполнителя, дефекты нагревательной накладки		аппаратной части	
Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского (ЦАГИ), Солютерм (дочернее предприятие ЦАГИ), ООО «Научно-инженерная компания»	Solirt Pro (аппаратно-программный комплекс)	Комплекс инфракрасной термографии для выявления скрытых дефектов в композиционных обшивках деталей воздушных судов методом теплового контроля	Интеграция компетенций отечественных научных центров, новых инженерных подходов ведущих производственных предприятий и понимания лучших западных практик (в частности, наработки Airbus Innovations)	Н/Д (в настоящее время проводятся испытания и доводка комплекса)	Комплекс способен выявлять расслоения, трещины и участки скопления влаги. По заявлениям представителей компании, в дальнейшем планируется разработка линейки автоматизированных аппаратно-программных комплексов для термографической активной дефектоскопии ПКМ на базе нейросетей. Кроме того, планируется адаптация решения под задачи беспилотной авиации [265–267]

Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным открытых источников

В целом на российском рынке промышленного программного обеспечения представлены продукты как зарубежных, так и отечественных разработчиков. В то же время в части применения конкретных технологий и ПО для обеспечения эксплуатации композитных и гибридных конструкций БВС в России большая часть кейсов, представленных в открытых источниках, сводится к исследованиям и разработкам в рассматриваемой области. При этом информация носит фрагментарный

характер, в частности, из-за ограниченного раскрытия технологий двойного назначения. Так, например, специалисты лаборатории «Цифровые технологии производства изделий из полимерных композиционных материалов» Института авиационного машиностроения и транспорта Иркутского национального исследовательского технического университета в рамках программы «Приоритет 2030» в 2023 году разработали облегченные детали БВС повышенной прочности, изготавливаемые из композиционных материалов [268]. Однако детали разработки, равно как и используемые цифровые решения, представителями лаборатории не раскрываются. Ниже представлены наиболее иллюстративные примеры применения цифровых технологий для обеспечения эксплуатации композитных и гибридных конструкций БВС в России (Таблица 18).

Таблица 18. Кейсы применения цифровых технологий для обеспечения эксплуатации композитных и гибридных конструкций БВС в России

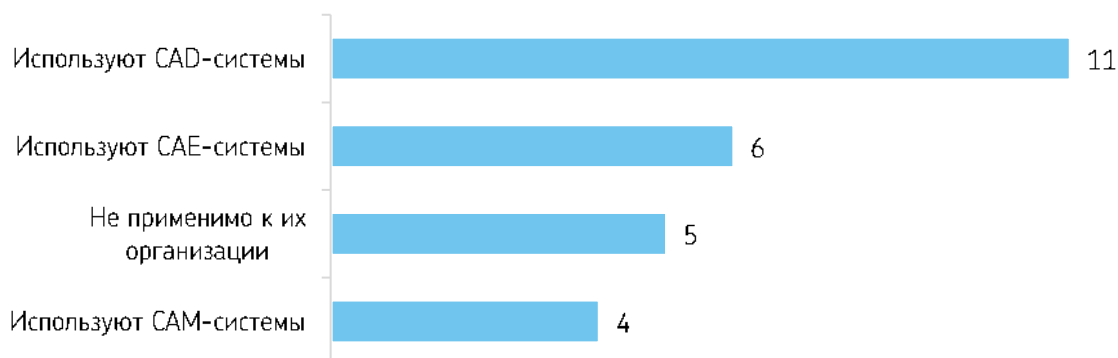
Организации/ наименование	Цифровая технология/ продукт	Год внедрения	Описание применения	Достигнутые эффекты
ПИШ СПбПУ «Цифровой инжиниринг»	Цифровые (виртуальные) испытательные стенды и виртуальные испытательные полигоны/ CML-Bench® – цифровая платформа по разработке и применению цифровых двойников	2024	Развитие системы построения цифровых (виртуальных) испытательных стендов и виртуальных испытательных полигонов, проведение цифровых испытаний элементов беспилотных летательных аппаратов на базе единой цифровой платформы разработки и применения цифровых двойников БАС	Разработано 909 математических и компьютерных моделей, цифровой (виртуальный) испытательный полигон и 30 цифровых (виртуальных) испытательных стендов для оптимизации аэродинамических, прочностных, усталостных и прочих характеристик БВС и их компонентов [269]
Сколтех	Цифровой двойник полимерного композиционного материала с датчиками на базе нанотрубок	2024	Разработка подхода, позволяющего выявлять дефекты в крыльях воздушных судов и отслеживать появление микротрещин в обшивке и компонентах во время полета	Выявление дефектов с достаточно низким уровнем ошибок (16%), что потенциально способно повысить долговечность обшивки и компонентов воздушных судов, изготавливаемых из композиционных материалов [270]
СПбПУ, Инжиниринговый центр «Центр компьютерного инжиниринга»/ Институт передовых производственных технологий СПбПУ, ООО	Виртуальный аэродинамический полигон для тестирования беспилотных летательных аппаратов / CML-Bench® – цифровая платформа по	2019	Аэродинамическое тестирование цифровых прототипов БВС в широких диапазонах реалистичных условий окружающей среды и сценариев полета	Моделирование аэродинамических воздействий на проектируемые воздушные суда, что позволяет сокращать количество натурных испытаний на 90% за счет использования валидированных

Организации/ наименование	Цифровая технология/ продукт	Год внедрения	Описание применения	Достигнутые эффекты
«ЛВМ-Инжини- ринг»	разработке и применению цифровых двойников			расчетных случаев [271]
Восточно- Сибирский гос- ударственный университет технологий и управления, Московский государствен- ный техниче- ский универси- тет им. Н.Э. Ба- умана	ANSYS Compo- site PrepPost, ANSYS Coupling, ANSYS Fluid- Flow, SolidWorks	2019	Исследовано напряженно-деформированное состояние композитной слоистой консоли крыла БВС. Определена оптимальная конструкция многослойной обшивки консоли крыла БВС из композиционных материалов в системе ANSYS, обеспечивающая максимальную прочность и жесткость при заданных нагрузках. Изготовлена экспериментальная консоль крыла из слоистого стеклопластика	Масса спроектированной и изготовленной консоли крыла на 43% меньше, чем масса консоли, выполненной из полных слоев при одинаковой прочности. На изготовление спроектированной консоли крыла требуется на 25-30% меньше материала [272]

Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным открытых источников

По результатам проведенного Инфраструктурным центром «Технет» опроса представителей рынка были получены данные об использовании специализированного ПО при проектировании БВС, в том числе композитных и гибридных конструкций БВС. Вопрос подразумевал множественный ответ, при этом большинством респондентов было отмечено использование CAD-систем (Рисунок 24).

Рисунок 24. Структура ответов об использовании специализированного ПО при проектировании БВС, в том числе композитных и гибридных конструкций БВС, ед. ответов



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по результатам опроса

Также, по результатам опроса, в основном в организациях используются зарубежные CAD-системы Fusion, SolidWorks, AutoCAD, Autodesk Inventor, Altium Designer, Siemens NX, CATIA. Среди отечественных респонденты отметили использование CAD-системы Компас. Из зарубежных CAE-систем респондентами была отмечена система ANSYS.

Респонденты опроса определяют следующие планы/прогнозы по внедрению нового ПО/новых функциональных возможностей ПО на ближайшие 5–10 лет для CAD-систем:

- автоматизация проектирования по шаблонам;
- самостоятельная разработка и внедрение специализированного ПО для моделирования с фокусом на подходы полунатурного моделирования;
- переход на отечественные CAD-системы в случае появления в них требуемых функциональных возможностей.

В CAD-системах наиболее часто применяются функциональные возможности «Создание чертежей», «Создание сборочных моделей», «Создание геометрических моделей» и «Композиционные материалы». Распределение ответов об используемых организациями функциональных возможностях CAD-систем представлено на Рисунке 25. Список функциональных возможностей CAD-систем составлен по материалам ПИШ СПбПУ «Цифровой инжиниринг» [273].

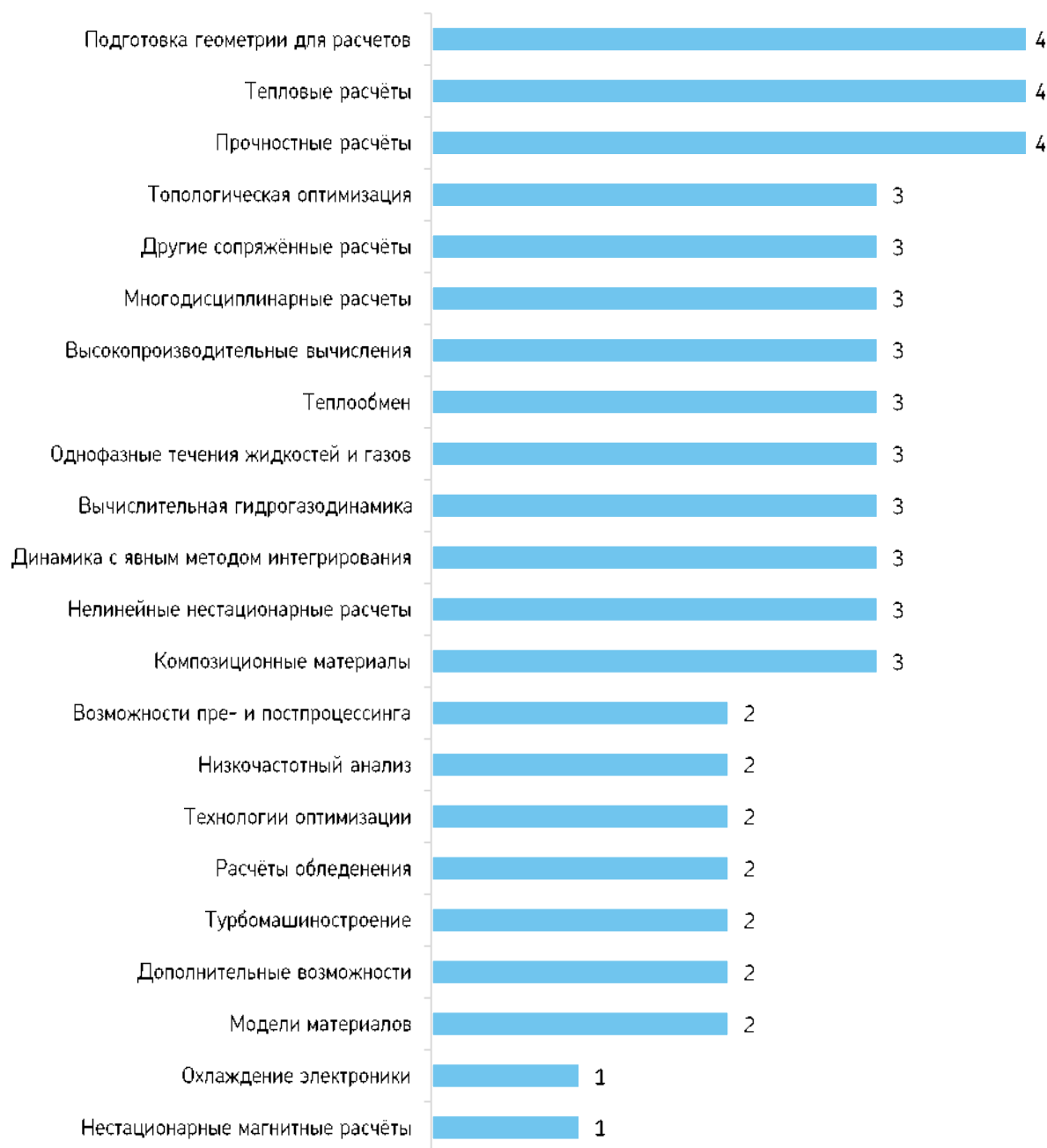
Большинство ответов об используемых организациями функциональных возможностях CAE-систем пришлось на функциональные возможности «Подготовка геометрии для расчетов», «Тепловые расчеты», «Топологическая оптимизация» и «Прочностные расчеты». Распределение ответов представлено на Рисунке 26. Категория «Другие сопряжённые расчёты» включают аэроупругость, аэро-виброакустику, акустику и прочность, магнитогидродинамику; категория «Дополнительные возможности» включают метод субмоделирования (submodeling), интерполяцию данных между различными КЭ сетками, интерполяцию данных многодисциплинарных расчетов, учет начального состояния, а также поддержку перехода от 2D к 3D модели. Список функциональных возможностей CAE-систем составлен по материалам ПИШ СПбПУ «Цифровой инжиниринг» [274].

Рисунок 25. Структура ответов об используемых функциональных возможностях CAD-систем при проектировании БВС, в том числе композитных и гибридных конструкций БВС, ед. ответов



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по результатам опроса

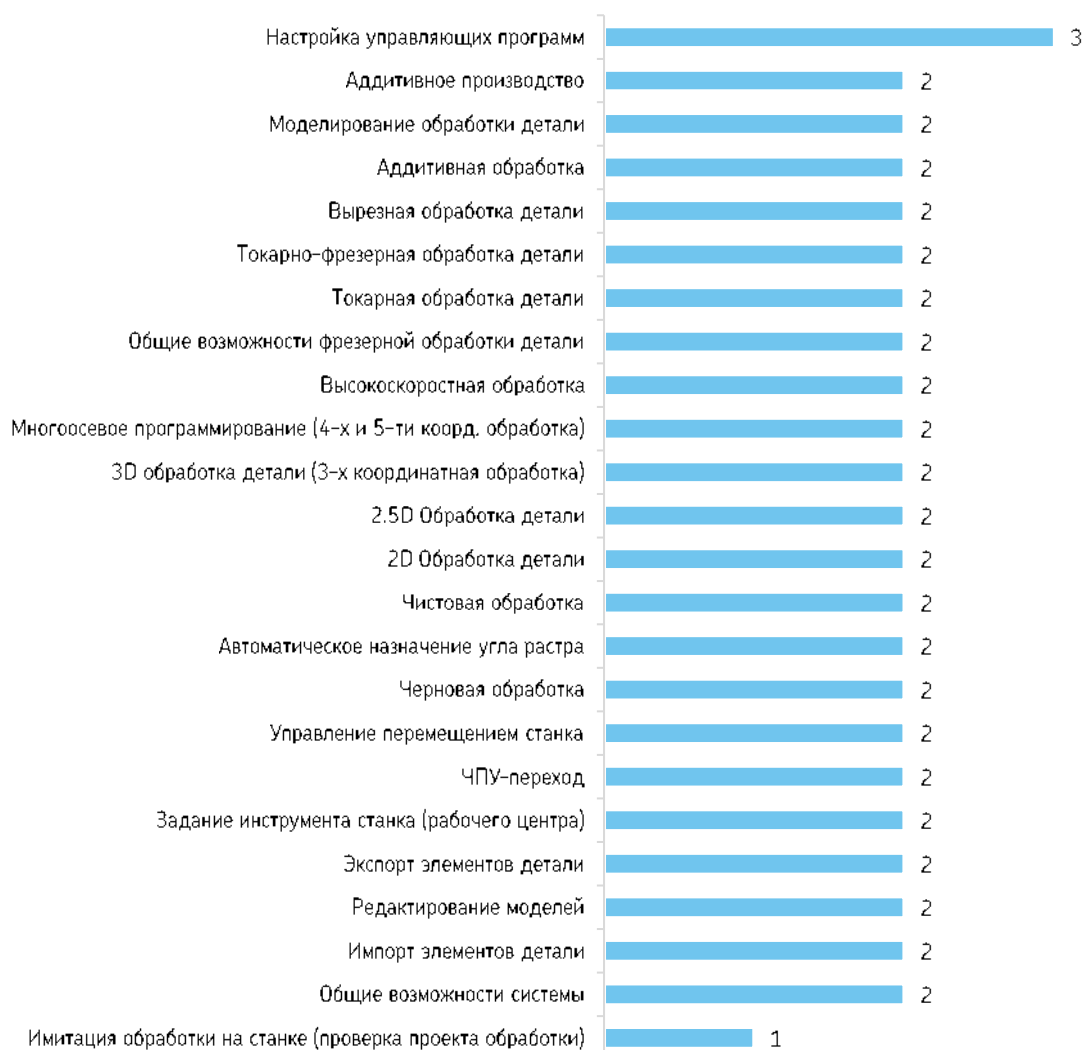
Рисунок 26. Структура ответов об используемых функциональных возможностях CAE-систем при проектировании БВС, в том числе композитных и гибридных конструкций БВС, ед. ответов



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по результатам опроса

Распределение ответов об используемых организациями функциональных возможностях CAM-систем представлено на Рисунке 27. Категория «Общие возможности систем» включает сопровождение и управление заготовкой (контроль над состоянием обработки), поверхности обработки и ограничения, возможность настройки параметров обработки, проверка на столкновения с зазором безопасности, базу данных режущих инструментов, а также возможность редактирования предусмотренных режущих инструментов. Список функциональных возможностей CAM-систем составлен по материалам ПИШ СПбПУ «Цифровой инжиниринг» [275].

Рисунок 27. Структура ответов об используемых функциональных возможностях САМ-систем при проектировании БВС, в том числе композитных и гибридных конструкций БВС, ед. ответов



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по результатам опроса

Как было отмечено ранее, разработка отечественного специализированного ПО находится на начальной стадии. К перспективным направлениям развития в данном контексте можно отнести системы цифрового проектирования и моделирования, технологии неразрушающего контроля с цифровой обработкой данных, системы мониторинга технического состояния и предиктивного обслуживания, развитие технологий для аддитивного производства (3D-печать) и цифровые двойники. Для поддержки и развития рассматриваемой области в России реализуется ряд государственных планов, программ и проектов: дорожная карта развития высокотехнологичной области «Новое индустриальное программное обеспечение» [250]; комплексная научно-техническая программа «Новые композиционные материалы: технологии конструирования и производства» [166]; Стратегия развития беспилотной авиации до 2030 года и на перспективу до 2035 году [276]; национальный проект «Беспилотные авиационные системы» [252] и др. При этом непосредственно направление «цифровые технологии для обеспечения эксплуатации композитных и гибридных конструкций БВС» является достаточно узким и закрытым (в частности, в связи с ограничениями, накладываемыми на раскрытие информации о технологиях двойного назначения).

ГЛАВА 2. АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВ РАЗВИТИЯ ОТРАСЛИ

По состоянию на конец 2024 года отрасль БВС, равно как и связанные с ней цифровые технологии проектирования и эксплуатации беспилотных воздушных судов (в т.ч. композитных и гибридных конструкций БВС), демонстрирует уверенный рост. Необходимо отметить, что перспективы и возможности развития рассматриваемой отрасли во многом обусловлены существующими экономическими и технологическими тенденциями, в т.ч. глобальными и «сквозными», с учетом действующих барьеров, в первую очередь связанных со сферой нормативно-правового регулирования. При этом в контексте рынков отдельных стран (в частности – российского рынка) важно учитывать также национальные приоритеты и программы, определяющие целевой вектор развития.

В настоящем разделе представлен анализ перспектив развития отрасли БВС в мире и в Российской Федерации по состоянию на конец 2024 года по тематическим блокам (подразделам):

- основные тенденции развития отрасли;
- барьеры развития отрасли;
- возможности для роста отрасли.

2.1. Основные тенденции развития отрасли по состоянию на конец 2024 г.

2.1.1. Основные тенденции развития отрасли в мире

Наиболее важные тенденции развития сферы беспилотных воздушных судов связаны с глобальными «сквозными» технологическими тенденциями, такими как развитие искусственного интеллекта, облачных сервисов, сетей связи нового поколения и ряда других, и общемировыми рыночными трендами, таким как распространение модели продаж «продукт как услуга» [277–279]. Также увеличивается значимость узкоотраслевых тенденций в связи с расширением областей применения беспилотной авиации и связанного с этим расширением значение нормативного регулирования использования БВС.

Одной из ключевых рыночных тенденций развития отрасли является распространение комплексных платформенных решений, как программных, так и программно-аппаратных, что характерно для предложения большинства компаний-лидеров. В частности, примерами могут служить платформа для управления флотами БВС AirHub [280] от компании Airspace Link, аппаратно-независимая платформа для полной автоматизации и удаленного управления БВС от компании VOTIX [281], облачная платформа для картографии с применением БВС от компании Maps Made Easy [282], программно-аппаратная платформа Optimus [283] от компании Airobotics и др.

К значимым рыночным тенденциям в контексте отрасли беспилотных воздушных судов также относится распространение модели «дрон-как-услуга» (DaaS). Как уже было сказано в предыдущем разделе, на услуги приходится больше 80% совокупного объема мирового рынка БВС [5]. Портфели многих компаний-лидеров (см., в частности, Draganfly [284], DroneDeploy [285] и т. д.) включают комплексные предложения, в рамках которых клиенты получают доступ к преимуществам коммерческих БВС без необходимости непосредственно владеть или управлять ими.

Среди рыночных тенденций развития мировой отрасли БВС важно отметить также

регионализацию производства и распространение санкционных и экспортных ограничений, в т.ч. на ПО и компоненты, приводящее к перестройке глобальных цепочек создания стоимости [286,287].

По результатам проведенного Инфраструктурным центром «Технет» опроса представителей рынка к лидирующим тенденциям респондентами отнесены развитие систем управления БВС, развитие технологий обнаружения предупреждения столкновения с препятствиями, изменение нормативной базы, применение цифровых двойников (Рисунок 28). Категория «Другое» включает повышение автономности дронов и переход от дронов самолетного и мультироторного типа к самолетам вертикального взлета и посадки.

Рисунок 28. Структура ответов с основными тенденциями на рынке БВС в России и в мире, ед. ответов



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по результатам опроса

По результатам ежегодного опроса, проводимого специалистами международной консалтинговой организации Drone Industry Insights (Droneii) среди представителей индустрии³, по состоянию на конец 2024 года ключевым направлением применения БВС остается картографирование и геодезические работы. При этом на второе место выходит инспектирование территорий и инфраструктурных объектов. Данное направление наращивает долю с 25% в 2023 году до 31% в 2024 году среди компаний, оказывающих услуги с использованием БВС представителям других отраслей (таких как энергетика, строительство, сельское хозяйство и др.), и с 16% до 26% среди компаний, использующих БВС для решения собственных задач. В то же время позиция аэрофото- и

³ В 2024 году опрошено 964 респондента из 94 стран.

видеосъемки опускается до третьего места. Доля указанного направления в 2023–2024 годы снижается с 27% до 22% и с 31% до 25% соответственно (Рисунок 29).

Рисунок 29. Ключевые направления применения БВС в мире, % оценок респондентов



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по материалам Drone Industry Insights [288]

По оценкам отраслевых экспертов [289–293], к ключевым отраслевым технологическим тенденциям относятся:

- повышение автономности БВС за счет программно-аппаратных средств управления полетом и обработки данных, в т.ч. на базе искусственного интеллекта;
- оптимизация конструкции, в т.ч. за счет использования передовых композиционных материалов и применения модульного подхода;
- увеличение продолжительности полета за счет увеличения срока службы батареи и совершенствования работы двигателя;
- реорганизация систем связи: стандартизация протоколов и использование современных и перспективных сетей мобильной связи;
- развитие технологий производства БВС, в частности за счет использования аддитивных технологий и наращивания доли композиционных материалов.

Повышение автономности БВС является критически значимым для решения ряда гражданских и военных задач, таких как аэрологистика, мониторинг состояния инженерных сетей и окружающей среды, реализация поисково-спасательных операций средствами БВС и т. д. При этом существенной является способность воздушного судна действовать автономно в городских условиях (и в иных областях со сложным рельефом) и/или в условиях отсутствующей спутниковой связи.

Более подробное описание технологических решений и примеры реализации тенденции к повышению автономности БВС приведено ниже (Таблица 19).

Таблица 19. Повышение автономности БВС за счет программно-аппаратных средств управления полетом и обработки данных: технологические решения и примеры их реализации на мировом рынке

Решение	Пример реализации	
	Кейс/ продукт	Компания (страна)
Системы технического зрения, дополненные ИИ-алгоритмами, позволяющие БВС действовать в неизвестной и/или динамично изменяющейся среде	Skydio X10 за счет усовершенствованной системы технического зрения позиционируется как единственное БВС на рынке, способное работать полностью автономно в ночное время. Конструкцией предусмотрено 6 навигационных камер, с углом обзора 360°, что позволяет устранить слепые зоны. Навигационная система включает предиктивные ИИ-алгоритмы, обученные на десятилетней базе информации о летных часах [294]	Skydio (США)
	Навигационная система Puma VNS (в частности, используемая в БВС Puma 2 AE и Puma 3 AE) оснащена набором датчиков, собирающих визуальные данные и отслеживающих особенности местности, а также встроенным вычислительным модулем для обработки информации и определения точного местоположения БВС [295]	AeroVironment (США)
	NavGuard – оптическая навигационная система, обеспечивающая автономную работу БВС за счет машинного зрения, ИИ-алгоритмов, передовой оптики и обработки информации, поступающей от других датчиков в условиях полного отключения спутниковой связи. Система может быть интегрирована в различные платформы БВС [296,296]	Asio Technologies (Израиль) [297]
	Raptor – программный комплекс, позволяющий автономным БВС осуществлять навигацию и определять точные координаты на местности в отсутствие GPS за счет данных, поступающих со штатной камеры и воздушного судна и использования базы компании-разработчика, включающей 90 млн км ² данных о местности в 3D-формате [298]	Maxar (США)
Навигационные системы на базе лидаров, обеспечивающие 3D-картографирование местности и обход препятствий	Система EGI-M (встроенная система глобального позиционирования/ инерциальная навигационная система), разработка корпорации Northrop Grumman, предназначена для расширения навигационных возможностей БПЛА и пилотируемых военных самолетов в условиях усложненного доступа к данным спутниковой навигации (в том числе в случае работы средств радиоэлектронной борьбы). Модульный интерфейс системы позволяет осуществлять легкую интеграцию с существующими навигационными системами [299]	Northrop Grumman (США)

Решение	Пример реализации	
	Кейс/ продукт	Компания (страна)
	Vision Wide range UAVViDAR – система визуализации, разработанная компанией Sentient на базе ИИ, использующая электрооптические или инфракрасные (EO/ IR) сенсоры для обнаружения и классификации целей в потоке изображений, невидимые для обычных радаров или для зрения операторов БПЛА. Мульти-modalность системы должна позволить эффективный поиск целей в широкой зоне наблюдения [300]	Shield AI (США)/ Sentient (Австралия)
	Hovermap – система одновременной локализации и картографирования (SLAM) на основе LiDAR-картографии и автономных приборов, созданная для работы в условиях отсутствия GPS. Hovermap позволяет быстро и безопасно осуществлять 3D-сканирование окружающей среды [301]	Emesent (Австралия)
Мультисенсорные навигационные Системы (объединяющие информацию ряда датчиков)	Модульная мультисенсорная платформа БАС Sensus L, в которую интегрированы промышленные датчики и модули их обработки, обеспечивающие навигацию, маневрирование и выполнение иных задач. В частности, флагманская модель БВС объединяет информацию георадаров, лидаров, тепловизионных и мультиспектральных датчиков. Данные записываются и обрабатываются на борту, что снижает потребность в радиочастотных каналах с большой пропускной способностью для связи с наземной станцией управления [302]	ISS Aerospace (Великобритания)
Алгоритмы оптимизации построения маршрутов (в т.ч. для сокращения расхода энергии)	Система Spatial AI Engine обеспечивает высокую ситуационную осведомленность устройства о своем нахождении и позволяет повторять маршруты полета с точностью до сантиметра, а также проводить целевые проверки по испытанным маршрутам в автоматическом режиме [294]	Skydio (США)
Системы навигации для движения внутри помещений	В платформу управления Skydio Autonomy™ встроена возможность автоматического избегания столкновения с препятствиями размером до сантиметра. Также система включает в себя возможности по ночной навигации и инспекции внутри помещений в условиях недостаточной освещенности. Skydio Autonomy™ позволяет строить маршруты для полетов в автоматическом режиме с точностью до сантиметра, а также осуществлять 3D-моделирование окружающего пространства на борту БПЛА [294]	Skydio (США)
	Решение компании Immervision использует систему видеонаблюдения для БПЛА на базе видекамеры, предназначенную для автономной навигации в условиях низкой освещенности. Камера имеет охват в 360° и обладает низким энергопотреблением, что позволяет использовать ее и для работы через	Immervision (Канада)

Решение	Пример реализации	
	Кейс/ продукт	Компания (страна)
	оператора, и для управления с применением автоматических ИИ-систем [303]	
Инструменты, обеспечивающие обработку данных на борту БВС	Компания NVIDIA разработала серию ИИ-компьютеров для граничных вычислений Jetson (Jetson Nano, TX2, Xavier NX), размещаемых на БПЛА. Применение компьютеров данной серии позволяет использовать технологии машинного обучения и обнаруживать объекты в режиме реального времени [304]	NVIDIA (США)
	Разработка компании Innominds – платформа iDhi High Compute Edge AI Platform, позволяет обрабатывать данные в режиме реального времени и для удаленного управления беспилотниками и другими автономными устройствами [305]	Innominds (США)

Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным открытых источников

Расширение областей применения БВС и усложнение спектра задач, решаемых с использованием беспилотных воздушных судов, обуславливают потребность в оптимизации конструкции БВС, в т.ч. за счет использования передовых композиционных материалов и применения модульного подхода. Наиболее актуальные технологические решения в части применения композиционных материалов в рассматриваемой области представлены в разделе 1.2 настоящего отчета. Более подробное описание технологических решений и примеры реализации тенденции к оптимизации конструкции БВС приведено ниже (Таблица 60).

Таблица 20. Оптимизация конструкции, в т.ч. за счет использования передовых композиционных материалов и применения модульного подхода: технологические решения и примеры их реализации на мировом рынке

Решение	Пример реализации	
	Кейс/ продукт	Компания (страна)
Модульный подход	Серия гибридных БВС-мишеней Firefly, разработанная компаниями Woot Tech Aerospace и Anqa Aerospace, отличается модульным многоконfigurационным планером. Тип силовой установки STOL/ eVTOL заменяем благодаря сменным мотогондолам, конструкция позволяет использовать различные пусковые механизмы (катапульту или колесные шасси), а унифицированный фюзеляж позволяет применять как электрические, так поршневые двигатели внутреннего сгорания [306]	Woot Tech Aerospace & Anqa Aerospace (США/ Саудовская Аравия)
	Стартап Modovolo разрабатывает модульный квадрокоптер для оборонной сферы, сельского хозяйства и строительства. Разработка компании способна функционировать в качестве	Modovolo (США)

Решение	Пример реализации	
	Кейс/ продукт	Компания (страна)
	как квадрокоптера, так и гексакоптера или октокоптера за счет применения модульных подъемных капсул [307]	
	Портативное разведывательное БВС, разработанное компанией WingXpand, отличается модульной центральной частью с двумя возможными типами силовой установки и телескопическими крыльями из композиционных материалов (углепластик и арамидное волокно), занимающими 0,5 метра в сложенном и 2,1 метра в развернутом положении [308]	WingXpand (США)
	Стартап Firestorm Labs получил финансирование от венчурного фонда корпорации Lockheed Martin и группы других игроков в сфере оборонных технологий на разработку модульного БВС самолетного типа. В 2025 году компания подписала договор с ВВС США на поставку разведывательно-ударного БВС Tempest, обладающий открытой модульной архитектурой, производящийся на поставляемых компанией мобильных производственных ячейках xcell [309,310]	Firestorm Labs (США)
Гибридная конструкция	Компания AeroVironment разрабатывает беспилотник SkyTote – VTOL нового поколения с гибридной компоновкой, сочетающей преимущества высокой выносливости неподвижного крыла и маневренности, предоставляемой поворотным крыла для военных применений [311]	AeroVironment (США)
	Компания Griffon Aerospace, участник программы Армии США «Тактическая беспилотная авиационная система будущего» (FTUAS), разработала для Министерства обороны США гибридные разведывательные беспилотные средства (VTOL) Valiant и RedWing для использования в экспедиционных операциях [311,312]	Griffon Aerospace (США)
	Компания Karem Aircraft принимала участие в различных проектах VTOL (вертикальный взлет и посадка). По заказу Управления перспективных исследовательских проектов Министерства обороны США, был разработан БВС Karem Bluebird с оптимальным ротором (Optimum Speed Tilt Rotor, OSTR), оснащенный высокорасположенным крылом, перевернутым V-образным хвостом и планера из углеродного композита. Технология Optimum Speed Tiltrotor (OSTR) компании Karem Aircraft сочетает в себе эффективность самолетов с фиксированным крылом и возможности зависания вертолетов. Обладая высокой маневренностью, необходимой для эксплуатации на корабле, за счет использования управляемых жестких роторов. Оптимизированный для длительных полетов на увеличенных расстояниях, Bluebird может соответствовать целям программы DARPA ANCILLARY. Беспилотник оснащен	Karem Aircraft (США)

Решение	Пример реализации	
	Кейс/ продукт	Компания (страна)
	системой автономного управления Near Earth Autonomy для взлета и посадки без участия оператора [311]	

Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным открытых источников

Необходимо отметить, что развитие гибридных БВС – долгосрочный и масштабный тренд. Выше в качестве наиболее наглядных примеров его реализации выделены разработки компаний – участников «Программы запуска и восстановления усовершенствованного самолета без инфраструктуры» (AdvaNced airCraft Infrastructure-Less Launch And RecoverY, ANCILLARY) Управления перспективных исследовательских проектов Министерства обороны США [313].

Растущий спрос на увеличение продолжительности полета БВС, позволяющей выполнение, как гражданских, так и военных операций, обуславливает развитие в рассматриваемом сегменте рынка технологий, направленных на повышение эффективности работы энергетических установок и аккумуляторов. Более подробное описание технологических решений и примеры реализации тенденции к увеличению продолжительности полета БВС представлены ниже (Таблица 21).

Таблица 21. Увеличение продолжительности полета за счет увеличения срока службы батареи и совершенствования работы двигателя: технологические решения и примеры их реализации на мировом рынке

Решение	Пример реализации	
	Кейс/ продукт	Компания (страна)
Водородные топливные элементы и гибридные системы, сочетающие топливные элементы и аккумуляторы	Интеграция водородных топливных элементов с протоно-обменной мембраной (PEM) в БВС ScanEagle3, что в сочетании с электродвигателем снижает вибрацию платформы и позволяет использовать накопленную мощность для обеспечения большего разнообразия полезной нагрузки. Топливные элементы также обеспечивают повышенную надежность и способствуют снижению логистических затрат [314,315]	Insitu (США)
	Линейка БВС на водородных топливных элементах, включающая такие модели как: Raider (максимальная взлетная масса около 119 кг, максимальная масса полезной нагрузки около 23 кг, продолжительность полета более 12 ч.). H2D250 (максимальная взлетная масса около 25 кг, максимальная масса полезной нагрузки около 4,5 кг, продолжительность полета более 10 ч.). H2D55 (максимальная взлетная масса около 29,5 кг, максимальная масса полезной нагрузки около 4,5 кг, продолжительность полета более 120 мин.) [316]	Heven Drones (Израиль)

Решение	Пример реализации	
	Кейс/ продукт	Компания (страна)
Гибридные силовые установки, сочетающие электродвигатель и двигатель внутреннего сгорания	Гибридная установка Draganfuel-Ignite 70cc сочетает двухтактный двигатель объемом 70 куб. см, работающий на бензине или тяжелом топливе, и электродвигатель, за счет чего обеспечивается гибридная мощность 4 000 Вт [317]. Модель БВС Commander 3 XL Hybrid использует гибридную установку, значительно увеличивающую время полета по сравнению с моделями, работающими только на аккумуляторах [318]	Draganfly (Канада)
	Мультироторные гибридные модели БВС Skyfront Perimeter 8 и 8+, способные транспортировать до 10 кг полезной нагрузки в течение часа и 5 кг в течение 2-3 ч. [319]	Skyfront (США)
Двигатели с использованием солнечной энергии	Zephyr – стратосферное БВС, работающее исключительно на солнечной энергии, продолжительность полета измеряется месяцами. БВС позволяет получать фото и видео высокого разрешения в режиме, близком к реальному времени. Компания-разработчик нацелена на дальнейшую коммерциализацию БВС как альтернативы спутника [320]	QinetiQ (Великобритания) – разработчик, поглощен Airbus (Франция)
	Horus A – БВС на солнечных батареях (модель прошла испытания в 2024 году), способное транспортировать около 68 кг полезной нагрузки при доступной мощности 1,5 кВт [321]	AeroVironment (США)

Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным открытых источников

Распространение современных и перспективных сетей мобильной связи, в частности технологий 5G, и растущая потребность в обеспечении стабильности работы БВС и бесперебойной передачи данных обуславливают потребность в реорганизации систем связи беспилотных воздушных судов, в т.ч. за счет стандартизации используемых протоколов. Более подробное описание технологических решений и примеры реализации тенденции к реорганизации систем связи БВС представлено ниже (Таблица 22).

Таблица 22. Реорганизация систем связи: стандартизация протоколов и использование современных и перспективных сетей мобильной связи: технологические решения и примеры их реализации на мировом рынке

Решение	Пример реализации	
	Кейс/ продукт	Компания (страна)
Современные	Большая часть БВС компании имеет возможность подключения к сетям LTE и 5G (см., в частности,	Draganfly (Канада)

Решение	Пример реализации	
	Кейс/ продукт	Компания (страна)
и перспективные сети мобильной связи, в частности, 5G	линейку БВС Draganfly Apex) [322]	
Спутниковые системы связи	БВС Integrator оснащено системой управления на базе спутниковой связи (SATCOM) на низкой околоземной орбите (P-LEO), что позволяет управлять БВС из любой точки мира, расширяя возможности эксплуатации воздушного судна в рамках миссий за пределами прямой видимости (BLOS). Новая система связи, анонсированная в 2024 году, дополняет уже используемые компанией возможности спутниковой связи на геосинхронной экваториальной орбите (GEO) [323,324]	Insitu (США)
	БВС V-BAT могут функционировать за пределами прямой видимости (BLOS) за счет системы спутниковой связи V-BAT SATCOM [325]	Shield AI (США)
	Платформа управления БВС G6-S – терминал, использующий двунаправленный среднечастотный модем CST со скоростью 88 кбит/с для работы со спутниковой сетью Iridium Certus®. В рамках платформы применяется протокол передачи данных IP и ряд интерфейсов, таких как Wi-Fi [326]	Guardian Mobility (Канада)
	Платформа широкополосной и среднечастотной спутниковой связи, обеспечивающая управление БВС за пределами прямой видимости (BLOS), в т.ч. в режиме реального времени, включая потоковую передачу видео и иных данных [327]	SKYTRAC (Канада)
Технологии (программно-аппаратные средства), обеспечивающие групповое взаимодействие БВС	Комплексное предложение – рой БВС Mistral с полезной нагрузкой, адаптируемой по запросу. Возможно управление до 50 БВС одновременно [328]	Icarus Swarms (Франция)
	Система V-BAT Teams использует программное обеспечение на базе ИИ для управления несколькими БВС, в т.ч. в условиях отсутствия сигнала GPS и радиосвязи [329]. По состоянию на 2023 г. заявлено управление группой из 4 БВС, при этом планируется дальнейшее расширение группы до 8-16 БВС и т. д. [330]	Shield AI (США)
	Программа OFFSET (OFFensive Swarm Enabled Tactics) [331] направлена на создание испытательного стенда для разработки, совершенствования и оценки тактики управления роем беспилотных аппаратов, включающим до 250 малых БВС/или малых беспилотных наземных систем [332]. По состоянию на 2024 год	Университет штата Орегон, Smart Information Flow, Управление перспективных

Решение	Пример реализации	
	Кейс/ продукт	Компания (страна)
	исследователями из университета штата Орегон продемонстрирована возможность управления роем из 100+ автономных воздушных и наземных аппаратов [333]	исследовательских проектов Министерства обороны США (США)
	Платформа БВС X-61A Gremlin разрабатывается для демонстрации методов управления группой БВС, запускаемых с пилотируемого воздушного судна и способных возвращаться на воздушную базу после выполнения операции, а также для отработки технологий производства бюджетных малых БВС самолетного типа [334–336]	Dynetics Gremlins team, Управление перспективных исследований проектов Министерства обороны США (США)
Стандартизация протоколов взаимодействия, разработка средств защиты от помех и перехвата сигнала; программные средства для обеспечения кибербезопасности, в т.ч. на базе ИИ	В случае модели БВС ANAFI USA сетевые соединения между БВС и контроллером аутентифицируются и шифруются с помощью защиты WPA2 (стандарт 802.11i). WPA2 основана на шифровании AES CCMP, включающем ключ шифрования длиной 128 бит. AES CCMP включает механизм CBC-MAC, который обеспечивает аутентификацию и целостность сети. Для каждой пары БВС/контроллер генерируется уникальный ключ шифрования. Кроме того, пользователи могут определить свой собственный ключ. Для защиты сигнала использован стандарт 802.11 [337]. В БВС ANAFI Ai встроен защитный элемент Wizekey, который соответствует стандарту NIST FIPS140-2 Level 3 и сертифицирован по Common Criteria EAL5+. Аналогичный защищенный элемент также встроен в контроллер Skycontroller 4 [338]	Parrot (Франция)
	Программа сертификации БВС Green UAS оценивает и проверяет соответствие коммерческих БВС требованиям кибербезопасности, в т.ч. требованиям к цепочке поставок, закрепленным в рамках закона о полномочиях в сфере национальной обороны США (NDAA). Список БВС и компонентов, прошедших сертификацию Green UAS, отвечает тем же требованиям безопасности, что и программа Отдела оборонных инноваций США DIU Blue UAS 2.0 [339]	Association for Uncrewed Vehicle Systems International (США)
	Система DeepArmor® на базе ИИ, адаптированная для платформы управления БВС SkyGrid, обеспечивающая защиту от вредоносного ПО [340]	Avathon (панель SparkCognition), SkyGrid (США)

Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным открытых источников

Одним из значимых направлений развития отрасли БВС является применение перспективных

композиционных материалов, а также совершенствование технологий их обработки, и в более широком смысле – технологий производства беспилотных воздушных судов. Как уже было отмечено в предыдущем разделе, в последние годы наблюдается рост использования материалов данного типа в конструкции БВС, что связано с потребностью в сокращении массы и наращивании грузоподъемности беспилотных судов, снижении заметности БВС для радаров, повышении их устойчивости к сложным природным условиям и т. д.

Технологические решения, непосредственно связанные с использованием композиционных материалов в области БВС, и примеры их применения, как было сказано выше, рассмотрены в разделе 1.2. настоящего отчета. Более подробное описание технологических решений и примеры реализации тенденции к развитию технологий производства БВС приведено ниже (Таблица 23).

Таблица 23. Развитие технологий производства БВС, в частности за счет использования аддитивных технологий и наращивания доли композиционных материалов: технологические решения и примеры их реализации на мировом рынке

Решение	Пример реализации	
	Кейс/ продукт	Компания (страна)
Аддитивное производство	Компания Skydio развивает использование технологии аддитивного формования (Additive Molding), разработанной компанией Arris, для производства рамы и корпуса БВС. Технология аддитивного формования сочетает 3D-печать с использованием углеродных волокон и традиционную технологию формования, за счет чего становится возможным экономическое эффективное и быстрое производство легких и прочных компонентов для БВС. Рамы БВС, изготовленные подобным образом, обладают лучше аэродинамикой и более устойчивы к нагрузкам, что критически важно для полетов БВС в сложных условиях. Сокращение зависимости компании Skydio от традиционных цепочек поставок за счет внедрения аддитивного производства позволяет ускорить разработку и вывод новых продуктов на рынок [341]	Skydio/ Arris (США)
	Компания RapidFlight использует аддитивные технологии для разработки и производства беспилотных авиационных систем, благодаря чему достигается снижение затрат на оснастку БВС и ускорение процесса проектирования и производства. Использование 3D-печати позволяет использовать мобильных производственных систем (MPS), позволяющие производить компоненты БВС в местах передового базирования [342]	RapidFlight (США)
	Стартап Firestorm Labs разрабатывает системы аддитивного производства БВС на базе компактных мобильных производственных цехов, помещенных в морские	Firestorm Labs (США)

Решение	Пример реализации	
	Кейс/ продукт	Компания (страна)
	контейнеры. Оборудование цеха – установки для 3D-печати – позволяют вести распределенное производство в любом месте, включая труднодоступные и рискованные зоны. По заявлениям разработчиков, производственная ячейка на базе контейнера способна производить более 500 БВС в месяц [343]	
	Компания Windfrom использует в производстве селективное лазерное спекание с применением композиционных материалов, армированных углеродным или стекловолокном, что позволяет создавать компоненты для БВС, устойчивые к экстремальным нагрузкам [344]	Windfrom (США)
	Компания ANTX – спин-офф Миланского политехнического университета, внедрила в производство БВС композитные трубки из углеродного волокна производства финской компании Exel Composites. Использование такого решения позволило наладить производство компонентов для БВС с улучшенной жесткостью и долговечностью для обеспечения стабильности полета БВС в условия сильного ветра.	ANTX/ Exel Composites (Италия/ Финляндия)

Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным открытых источников

В настоящее время беспилотные воздушные суда находят применение практически во всех отраслях экономики, при этом разнообразие типов устройств, относимых к БВС, продолжает увеличиваться. Дополнительным фактором роста выступает сверхбыстрое развитие военных БВС и активная поддержка данного направления практически всеми мировыми державами. В сложившихся условиях рассмотренные выше тенденции проявляются в разной мере в зависимости от класса и группы воздушного судна. В частности, при производстве БВС тяжелого класса, равно как и специализированных БВС военного назначения, используются наиболее современные и дорогие материалы, в т.ч. композиционные, а также передовые электронные компоненты и программное обеспечение. В то же время развивается сегмент относительно недорогих БВС, в производстве которых исключительную важность приобретают использование эффективных производственных решений и достижение экономии за счет масштаба. Для отдельных классов изделий (в частности, относящихся к стратегически важной продукции) при этом сохраняет актуальность тренд на организацию распределенных производств, так как значимым фактором в данном контексте является устойчивость и безопасность производственных цепочек.

Несмотря на отмеченный выше ряд общих технологических и рыночных тенденций, активное развитие отрасли БВС, общая нестабильность мировой экономики, технологическая специализация мировых игроков и фактор санкционных ограничений в мировой торговле стимулируют параллельное распространение широкого спектра технологических решений без доминирования единой модели.

2.1.2. Основные тенденции развития отрасли в России

В российском контексте, как и в мировом, рассмотренные выше глобальные отраслевые тенденции имеют существенное значение. В то же время не все указанные технологические решения на национальном уровне распространены одинаково [345,346]. Необходимо учитывать, что, согласно Указу Президента РФ от 18.06.2024 № 529 «Об утверждении приоритетных направлений научно-технологического развития и перечня важнейших наукоемких технологий» [347], беспилотные и автономные системы (в составе транспортных технологий для различных сфер применения (море, земля, воздух)) входят в число критических технологий, а автономные транспортные средства (в составе интеллектуальных транспортных и телекоммуникационных систем) – в число приоритетов научно-технологического развития РФ.

Одна из наиболее значимых и сложных задач в рамках развития отрасли БВС в России связана с импортозамещением и развитием производства узлов и комплектующих для беспилотных воздушных судов. По состоянию на 2024 год уровень локализации производства БВС в России составляет около 30% [348], что не отвечает запросам обеспечения стратегической безопасности страны. Перед государством и участниками рынка стоит большая задача по согласованию наиболее приоритетных направлений для ускоренной локализации и унификации компонентов, стандартизации инфраструктуры и стандартов связи, а также выработке гибких мер поддержки отечественных производителей и ценовой политики в сфере закупок компонентов БВС.

Как уже упоминалось в разделе 1.1., в настоящее время в России реализуется национальный проект «Беспилотные авиационные системы» [76]. В рамках вышеуказанного проекта, в свою очередь, запущен федеральный проект «Перспективные технологии для беспилотных авиационных систем», определяющий базовый набор приоритетных направлений научных исследований и разработок, согласующийся с рассмотренными выше мировыми отраслевыми тенденциями:

- технологии компоновки и принципы движения БВС;
- энергетические и силовые установки;
- технологии навигации, радионавигации;
- технологии, методы и средства связи;
- технологии технического зрения для БАС;
- новые технологии производства 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 [349,350].

Более подробное описание технологических решений и примеры реализации соответствующих тенденций представлены ниже (Таблица 24).

Таблица 24. Ключевые технологические тенденции, решения и примеры их реализации на российском рынке

Тенденция	Решение	Примеры реализации (проекты/ продукты, организации)
Повышение автономности БВС за счет программно-аппаратных средств управления полетом и обработки данных, в т.ч. на базе искусственного интеллекта	Системы технического зрения, дополненные ИИ-алгоритмами, позволяющие БВС действовать в неизвестной и/или динамично изменяющейся среде	Компанией «Сател» разработана система цифрового зрения для БВС «Смарт АВР», основанная на использовании передовых технологий компьютерного зрения. Система может быть использоваться на БВС различных типов для наблюдения за инфраструктурными объектами. Благодаря используемым технологиям машинного зрения система «Смарт АВР» обрабатывает данные в режиме реального времени и выявляет повреждения и отклонения от требуемых параметров [351]
	Навигационные системы на базе лидаров, обеспечивающие 3D-картографирование местности и обход препятствий	НПК «Фотоника» наладила производство механических 3D-лидаров TN32F/ TN16F в качестве нагрузки малых БВС для трехмерного зондирования местности и точного построения карт [352]
	Мультисенсорные навигационные системы (объединяющие информацию ряда датчиков)	Холдинг «Росэлектроника» ГК Ростех запустил в производство навигационные модули для БВС весом от 2 кг, поддерживающие спутниковую навигацию (ГЛОНАСС/ GPS/ Galileo) и ориентирование по базовым станциям мобильной связи, а также обладающих трехосевым компасом с термокомпенсацией и барометрическим высотомером [353]
	Алгоритмы оптимизации построения маршрутов (в т.ч. для сокращения расхода энергии)	В Центре когнитивного моделирования МФТИ разработан алгоритм подбора оптимального маршрута для движения БВС в трехмерном пространстве с большим числом различных препятствий. Как заявляют разработчики, благодаря использованию алгоритма в среде с 50 препятствиями БВС способно выбирать оптимальную траекторию движения с вероятностью 92% [354]
	Системы навигации для движения внутри помещений	Система навигации внутри помещений «Локус» (ГК «Геоскан») функционирует за счет использования ультразвуковых передатчиков и приемников (как при обустройстве помещений, так и на самом БВС). Система позволяет квадрокоптерам компании ориентироваться в помещениях габаритами 10х10х4 метра [355]
	Инструменты, обеспечивающие	БВС самолетного типа ZALA 421-16E5G (разработчик: ZALA Aero) оснащено системой полной расшифровки подстилающей поверхности с помощью нейронной сети,

Тенденция	Решение	Примеры реализации (проекты/ продукты, организации)
	обработку данных на борту БВС	расположенной прямо на борту. Система с элементами ИИ обеспечивает дешифровку изображения, распознавание объектов и видеонавигацию [356]
		Компания МТС разрабатывает решение в сфере граничных вычислений для БВС, интеллектуальных систем электроснабжения и транспорта. Технология позволит осуществлять локальную обработку видеоданных на удаленных устройствах (в т.ч. БВС) [357]
Оптимизация конструкции, в т.ч. за счет использования передовых композиционных материалов и применения модульного подхода	Модульный подход	Роболет (ООО «Роболет») [358] – семейство БВС вертикального взлета и посадки промышленного назначения. В основе БВС Роболет – модульная платформа, позволяющая адаптировать конфигурацию воздушного судна под отраслевые задачи [359]
		uDrone Пегас (ООО «Оптиплейн Аэродинамика») – универсальная промышленная платформа БВС в модульном исполнении. Конструкция позволяет получить различные конфигурации БВС в зависимости от задачи [360]
		Универсальная модульная платформа S-120/ S-270 (ООО «Транспорт будущего»). БВС с 4 лучами S-120 предназначено для перевозки грузов массой 50 кг. Ее можно увеличить до 200 кг, если добавить дополнительные лучи. Возможность добавления дополнительных лучей и форсунок позволяет расширить область применения БВС и получить другую платформу – S-270 [361]
	Гибридная конструкция	БВС самолетного типа с вертикальным взлетом и посадкой двух весовых классов (модели TFM-15-8E и T-300-8E), выпускаемые ООО «Летающие машины Тюринга». В основе БВС лежит масштабируемая, конфигурируемая и легко модернизируемая платформа, что позволяет перевозить грузы разной специфики и большего объема, а также размещать на воздушных судах широкий спектр навесного оборудования [362]
		Самолеты с вертикальным взлетом и посадкой Омджет – гибридная конструкция позволяет БВС выполнять взлет и посадку в сложных условиях ограниченного свободного пространства [100] ZALA Z-16 VTOL (ZALA Aero) сочетает технические характеристики БВС самолетного и вертолетного типа, отличается адаптивной системой использования аэродинамических свойств БВС во всех режимах полета [363]

Тенденция	Решение	Примеры реализации (проекты/ продукты, организации)
		ООО «Оптиплайн Аэродинамика» разрабатывает БВС с гибридной аэродинамической схемой для промышленных применений: мониторинга и охраны объектов ТЭК и строительства, сельского хозяйства, охраны лесов, доставкимо-мелких грузов[364]. В частности, модель Optiplane S2M, в конструкции которой крылья и каплевидный фюзеляж дополнены несущими винтами способна осуществлять вертикальный взлет и посадку, а также маневрировать как БВС мультироторного типа и преодолевать значительные расстояния в «самолетном» режиме [365]
Увеличение продолжительности полета за счет увеличения срока службы батареи и совершенствования работы двигателя	Водородные топливные элементы и гибридные системы, сочетающие топливные элементы и аккумуляторы	БВС на водородных топливных элементах (МФТИ, ООО «Гидроджен Энерджи») с заправкой контейнерного типа может работать на высоте более 2 000 м, полетное время – до 6 ч. Станция позволяет заправить топливный баллон водородом с давлением до 350 бар менее чем за 5 мин., замена заранее заправленных баллонов занимает до 20 сек. [366]
	Гибридные силовые установки, сочетающие электродвигатель и двигатель внутреннего сгорания	БВС «Птеро-Н2» (ООО «Птеро») – беспилотное воздушное судно самолетного типа на основе водородно-воздушного топливного элемента, предназначенное для проведения аэрофотосъемки, мониторинга линейных объектов (ЛЭП, нефтепроводы, дороги, границы и др.), обследования инфраструктурных объектов в полностью автоматическом режиме [367]
		БВС самолетного типа ZALA 421-16E5G (разработчик: ZALA Aero) оснащен гибридной силовой установкой с электромотором и двигателем внутреннего сгорания (ДВС) [368]. Максимальная взлетная масса БВС 49,5 кг. Продолжительность полета: 12+ ч., дальность связи 150+ км [356]
		БВС «Пилигрим» (ООО «Оптиплайн Аэродинамика») – гибридная силовая установка обеспечивает протяженность полета до 200 км, продолжительность полета до 4 ч. [369]
		Гибридная силовая установка, разработанная АО «Объединенная двигателестроительная корпорация», сочетает газотурбинный двигатель и электрический мотор, по словам разработчиков, оптимальна для БВС вертикального взлета и посадки, и потенциального использования в аэротакси при полетах на расстояния более 600 км, а также транспортных БВС

Тенденция	Решение	Примеры реализации (проекты/ продукты, организации)
	Двигатели с использованием солнечной энергии	Опытный образец беспилотного стратосферного летательного аппарата «Аргус» (стартап «Стратолинк») на солнечных батареях, продолжительность полета – до 40 суток без приземления, масса полезной нагрузки – до 40 кг. Проект на стадии разработки [370,371]
		Прототип стратосферного БПЛА «Сова» с питанием от солнечных батарей (Фонд перспективных исследований, компания «Тайбер») [372]. Проект приостановлен, данные после 2017 года отсутствуют [373]
		БВС на солнечной энергии Ла-252 «Аист», разработанный и подготовленный к испытаниям в стратосфере специалистами НПО имени Лавочкина [374]. Проект приостановлен, данные после 2017 года отсутствуют [373]
Реорганизация систем связи: стандартизация протоколов и использование современных и перспективных сетей мобильной связи	Современные и перспективные сети мобильной связи, в частности 5G	Стартап-проекты – резиденты Центра 5G МТС: Автономные БВС Copterexpress (ООО «Фортекс») – применение встроенного 5G-модуля позволяет передавать видеопоток высокого разрешения и управлять БВС при нестандартных ситуациях; Автономные БВС для коммерческого использования FIXAR (ООО «Инновационные Комплексные Системы»), технология 5G позволяет реализовать высокоэффективные алгоритмы автономной навигации внутри помещений за счет переноса вычислений для видеоанализа с БВС в облако [375]
		Проект Сколковского института науки и технологий, в рамках которого протестированы передача по 5G-сети видеопотока и данных полезной нагрузки БВС, а также отслеживание координат БВС по данным мобильной сети. Кроме того, проведено снятие высотных и топологических характеристик воздушного пространства с непрерывной связностью сетями 5G [376]
	Спутниковые системы связи	БВС «Геоскан 201» (ГК «Геоскан»), оснащенное экспериментальным бортовым модемом «Гонец» (АО «Спутниковая система «Гонец») и антенной в специальном облегченном форм-факторе. По состоянию на 2024 год продолжаются испытания, выполнено 6 полетов, получено 218 информационных сообщений с телеметрией БВС на FTP-сервере системы «Гонец» и переданы 3 информационных сообщения с командами управления в полете по обратной связи. В рамках испытаний также успешно переданы данные

Тенденция	Решение	Примеры реализации (проекты/ продукты, организации)
		о местоположении, телеметрические данные БВС в ЦОД, а также отправлена команда через спутник о принудительном возвращении БВС на место запуска [377]
	Технологии (программно-аппаратные средства), обеспечивающие групповое взаимодействие БВС	Рой БВС «Геоскан Пионер» (разработчик: ГК «Геоскан») – коммерческое решение, предназначенное для одновременного запуска квадрокоптеров в помещении (ограниченном безопасном воздушном пространстве). Включает 10 образовательных БВС (модели «Пионер Базовый» или «Пионер Мини») и соответствующее ПО. Может использоваться как для шоу дронов, так и для отработки алгоритмов роевого интеллекта [378]
		ПО «Автономная робототехника: Рой БПЛА» (разработчик: ООО «Автономная робототехника») – коммерческое предложение, система непрерывного мониторинга территорий и объектов инфраструктуры с помощью автономных групп БВС, включает: Модуль ПО управления БВС на базе алгоритмов траекторного управления, стаеформирования и траекторного управления (установка на БВС); Модуль ПО по сшивке изображений (установка на сервере); пользовательский интерфейс (установка на компьютер или иную консоль) [379]
		Система управления малыми БВС «Стая-93» (разработчик: ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия им. профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина») формируется из монопланов «СОМ-93». Боевая нагрузка каждого БВС – 2,5 кг. Строй БВС состоит из групп с одним ведущим и рядом ведомых БВС, число групп может варьироваться в зависимости от задачи. Управление ведомым БВС рассчитывается на базе координат ведущего, определяемых путем захвата системой технического зрения ведомого БВС инфракрасных меток ведущего [380]
	Стандартизация протоколов взаимодействия, разработка средств защиты от помех и перехвата сигнала; программные средства для обеспечения	Система для защиты БВС от атак с подменой данных GPS для обеспечения безопасной навигации (разработчик: Южный Федеральный Университет) – научная разработка для предотвращения дистанционных атак при использовании не более 10% ресурсов процессора БВС. Технология позволяет автономно в реальном времени выявлять нарушения безопасности и устранять их последствия в 99% случаев [381]. Результаты опубликованы в журнале Sensors [382]

Тенденция	Решение	Примеры реализации (проекты/ продукты, организации)
	кибербезопасности, в т.ч. на базе ИИ	Согласно Перспективной программе стандартизации в области беспилотных авиационных систем (БАС) на период 2024-2032 годов в России в настоящее время разрабатывается серия государственных стандартов защиты данных БВС, в т.ч.: «Беспилотные авиационные системы. Требования по защите передаваемых данных. Общие положения». «Беспилотные авиационные системы. Протоколы и интерфейсы оборудования высокоскоростной передачи данных из беспилотного воздушного судна в наземную систему хранения и обработки полученных в полете данных. Общие требования». «Беспилотные авиационные системы. Спецификация структуры пользовательских данных между компонентами Беспилотных авиационных систем и полезной нагрузкой». «Беспилотные авиационные системы. Подсистема обмена данными. Общие требования». «Беспилотные авиационные системы. Требования к системе защищенного управления и передачи данных», и др. [383]
Развитие технологий производства БВС, в частности, за счет использования аддитивных технологий и наращивания доли композиционных материалов	Аддитивное производство	Разработка конструкторского бюро «Спектр»: ударное БВС самолетного типа с дальностью полета до 30 км, которое можно будет печатать из вторсырья на 3D-принтере [384] Фонд поддержки проектов НТИ в рамках форума «Архипелаг-2023» представил 3D-принтер для промышленного производства БВС, способный автоматизировать более 90% типовых рутинных задач и операций, а также выпускать до 50 тыс. готовых комплектующих. Производственный комплекс имеет возможность серийно выпускать кронштейны и крепления рам, корпуса батарейных блоков, корпуса разведывательных авиационных судов в виде птиц, корпуса залпового запуска и подводного назначения [385] Проект Государственной корпорации «Ростех» по созданию с применением аддитивных технологий относительно крупногабаритного функционально-завершенного БВС самолетного типа. Изготовление компонентов велось путем лазерного послойного синтеза полимерного порошка. В качестве материала был использован полиамидный порошок марки PA 2200. В перспективе было решено использовать полиэфирэфиркетон. Полный комплект деталей БВС был создан

Тенденция	Решение	Примеры реализации (проекты/ продукты, организации)
		в одной камере в течение 31 часа, сборка заняла две рабочие смены, полный цикл от разработки до производства – 2,5 месяца. Максимальная взлетная масса созданного БВС 3,8 кг, размах крыла 2,4 м, длина 1,6 м. В качестве силовой установки использован электродвигатель. БВС способно выполнять полеты на скоростях 90–100 км/ч продолжительностью 1–1,5 ч. [386]

Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным открытых источников

Необходимо отметить, что среди российских разработчиков новых технологий для сферы БВС, в особенности в части разработки компонентов и приборов, существенную роль играют научно-образовательные организации и крупные государственные предприятия. Тем не менее, в рассматриваемой сфере активно возрастает доля относительно небольших компаний, специализирующихся как на производстве, так и на оказании услуг с применением беспилотных воздушных судов. Как уже было отмечено в рамках анализа текущего состояния российского рынка БВС, ключевые направления применения беспилотных воздушных судов в Российской Федерации закреплены в «Стратегии развития беспилотной авиации до 2030 года и на перспективу до 2035 года» [251].

Ниже приведены основные сценарии и области применения, ключевые технологические решения, а также примеры реализации, соответствующие указанным направлениям (Таблица 25).

Таблица 25. Ключевые направления применения БВС, основные сценарии и области применения, технологические решения и примеры реализации указанных направлений на российском рынке

Направление применения БВС	Сценарии и области применения	Ключевые технологические решения	Примеры (проекты/ продукты, организации)
Сбор и передача данных, дистанционный мониторинг	Мониторинг линейных объектов, в т.ч.: Трубопроводов/ нефтепроводов/ газопроводов. Дорожного движения, контроль качества дорожного покрытия. Линий электропередач. Железнодорожной инфраструктуры. Береговых линий. Мониторинг площадных объектов: Сельскохозяйственных угодий.	Оптимизация полезной нагрузки: Интеграция профессионального полнокадрового фотооборудования. Интеграция высокочувствительной системы сенсоров и датчиков (инфракрасные, тепловизионные, мультиспектральные датчики, лидары и т. д.). Оптимизация конструкции БВС за счет модульного подхода; использование композиционных	Геоскан 201 (ГК «Геоскан») – коммерческая модель БВС самолетного типа для аэрофотосъемки и моделирования обширных территорий и протяженных объектов [178]. Геоскан 701 (ГК «Геоскан») – коммерческая модель БВС самолетного типа для аэрофотосъемки [181]. Геоскан 401 – коммерческая модель БВС мультироторного типа, подходит для

Направление применения БВС	Сценарии и области применения	Ключевые технологические решения	Примеры (проекты/ продукты, организации)
	Лесного хозяйства. Водного хозяйства. Работ на строительных площадках. Ледовая разведка. Геологоразведка, поиск полезных ископаемых. Выявление нарушений кадастра и фактических границ использования земельных участков. Газоанализ, измерения качества воздуха. Поисково-спасательные операции в лесных массивах. Поисково-спасательные операции на море. Мониторинг локальных объектов: Состояния зданий и сооружений. Объектов транспортной и энергетической инфраструктуры, в т.ч. 3D-моделирование и дефектоскопия. Состояния опор линий электропередачи. Состояния мачт и вышек мобильной связи. Отбор проб воды	материалов для облегчения веса конструкции. Современные и перспективные сети мобильной связи, в частности 5G. Стандартизация протоколов взаимодействия, разработка средств защиты от помех и перехвата сигнала. Программные средства для обеспечения кибербезопасности, в т.ч. на базе ИИ	аэрофотосъемки высотных сооружений (труб), объектов с выраженным рельефом и значительным перепадом высот (карьеров) или вертикальных поверхностей (фасадов) [181]. Система мониторинга состояния линий электропередач с использованием БВС АО «Концерн Вега» [189]. Орлан-10 (ООО «СТЦ») – БВС для ведения наблюдения за протяженными и локальными объектами в труднодоступной местности, в том числе при проведении поисковых и ремонтных работ [177]. БВС компании «Омджет»: модель «АФС» (АэроФото Съемка), предназначенная для аэрофотосъемки больших площадей, труднодоступных удаленных мест и протяженных объектов с высокой точностью и модель «ВЛС» (Воздушное Лазерное Сканирование), которая используется для сканирования территорий, где точность получаемой цифровой модели рельефа с помощью АФС технологии может быть не достаточна (территории, покрытые лесом, кустарником или высокой луговой растительностью и т. д.) [387]. ООО «Агродронгрупп» специализируется на мониторинге состояния

Направление применения БВС	Сценарии и области применения	Ключевые технологические решения	Примеры (проекты/ продукты, организации)
			сельскохозяйственных уго- дий средствами БВС [388]
Проведение авиационной разведки и обеспечение охраны территории и объектов	Охрана и патрулирование промышленных объектов и инфраструктуры. Обеспечение безопасности социальных (школ, ЖКХ и пр.) и жилых объектов и прилегающих территорий. Обеспечение безопасности спортивных, развлекательных и иных массовых мероприятий. Проведение авиационной разведки, в т.ч. военного назначения	Системы технического зрения, дополненные ИИ-алгоритмами, позволяющие БВС действовать в неизвестной и/ или динамично изменяющейся среде. Навигационные системы на базе лидаров, обеспечивающие 3D-картографирования местности и обход препятствий. Мультисенсорные навигационные системы (объединяющие информацию ряда датчиков). Использование композиционных материалов для снижения радиолокационной заметности БВС. Использование композиционных материалов для повышения устойчивости конструкции к сложным природным условиям. Стандартизация протоколов взаимодействия, разработка средств защиты от помех и перехвата сигнала. программные средства для обеспечения кибербезопасности, в т.ч. на базе ИИ	БВС АО «ZALA AERO», применяемые в т.ч. для охраны объектов и обнаружения несанкционированной деятельности [389]. БВС АО «ВНИИ Вега», применяемые для задач дозора, наведения и разведки (в частности, «Аист» [390], «Луч» [391], «Типчак» [392]). Комплекс воздушной разведки «Орион» на базе БВС (АО «Кронштадт») [168]
Внесение веществ	Локальное распределение жидких, сыпучих, газообразных веществ и биологических объектов: Внесение удобрений и/ или ядохимикатов	Оптимизация геометрии конструкции (винты отдельных БВС порождают воздушные потоки, искажающие траектории движения капель распыляемых веществ).	БВС Птеро-G1 (ООО «Птеро») применяется для обработки полей биологическим средством защиты растений

Направление применения БВС	Сценарии и области применения	Ключевые технологические решения	Примеры (проекты/ продукты, организации)
	на сельскохозяйственные угодья. Опрыскивание садовых растений при обнаружении признаков заболевания и/или поражения вредителями. Площадное распределение жидких, сыпучих, газообразных веществ и биологических объектов: Защита растений от вредителей, болезней и сорняков, противоземлемическая обработка. Нейтрализация разливов нефти	Оптимизация систем-распылителей в части более точной регулировки размера капель распыления и повышения плотности покрытия при опрыскивании, в т.ч. применение центробежных форсунок-атомайзеров, способных контролировать размер капли за счет регулирования скорости вращения (конструкция также подходит для распыления более экономичных растворимых порошков и суспендированных веществ)	(ООО «Птеро» предоставляет соответствующие услуги) [393]. БВС S-120/ S-270 (ООО «Транспорт будущего») могут быть адаптированы для внесения средств защиты растений [394]
Аэрологистика	Доставка грузов в удаленные труднодоступные регионы, в том числе посылки/ бандероли/ почтовые сообщения, гуманитарная помощь, медикаменты. Доставка грузов в труднодоступные места, в том числе нефтяные и газовые месторождения. Доставка строительных материалов	Использование композиционных материалов для облегчения веса и повышения потенциальной грузоподъемности. Использование композиционных материалов для увеличения надежности и прочности конструкции, повышения устойчивости к сложным природным условиям	БВС OG-003 (ООО «БАС Глори Эйр») – многоцелевое воздушное судно, в т.ч. предназначено для перевозки грузов весом до 20 кг [395]. БВС OG-50 – многоцелевое воздушное судно, в т.ч. предназначено для перевозки грузов весом до 25 кг [396]
Радиосвязные работы, оперативная организация сетей подвижной радиосвязи, ретрансляция оптических и радиосигналов	Оперативная организация сетей подвижной радиосвязи. Ретрансляция оптических и радиосигналов	Использование БВС в качестве ретранслятора сигнала для беспроводной связи на средних расстояниях. Использование конвертопланов для ретрансляции сигналов на дальние расстояния	БВС Ворон, разработанное СПб ФИЦ РАН, предназначенное для оперативной организации беспроводной связи при экстренных и поисковых мероприятиях [397]. Опытное БВС-конвертоплан «Настасья», разработанное специалистами Обуховского завода (концентр Алмаз-Антей) [398]

Направление применения БВС	Сценарии и области применения	Ключевые технологические решения	Примеры (проекты/ продукты, организации)
Образовательная и спортивная деятельность	Обучение применению БАС. Спортивные мероприятия, подготовка и организация соревнований	Использование специально разработанных полигонов для образовательных БВС. Разработка виртуальных симуляторов управления БВС. Использование малых гоночных БВС квадрокоптерного типа	Компактная мобильная площадка для обучения робототехнике и управлению БПЛА «Пионер Арена мини» [399]. Система Симулятор Пионер [400]
Визуальные инсталляции	Световые шоу; Рекламные демонстрации	Использование флота малых БВС для световых представлений	Услуга «Шоу дронов» компании Геоскан [401]
Внешние работы	Съемка строительных площадок, топография и геодезия, управление объектом. Садово-парковая обработка, санитарная обрезка насаждений. Мойка/ покраска фасадов. Проведение аварийно-спасательных работ. Съемка видеоконтента, производство новостей и фильмов, прямые трансляции с БВС. Оповещения населения (при ЧС, организации эвакуации), координация действий различных подразделений (полиции, пожарной охраны), предупреждение столкновений воздушных судов с птицами, передача сообщений удаленным объектам (береговой охраны, полиции, охраны объектов)	Использование БВС самолетного типа для наблюдения за лесными массивами в пожароопасных зонах. Разработка систем искусственного интеллекта для БВС для выявления пожаров. Использование БВС самолетного типа для поисковых работ. Использование тяжелых квадрокоптеров для наблюдения на море в сложной ледовой обстановке	БВС самолетного типа компании Авакс-Геосервис [402]. Интеллектуальные камеры и ИИ системы для фиксации задымлений при наблюдении с БПЛА от компаний «Делидрон» разработанной компанией «Формоза-Софт» [402]. Беспилотный летательный аппарат «Луны-20» для поисково-спасательных работ в Якутии [403]. Оснащение ледоколов тяжелыми БВС квадрокоптерного типа для спасательных работ [404]

Направление применения БВС	Сценарии и области применения	Ключевые технологические решения	Примеры (проекты/продукты, организации)
Перевозка людей	Городское аэротакси. Перевозка персонала к месту работ. Эвакуация людей из мест чрезвычайных ситуаций	Использование передовых композиционных материалов для повышения надежности и прочности конструкции. Алгоритмы оптимизации построения маршрутов (в т.ч. для сокращения расхода энергии). Стандартизация протоколов взаимодействия, разработка средств защиты от помех и перехвата сигнала; программные средства для обеспечения кибербезопасности, в т.ч. на базе ИИ	Стартап «Ховер», член ассоциации «Аэронет» НТИ: беспилотное аэротакси, аппарат способен взлетать на высоту до 150 м и разгоняться до скорости 200 км/ч, продолжительность полета – до 20 мин, грузоподъемность – до 300 кг. [405] Проект на стадии разработки и проведения испытаний [406]. Аэротакси S-700 – разработка ООО «Транспорт будущего», аппарат способен взлетать на высоту до 3 500 м и разгоняться до скорости 100 км/ч, продолжительность полета – до 25 мин. (25 км), грузоподъемность – до 200 кг. Разработка успешно прошла летные испытания [407]

Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по материалам Ассоциации «АЭРОНЕКТ» [345] и данным открытых источников

Российская Федерация по многим показателям находится на переднем крае использования БВС. В настоящее время локомотивом развития сектора выступает оборонно-промышленный комплекс, при этом для стимулирования гражданского сегмента рынка принимаются активные меры как федерального, так и регионального значения. На федеральном уровне рамочным инструментом, определяющим развитие отрасли, выступает национальный проект «Беспилотные авиационные системы» [252]. На уровне регионов активно применяются экспериментальные правовые режимы и региональные проекты использования БВС для новых задач в сфере транспортировки грузов, мониторинга стихийных бедствий, строительства и обеспечения безопасности.

2.2. Барьеры развития отрасли по состоянию на конец 2024 г.

2.2.1. Барьеры развития отрасли в мире

Согласно опросу представителей мировых компаний-разработчиков и пользователей беспилотных авиационных систем, проведенному компаниями Elsieht и P3 Tech Consulting [408], главным

фактором, замедляющим внедрение БВС и развитие глобального рынка, являются регуляторные барьеры (Рисунок 30).

В частности, респонденты отмечают медленную адаптацию законодательства со стороны таких организаций, как Федеральное управление гражданской авиации США (FAA) и Агентство по безопасности полетов Европейского союза (EASA), а также общую сложность процедур сертификации.

Рисунок 30. Основные барьеры и вызовы, замедляющие развитие отрасли БВС по состоянию на 2023 год, % респондентов, отметивших рассматриваемый фактор как значимый



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным Elsieht [408]

Около 40% опрошенных указывают на проблемы с надежностью связи, особенно при выполнении операций за пределами видимости оператора (BVLOS). К проблемным зонам в рассматриваемой области относятся высокая стоимость и сложность спутниковых решений (SATCOM), а также ограничения радиоканалов (RF) при работе на больших расстояниях. При этом в качестве возможного решения представители мировых компаний-разработчиков и пользователей беспилотных авиационных систем предлагают применение технологий 5G и управление БВС через сети сотовой связи. Примерно 40% опрошенных считают серьезным препятствием для развития рынка размеры финансовых затрат на эксплуатацию БВС, что связано с нарушениями цепочек поставок и дефицитом микроэлектронного оборудования, а также с высокими затратами на получение необходимых разрешений, в частности, затратами на сертификацию для операций BVLOS. Технологии обнаружения и предотвращения столкновений (Detect-and-Avoid, DAA), включая радары и LiDAR, все еще находятся на ранней стадии развития. Аппаратные ограничения, такие как проблемы с емкостью батарей, грузоподъемностью и устойчивостью к погодным условиям, также представляют собой значительные барьеры для участников рынка. Кроме того, отсутствие глобальных стандартов для управления трафиком БВС (UTM) затрудняет координацию большого количества БВС в воздушном пространстве.

Согласно опросу представителей индустрии БВС из 10 стран-лидеров, результаты которого представлены Global State of Drones 2024 [409], по состоянию на 2024 год регуляторные барьеры остаются главным фактором, замедляющим внедрение БВС и развитие глобального рынка (Рисунок 31).

Рисунок 31. Изменение значимости основных барьеров отрасли БВС: сравнение 2023 и 2024 года



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным Drone industry insight [409]

При этом, по оценкам респондентов, в 2024 году по сравнению с 2023 годом возросли сложности с привлечением новых клиентов и получением финансирования для расширения деятельности, в то время как барьеры, связанные с общественным принятием развития отрасли БВС, а также факторы инфляции и экономических циклов стали менее значимы.

В целом, развитию отрасли беспилотных воздушных судов и распространению БВС в различных секторах экономики препятствуют барьеры нормативного, экономического, социального и организационного характера. На основе анализа научных и аналитических материалов [408–411], ключевые группы барьеров для развития отрасли можно свести к следующему перечню.

Регуляторные (нормативно-правовые) барьеры

Отсутствие комплексной нормативно-правовой базы. Отсутствие четких и стандартизированных правил эксплуатации БВС является существенным препятствием для развития отрасли. Зачастую БВС могут регуляторами рассматриваться как полноценные воздушные суда, что делает коммерческую деятельность с использованием БВС крайне сложной и требующей выполнения длительных процедур согласования, что не дает реализовать ключевые технологические преимущества беспилотных летательных аппаратов. В большинстве стран специальные правовые рамки, регулирующие использование беспилотных воздушных судов, особенно в коммерческом и гуманитарном контексте находятся на ранней стадии формирования. Например, Федеральное управление гражданской авиации (FAA) в США подвергается критике за политику в области сертификации, ограничивающую масштабируемость операций по доставке грузов с помощью БВС [412]. В Европейском союзе новые правила часто не успевают за прогрессом в сфере разработки БВС, что

сдерживает экономический потенциал этого направления [413].

Проблемы конфиденциальности и безопасности. Существенную проблему для применения БВС, чаще всего оснащенных многочисленными камерами и датчиками, формируют вопросы обеспечения безопасности критических инфраструктур и военных объектов, а также вопросы обеспечения приватности в зоне жилой застройки. В процессе полета БВС могут осуществлять съемку чувствительных объектов, доступа к которым может не быть у оператора БВС, не говоря уже о возможности несанкционированного доступа к таким видеоданным со стороны злоумышленников [414–416].

Интеграция БВС в системы управления воздушным движением. Важным и техническим сложным вопросом остается интеграция движения БВС в существующие системы управления воздушным движением [417]. При отсутствии единого пространства управления БВС могут сталкиваться с другими БВС и пилотируемыми воздушными судами, что создает значительные риски аварий, особенно острые в городской застройке. В силу того, что приоритетом для политики государственных органов во всем мире остается обеспечение безопасности, выработка правил управления воздушным потоком становится ключевым условием для развития беспилотного транспорта в населенных зонах.

Экономические барьеры

Высокие первоначальные инвестиции. Внедрение беспилотных воздушных судов требует крупных первоначальных инвестиций, что зачастую недоступно для малых и средних предприятий [418]. Проблема высокой стоимости БВС особенно остро стоит в развивающихся странах в таких отраслях как сельское хозяйство и строительство [419,420];

Проблемы рентабельности. Вопрос окупаемости инвестиций является критически важным для использования БВС в экономике. Так, например, проекты в сфере транспортировки грузов с применением беспилотных летательных аппаратов находятся в ценовой конкуренции с доставкой при помощи традиционной пилотируемой авиации и наземными перевозками, что выступает серьезным ограничительным фактором [421,422].

Технологические барьеры

Ограничения заряда батарей БВС и зависимость от электроэнергии. Большая часть беспилотных воздушных судов отличается меньшим радиусом действия, по сравнению с традиционной авиацией, что заметно ограничивает возможности по их применению, особенно на удаленных территориях с ограниченным доступом к электроэнергии [421];

Надежность предотвращения столкновений в воздухе. Для безопасной эксплуатации БВС необходима разработка более эффективных систем предотвращения столкновений как с другими беспилотными, так и с пилотируемыми воздушными судами. Особенно важным этот вопрос будет стоять для организации работы БВС в густонаселенных районах [422].

Социальные барьеры

Общественное восприятие издержек эксплуатации БВС. Вопросы шумового загрязнения, обеспечения конфиденциальности и безопасности могут вызывать сопротивление со стороны жителей территорий, на которых организуются проекты использования БВС [416];

Дефицит кадров и общественные предубеждения. Во многих странах, особенно развивающихся, существует серьезная нехватка специалистов по работе с БВС, а также низкая общественная осведомленность о преимуществах использования БВС, что создает сложности в развитии этого сектора [419].

Инфраструктурные барьеры

Нехватка обслуживающей инфраструктуры. Серьезным ограничением для использования БВС в экономике выступает недостаточное развитие инфраструктуры – необходимых посадочных площадок, зарядных станций и мощностей по техническому обслуживанию и ремонту БВС. В отдаленных районах и многих развивающихся странах отдельную проблему представляет недостаточная надежность сетей связи [423];

Вопросы защиты окружающей среды. В некоторых странах озабоченность среди населения вызывает воздействие беспилотных воздушных судов на окружающую среду [416,423].

Барьеры, связанные с кибербезопасностью

Уязвимость к кибератакам. Беспилотные воздушные суда могут подвергаться кибератакам, в результате которых возможна утечка данных с камер и датчиков БВС или даже перехват управления злоумышленниками. Нехватка надежных систем защиты от кибератак может привести к серьезному замедлению развития отрасли [415];

Проблема распределенной юридической ответственности. В сфере беспилотных воздушных судов все еще не решен вопрос распределение юридической ответственности за нештатные ситуации – от утечки данных до аварий – среди разработчиков, операторов и владельцев БВС [415].

Основные направления преодоления барьеров отрасли

Пути преодоления барьеров, сдерживающих распространение БВС в экономике, активно обсуждаются в научных и экспертно-отраслевых публикациях. Ниже приведена ключевая информация об указанных направлениях действий и соответствующих им барьерах и рисках развития мировой отрасли БВС (Таблица 26).

Таблица 26. Основные пути преодоления барьеров развития отрасли

№	Типы барьеров	Барьеры и риски развития отрасли	Пути преодоления
1	Регуляторные барьеры	Сложность и фрагментированность существующей нормативной базы, противоречия в имеющихся стандартах	Организация экспериментальных правовых режимов («регулятивных песочниц»). Внедрение гибких процедур сертификации с учетом специфики БВС [424]. Организация международного взаимодействия [425,426]
		Сложность административных процедур и высокая стоимость получения разрешения на	Упрощение процедур, предоставление производителями БВС коммерческих услуг

№	Типы барьеров	Барьеры и риски развития отрасли	Пути преодоления
		коммерческую эксплуатацию БВС	по подготовке пользователей БВС к получению необходимых сертификатов [427]
		Правовые вопросы, связанные с полетами над частной собственностью	Предоставление прав на полеты над частными территориями на коммерческой основе. Создание цифровые платформы совместного предоставления (sharing) воздушного пространства на коммерческой основе [428]
		Правовые вопросы обеспечения безопасности полетов БВС вблизи аэропортов и пилотируемых воздушных судов	Внедрение систем комплексной оценки рисков при полетах БВС вблизи пилотируемых самолетов, организация протоколов и границ воздушных зон [417]
2	Экономические барьеры	Недостаточное частное финансирование новых предприятий в сфере БВС	Развитие механизмов частно-государственного партнерства. Налоговые льготы для операторов БВС [429]
		Высокая стоимость организации движения в воздушном пространстве	Создание облачных систем управления воздушным движением. Развитие систем цифрового ID для полетов над урбанизированными территориями [430]
		Риски, связанные с монопольным положением государственных регуляторов воздушного пространства	Развитие конкурентной экосистемы управления беспилотным транспортом [431]
		Риски повышения таможенных пошлин и санкционных запретов	Значительная часть компонентов для БВС производится в Китае, что в условиях новых таможенных пошлин против Китая со стороны США может привести к увеличению цен БВС и даже разрывам производственных цепочек [432]
3	Технологические барьеры	Недостаточное развитие систем обнаружения и предотвращения столкновений в воздухе у БВС [425]. Недостаточное развитие систем безопасности, эффективных при авариях БВС	Создание продвинутых электронных компонентов. Создание интеллектуальных систем управления воздушным движением. Разработка более совершенных систем обнаружения и предотвращения столкновений [433]
		Ограничения мощности батарей БВС. Недостаточная безопасность полетов БВС в сложных	Разработка новых способов снабжения БВС энергией, с применением солнечных батарей, систем дозаправки в воздухе, систем

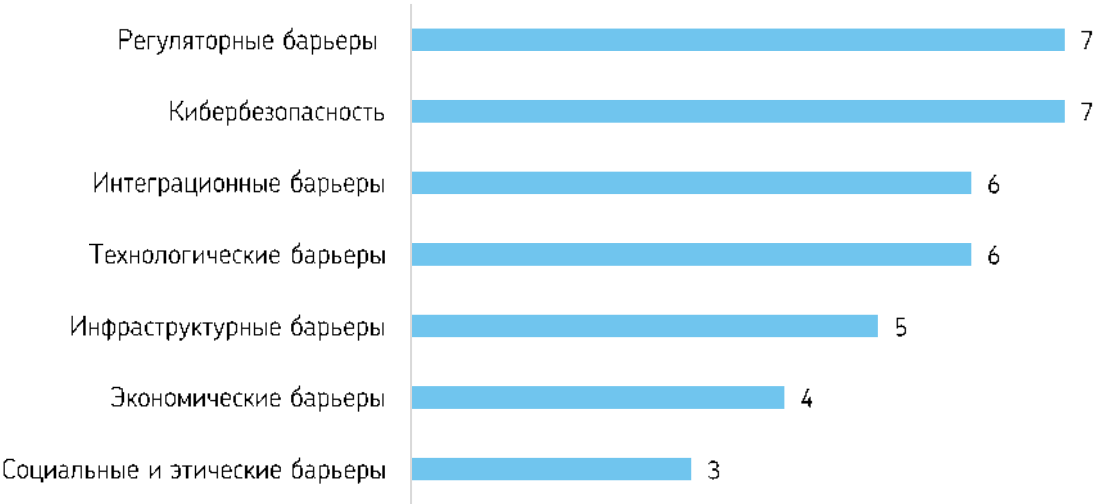
№	Типы барьеров	Барьеры и риски развития отрасли	Пути преодоления
		погодных условиях, проблемы обледенения крыльев. Недостаточная автономность БВС в случае потери управления [434]. Проблемы отказа двигателей [435]	передачи энергии при помощи лазера и беспроводной передачи энергии [436]. Создание более совершенных БВС, устойчивых к сильному ветру и обледенению [433]
4	Социальные барьеры	Вопросы защиты конфиденциальности и частной жизни	Разработка БВС с встроенными механизмами по соблюдению неприкосновенности частной жизни [437]. Вовлечение общественности в вопросы формирования политики в области БВС [438]
		Проблема «шумового загрязнения»	Разработка шумовых протоколов для использования БВС в населенных районах [439]. Разработка малошумных моделей [440]
		Дефицит кадров (нехватка разработчиков и операторов БВС)	Развитие партнерств между коммерческими организациями и образовательными учреждениями, создание совместных образовательных программ [441]. Развитие специализированных отраслевых кадровых сервисов [442]
5	Инфраструктурные барьеры	Высокая стоимость создания и эксплуатации инфраструктуры для БВС	Налоговые льготы для операторов БВС [429]
		Дефицит взлетно-посадочных площадок (ВПП)	Развитие сети вертодромов для БВС [443]. Разработка мобильных ВПП для БВС [444]
		Дефицит инфраструктуры для зарядки/обслуживания	Развитие специальных транспортных коридоров для БВС [445]. Развитие технологий беспроводной зарядки БВС [446]. Увеличение коммерческого предложения на рынке автоматических зарядных станций для БВС (по образцу Skydio Dock) [447]
		Слабая телекоммуникационная инфраструктура. Перебои связи в удаленных районах	Развитие технологий управления БВС через спутниковую связь [448]
6	Барьеры, связанные с обеспечением кибербезопасности	Уязвимости каналов связи. Программные закладки (бэкдоры), предустановленные	Использование шифровальных методик. Сертификация обновлений программного обеспечения для управления БВС.

№	Типы барьеров	Барьеры и риски развития отрасли	Пути преодоления
		производителями оборудования. Отсутствие шифрования при передаче данных	Ориентация на обеспечение кибербезопасности на всем жизненном цикле изготовления и эксплуатации БВС [449]
		Постановка ложных сигналов систем спутниковой навигации («GPS-спуфинг») Нехватка систем обнаружения вторжений (IDS)	Внедрение систем обнаружения вторжений и межсетевых защитных экранов (firewall) Системы обнаружения киберугроз на базе машинного обучения [450]
		Отсутствие проработанной системы регулирования в сфере кибербезопасности для БВС	Развитие системы стандартов в области кибербезопасности для БВС. Внедрение лучших мировых практик по обеспечению кибербезопасности для БВС [451]

Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным открытых источников

По результатам проведенного Инфраструктурным центром «Технет» опроса представителей рынка, основными барьерами развития отрасли БВС в мире являются регуляторные барьеры и барьеры, связанные с кибербезопасностью. Вопрос подразумевает множественный ответ, подробная структура ответов представлена на Рисунке 32.

Рисунок 32. Структура ответов об основных барьерах развития отрасли БВС в мире, ед. ответов



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по результатам опроса

В ходе опроса респондентами также были перечислены основные барьеры по каждой категории (за исключением технологических и экономических барьеров) и предложены возможные пути их преодоления:

- регуляторные барьеры:
 - ограниченность законодательства по автономным БВС (в том числе ИИ). Для преодоления данного барьера предлагается принятие международных стандартов сертификации систем автономного управления и цифровых двойников;
 - сложности с трансграничными операциями БВС. Предлагается внедрить систему «электронного паспорта» дрона.
- социальные и этические барьеры:
 - проблема определения кадровых потребностей отрасли. Необходимо работать над объединением рынка и сближением его обособленных ниш.
- инфраструктурные барьеры:
 - недостаток наземной инфраструктуры – взлётных площадок, зарядных станций – особенно в логистике. В качестве решения предлагается развитие дрон-портов, мультифункциональных хабов;
 - слабая интеграция с существующей авиационной и транспортной инфраструктурой. Необходимо внедрение гибридных решений и модулей сопряжения БВС с текущими системами наблюдения и контроля;
 - требуется внедрение автоматизированной системы управления и диспетчеризации воздушного пространства с интеграцией в нее беспилотников.
- интеграционные барьеры:
 - внедрение дронов является актуальной темой для многих организаций, однако, недостаток кадров и мотивации препятствует полноценной их интеграции.
- барьеры, связанные с кибербезопасностью:
 - отсутствие киберзащиты каналов связи, риск перехвата управления и спуфинга навигации. Необходимо использовать криптостойкие каналы связи, резервные протоколы, спутниковую и инерциальную навигацию;
 - уязвимость ПО и ИИ-компонентов БВС. Требуется внедрение сертифицированных операционных систем реального времени, а также анализ уязвимостей в цепочках поставок ПО.

Анализ научных и аналитических публикаций [408,410,411,452] в целом позволяет утверждать, что именно регуляторные барьеры являются наиболее значимыми в контексте развития отрасли. С учетом разнообразия правовых юрисдикций, наличия террористических угроз и геополитической напряженности, принимая во внимание значительную роль, которую БВС играют в военной отрасли, вышеуказанные барьеры требуют разработки совокупности сбалансированных и последовательных решений.

2.2.2. Барьеры развития отрасли в России

Структурные барьеры развития отрасли БВС в России в целом схожи с барьерами, доминирующими в мире. Тем не менее, развитие отрасли БВС в Российской Федерации обладает своей

спецификой, связанной в первую очередь с санкциями на поставку технологичной продукции и сложностями в приобретении импортных компонентов, а также со сложностями регуляторного характера, в том числе запретами на полеты гражданских БВС в ряде регионов страны.

Ниже представлена ключевая информация об указанных направлениях действий и соответствующих им барьерах и рисках развития отрасли БВС в России (Таблица 27).

Таблица 27. Перечень барьеров и рисков развития отрасли в России

№	Типы барьеров	Барьеры и риски развития отрасли	Пути преодоления
1	Регуляторные барьеры	Нехватка системности в регулировании отрасли [453]	Выработка стратегии взаимодействия между государством, бизнесом и научным сообществом для синхронизации политики в области БВС [454]. Реформа регулирования авиационной сферы [455]. Приведение требований и процедур в нормативно-правовых актах в соответствие с процедурами стран-лидеров в области беспилотных технологий [456]
		Ограниченность применения экспериментальных правовых режимов (ЭПР)	Продление и расширение режима ЭПР [457]
		Блокирующие ограничения полетов БВС, в т.ч. из соображений безопасности [458]	Внедрение новых технологий безопасности (автоматическое предотвращение столкновений, системы идентификации) [459]. Создание новых классов воздушного пространства, расширение зон для полетов БВС [460,461]
		Проблемы интеграции БВС в единое воздушное пространство	Развитие систем управления движением БВС, таких как система «Небосвод» [462,463]
		Требование прямой видимости пилота	Разработка систем автоматического управления и мониторинга, которые позволяют обходиться без прямой видимости [460]
		Сложность получения разрешений. Медлительность сертификации на фоне быстрой смены поколений техники	Упрощение процесса получения разрешений, внедрение цифровых платформ для подачи планов полетов. Ускорение процесса разработки и утверждения законодательных изменений, создание рабочих групп для оперативного реагирования на потребности отрасли [455]

№	Типы барьеров	Барьеры и риски развития отрасли	Пути преодоления
		Проблема «серой зоны» в эксплуатации БВС (до 60% участников рынка)	Оптимизация процесса сертификации и регистрации эксплуатантов БВС [464]
2	Экономические барьеры	Высокая стоимость производства БВС	Субсидирование стоимости часов для новых моделей БВС. Компенсации закупок российских комплектующих. Запуск серийных производств БВС. Стандартизация платформ [459]
		Зависимость от импортных комплектующих	Локализация производства и импортозамещения. Господдержка НИР/ НИОКР. Создание кластеров БВС [462]
3	Технологические барьеры	Отсутствие системы идентификации БВС	Создание единой системы идентификации беспилотных воздушных судов (система «свой-чужой») [465]. Развитие общей для стран СНГ системы радиолокационного опознавания «Пароль» [466]
		Недостаточная развитость инфраструктуры для испытаний и выполнения полетов	Создание сети научно-производственных центров с лабораторно-испытательными комплексами [459]
		Ограниченная дальность полета и грузоподъемность БВС	Внедрение гибридных силовых установок. Использование композиционных материалов для снижения веса и повышения прочности. Развитие технологий искусственного интеллекта для оптимизации маршрутов и энергопотребления [462]
		Критическая зависимость от иностранных компонентов (электроника, двигатели, системы управления)	Локализация производства. Господдержка НИОКР. Создание кластеров производства БВС [462]
4	Социальные барьеры	Дефицит специалистов по разработке, эксплуатации и сертификации БВС	Создание образовательных программ на базе вузов и учреждений СПО [462]
5	Инфраструктурные барьеры	Недостаточно развитая инфраструктура для испытаний и эксплуатации БВС	Строительство испытательных полигонов. Развитие логистических коридоров для грузовых БВС [462]
6	Барьеры, связанные с кибербезопасностью	Конфликты между военными системами радиоэлектронной борьбы и гражданскими БВС [467]	Создание единой системы идентификации беспилотных воздушных судов (система «свой-чужой») [465]. Совершенствование нормативно-

№	Типы барьеров	Барьеры и риски развития отрасли	Пути преодоления
			правовой базы
		Риски перебоев данных спутниковой навигации и мобильной связью	Выделение зон со специальным режимом связи [468]

Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным открытых источников

Помимо вопросов сугубо гражданского сектора, следует рассмотреть некоторое количество барьеров, связанных с сектором БВС двойного и военного назначения (Таблица 28).

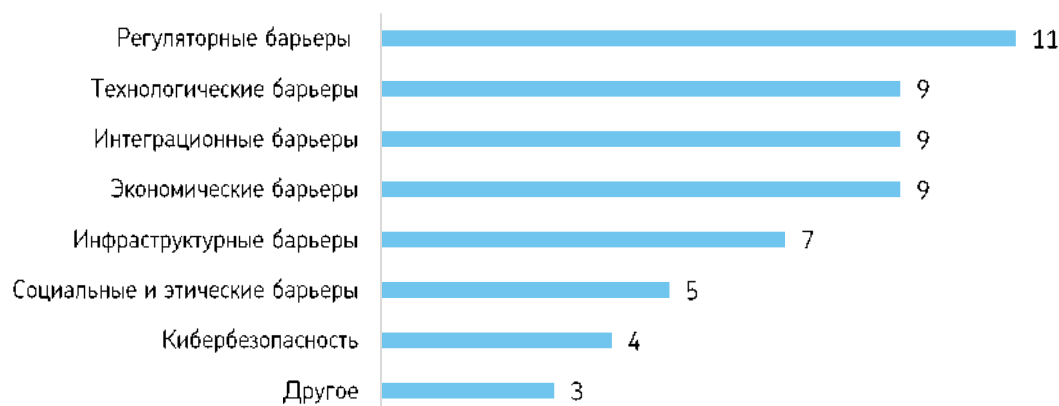
Таблица 28. Военно-технические вызовы и меры по их преодолению в отрасли БВС

№	Барьеры и риски развития отрасли	Пути преодоления
1	Нехватка каналов обмена данными между БВС и действующими системами ПВО на территории страны	Создание единой системы идентификации и отслеживания БВС в режиме реального времени. Интеграция гражданских и военных систем управления воздушным пространством для обмена информацией о местонахождении и статусе БВС [469]
2	Проблема идентификации современных малозаметных БВС	Создание единой системы идентификации беспилотных воздушных судов (система определения «свой-чужой») [470]
3	Противоречия в нормативной базе по вопросу применения средств радиоэлектронной борьбы	Разработка единой нормативной базы для применения РЭБ, согласованной с требованиями безопасности [471]
4	Отсутствие четких правил регистрации средств подавления БВС	Обязательная регистрация средств воздействия на БВС [471]
5	Нехватка системности в регулировании отрасли [453]	Выработка стратегии взаимодействия между государством, бизнесом и научным сообществом для синхронизации политики в области БВС [454]. Реформа регулирования авиационной сферы [455]. Приведение требований и процедур в нормативно-правовых актах в соответствие с процедурами стран-лидеров в области беспилотных технологий [456]

Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным открытых источников

Основными барьерами развития отрасли БВС в России, по результатам проведенного Инфраструктурным центром «Технет» опроса представителей рынка, являются регуляторные, а также технологические, интеграционные и экономические барьеры. Вопрос подразумевает множественный ответ, подробная структура ответов представлена на Рисунке 33.

Рисунок 33. Структура ответов по основным барьерам развития отрасли БВС в России, ед. ответов



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по результатам опроса

В ходе опроса респондентами также перечислены основные барьеры по каждой категории и предложены возможные пути их преодоления:

- регуляторные барьеры:
 - сложность и высокая стоимость сертификации БВС массой более 30 кг;
 - отсутствие специального законодательства в области БВС, вводящего единые определения участников и процессов, а также четких определений типов БВС, параметров их применения, необходимого оборудования и ограничений в зависимости от класса БВС. Действующие требования опираются на нормативную базу пилотируемой авиации, что создает дополнительные сложности. Необходимо создание единой нормативной базы полетов БВС в гражданском воздушном пространстве, а также механизмов сертификации ПО и автономного поведения БВС. При этом предлагается отменить необходимость лицензирования деятельности по разработке и изготовлению БВС;
 - запрет на полеты во многих регионах РФ, отсутствие специально выделенных полетных зон в доступных местах, а также трудности в получении разрешений на полеты. Требуется больше нерегулируемого воздушного пространства или зон, выделенных под полеты беспилотников.
- технологические барьеры:
 - отсутствие единой системы управления и контроля полётами БВС, в том числе находящихся в воздухе без специального разрешения. Разработки и пилотные проекты крупных представителей рынка должны контролироваться со стороны Росавиации для скорого масштабирования лучших практик и во избежание внедрения системы без учёта интересов производителей и эксплуатантов БАС;
 - технологическое отставание в производстве микрочипов, сложность и высокая стоимость печати многослойных электронных плат. Требуется организация нового или модернизация уже имеющегося производства, внедрение инноваций, привлечение

- государственного заказчика, а также строительство новых заводов в различных регионах страны для сокращения затрат на логистику;
 - недостаточная емкость существующих аккумуляторов для создания электрических БВС, а также значительные масса, габариты и энергопотребление электронных компонентов и электродвигателей, из-за чего не распространены гибридные решения. Для преодоления ограничений в создании электрических БВС необходимо разрабатывать новые источники электроэнергии с повышенной емкостью и наращивать производство;
 - дефицит и высокая стоимость углеродных композиционных материалов. Необходимо совершенствовать технологии, позволяющие снизить стоимость углеродных композиционных материалов без ущерба для качества.
- экономические барьеры:
 - недостаточные гарантии и предсказуемость финансирования, недостаточно строгое следование принятым программам;
 - чрезмерное количество ограничений в сфере финансовых операций и высокая налоговая нагрузка, включая различные налоги и сборы со сложной системой начисления;
 - сложность конкуренции с китайскими производителями в области цен и объемов производства.
- социальные и этические барьеры:
 - использование БВС для автоматизированной слежки, нарушающей частную жизнь граждан. Требуется законодательно на международном уровне запретить применение БВС для решения указанных задач;
 - острая нехватка квалифицированных кадров в авиастроительной отрасли и, в частности, в сфере беспилотных технологий. Отмечается сложность подготовки кадров из-за неопределенности рынка и отсутствия четкого понимания потребностей отрасли. Существующие специалисты часто работают в узких нишах и слабо взаимодействуют друг с другом. При этом, даже высокие зарплаты не всегда мотивируют специалистов работать в авиастроении, в том числе из-за избыточного регулирования отрасли.
- инфраструктурные барьеры:
 - недостаток баз для эксплуатации и обслуживания БВС, в том числе в труднодоступных регионах;
 - отсутствие единой системы управления беспилотным движением (UTM-система), а также стандартов для аэродромной инфраструктуры, адаптированной под БВС;
 - эксплуатация БВС большой взлетной массы требует специализированной инфраструктуры, сопоставимой с инфраструктурой для пилотируемой авиации (зарядные станции, станции обслуживания и ремонта, включая ремонт электронных компонентов на месте). Существующая инфраструктура не приспособлена для этих целей. Как способ решения, предложена возможность снизить требования к БВС большой взлетной массы и одновременно установить строгие ограничения на сферы их

применения. Это позволит снизить себестоимость разработки и расходы на эксплуатацию, однако может привести к сужению объема рынка. В качестве альтернативы предлагается полное прекращение разработки и эксплуатации БВС данного класса.

- интеграционные барьеры:
 - отсутствие межведомственного органа, координирующего работу по смежным национальным и федеральным проектам в области БАС;
 - внедрение дронов является актуальной темой для многих организаций, однако, недостаток кадров и мотивации препятствует полноценной их интеграции.
- барьеры, связанные с кибербезопасностью:
 - недостаток отечественных встраиваемых операционных систем реального времени, обеспечивающих «доверенную» среду для коллективной разработки программного обеспечения;
 - риск возникновения несанкционированного доступа и изменения программного обеспечения БВС. Для снижения данного риска предлагается ввести полный запрет автономных БВС большой массы, пилотируемых только дистанционно с постоянным непрерывным управлением, установка на БПЛА и на пункте наземного пилотирования физических устройств для задания несущей частоты и шифрования сигнала, а также ограничить допуск полностью автономных БВС в воздушное пространство. При необходимости полетов на большую дальность, обязать выполнение посадки, а затем повторный взлет и продолжение полета с управлением от следующего пункта дистанционного пилотирования. Таким образом, даже получив несанкционированный доступ к ПО, управлять БПЛА будет невозможно. В случае потери связи с внешним пилотом (оператором) БВС предлагается незамедлительно ликвидировать;
 - риск перехвата управления БВС по радиоканалам. Необходима разработка средств для предотвращения такого перехвата, а также ограничение дальности полета дальностью радиосвязи;
 - риск падения БПЛА в населенных местах из-за проблем с отключением навигации или потери ориентации БПЛА вследствие спуфинговой атаки GPS-приемника.

Помимо барьеров, относимых к основным категориям, эксперты отрасли выделяют следующие:

- барьеры, связанные с мероприятиями по противодействию несанкционированного использования БВС;
- недостаточная информированность населения и лиц, принимающих решения в государственных и коммерческих организациях, о возможностях и преимуществах беспилотных технологий является сдерживающим фактором. Зачастую, выбор решений основывается на репутации производителя, а не на реальных потребностях. Кроме того, наблюдается осторожность при внедрении инновационных технологий, таких как обработка изображений с использованием искусственного интеллекта, предпочтение отдается традиционным методам мониторинга с непосредственным участием оператора. Для изменения ситуации необходимо расширение

образовательных программ, включая школьное и специальное техническое образование, а также освещение успехов и перспектив развития беспилотных технологий на радио и в ТВ передачах.

Развитие отрасли беспилотных воздушных судов является одним стратегических направлений технологического развития Российской Федерации. Важность отрасли подчеркивается созданием узкоспециализированного национального проекта «Беспилотные авиационные системы» [472].

Наиболее масштабным барьером, преодоление которого расценивается экспертами как гарантия 90% успеха развития отрасли, является несоответствие регуляторной базы новому классу летательных аппаратов [473]. Следует отметить, что, несмотря на остающиеся проблемы, регуляторная база обновляется достаточно быстро, что связано с высоким вниманием руководства страны к этой проблеме, создание режима ЭПР в некоторых регионах и ориентация на лучшие мировые практики (в данном направлении – КНР).

Значительной проблемой остаются барьеры, связанные с обеспечением кибербезопасности, в условиях высоких военных и террористических рисков. Тем не менее, выработка новых норм и совершенствование технологий связи и мер кибербезопасности, а также модернизация средств подавления БВС и протоколов работы с ними постепенно позволит решить эти вопросы.

2.3. Возможности для роста отрасли по состоянию на конец 2024 г.

2.3.1. Возможности для роста отрасли в мире

Отрасль БВС, равно как и связанные с ней цифровые технологии проектирования и эксплуатации беспилотных воздушных судов (в т.ч. композитных и гибридных конструкций БВС), по состоянию на конец 2024 года демонстрирует уверенный рост. В частности, по оценкам международных консалтинговых организаций, ожидается среднегодовые темпы роста рынка от 7,1% [5] до 16,3% [10] в горизонте до 2030 года. При этом в сегменте информатики материалов, согласно оценкам, среднегодовые темпы роста рынка превысят 16–20% [14,474–476].

Необходимо отметить, что реализация существующих экономических и технологических тенденций с учетом действующих барьеров обуславливает актуализацию ряда возможностей для роста, а также совокупности рисков развития отрасли. В частности, распространение комплексных платформенных решений, как программных, так и программно-аппаратных и развитие комплексных моделей продаж (продажи изделий, услуг на их основе, предоставление БВС в аренду и пр.) потенциально способно привести к общему расширению рынка. Распространение модели «дрон-как-услуга» (DaaS) открывает возможность для расширения применения БВС в различных отраслях за счет снижения требований к дорогостоящей технике и подготовленной рабочей силе для компаний-пользователей [477]. При этом важно учитывать, что распространение санкционных и экспортных ограничений на поставки БВС и компонентов для их производства напрямую обуславливает риск разрыва сложившихся международных производственных цепочек [287,288], в то же время открывая возможности для развития альтернативных сетей поставок БВС [288] и перехода к импортозамещению в производстве компонентов и готовых изделий [478].

Ниже приведен перечень ключевых возможностей и рисков, связанных с технологическими

тенденциями, подробнее рассмотренными в разделе 2.1 настоящего отчета (Таблица 29).

Таблица 29. Перечень возможностей для роста отрасли в мире с учетом ключевых технологических тенденций

№	Тенденция	Возможности для роста отрасли	Потенциальные риски (при наличии)
1	Повышение автономности БВС за счет программно-аппаратных средств управления полетом и обработки данных	Развитие новых бизнес-моделей вокруг систем доставки и осмотра объектов при помощи автономных БВС [479]. Создание бизнес-решений для работ в опасных средах без привлечения человека [480]. Развитие новейших методов ИИ-обучения для увеличения автономии БВС [481]. Формирование единой среды взаимодействия беспилотных и пилотируемых аппаратов различных типов, в т.ч. интеграция БВС в инфраструктуру «умных городов» [482]	Аварии БВС из-за неправильной работы программного обеспечения или экстремальных погодных условий [483]. Риски взлома ПО, управляющего автономными БВС, с целью совершения преступлений или террористических актов [484]
2	Оптимизация конструкции, в т.ч. за счет использования передовых композиционных материалов и применения модульного подхода	Снижение затрат и воздействия на окружающую среду за счет повышенной аэродинамической эффективности и энергоэффективности, полученных в результате внедрения композиционных материалов [485]. Рост экономической эффективности, расширение направлений и областей применения БВС за счет увеличения грузоподъемности и продолжительности полетов [486]	Высокие первоначальные инвестиции, необходимые для использования передовых материалов и сложных производственных технологий, ограничивающие их использование малыми предприятиями [487]. Риски катастроф из-за разрушения конструкций вследствие ошибок в проектировании или дефектов при производстве
3	Увеличение продолжительности полета за счет увеличения срока службы батареи и совершенствования работы двигателя	Расширение направлений и областей применения БВС за счет увеличения дальности полета, снижения времени простоя БВС на перезарядке и заправке. Развитие услуг по доставке грузов на дальние расстояния, мониторингу инфраструктурных объектов и территорий на больших расстояниях [479]	Фундаментальные ограничения современной технологии аккумуляторов и плотности энергии препятствуют значительному увеличению продолжительности полета несмотря на продолжающиеся исследования [488]. Ограниченные возможности современных технологий аккумуляторов, отсутствие возможности значительно увеличить дальность полета БВС [489].

№	Тенденция	Возможности для роста отрасли	Потенциальные риски (при наличии)
			Зависимость от цепочек поставок редкоземельных металлов. Уязвимость к кибератакам на истощение батарей [490]
4	Реорганизация систем связи: стандартизация протоколов и использование современных и перспективных сетей мобильной связи	Увеличение надежности БВС и безопасности передачи данных [491]. Расширение сфер применения БВС благодаря потоковой передаче данных в режиме реального времени на значительные расстояния [491]	Увеличение уязвимости БВС к сложным кибератакам и воздействию систем подавления спутникового сигнала [492]
5	Развитие технологий производства БВС, в частности за счет использования аддитивных технологий и наращивания доли композиционных материалов	Снижение стоимости и увеличение скорости производства БВС. Развитие кастомизации в производстве БВС [493]. Улучшение летных характеристик БВС за счет снижения веса. Развитие децентрализованного производства БВС [494]	Риски снижения точности в производстве компонентов БВС при использовании композиционных материалов и аддитивного производства, влияющие на надежность и долговечность конструкции [495,496]

Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным открытых источников

Ниже представлен перечень основных возможностей развития мировой отрасли БВС, связанный с преодолением барьеров, подробнее рассмотренных в разделе 2.2 настоящего отчета, по типам: регуляторные; экономические; технологические; социальные; инфраструктурные, а также барьеры, связанные с обеспечением кибербезопасности (Таблица 30).

Таблица 30. Перечень возможностей для роста отрасли в мире с учетом с учетом преодоления ключевых барьеров

№	Типы барьеров	Барьеры и риски развития отрасли	Возможности для роста отрасли
1	Регуляторные барьеры	Сложность и фрагментированность существующей нормативной базы, противоречия в имеющихся стандартах	Выработка единых стандартов и формирование цифровых инструментов совместно с регуляторами может позволить увеличить размер рынка [497]
		Сложность административных процедур и высокая стоимость получения разрешения на коммерческую эксплуатацию БВС	Упрощение процедур лицензирования и снижение административных барьеров может открыть новые возможности для малых предприятий и ускорить распространение инноваций в экономике [498]
		Правовые вопросы, связанные	Развитие технологий геозонирования/ геоограничений в двухмерном и

№	Типы барьеров	Барьеры и риски развития отрасли	Возможности для роста отрасли
		с полетами над частной собственностью	трехмерном пространстве (geofencing, geosaging), формирование устойчивых коммерческих маршрутов для БВС [499,500]
		Правовые вопросы обеспечения безопасности полетов БВС близи аэропортов и пилотируемых воздушных судов	Развитие новых систем мониторинга воздушного пространства на основе использования комбинированных радиолокационных-оптических решений [501]
2	Экономические барьеры	Недостаточное частное финансирование новых предприятий в сфере БВС	Развитие специализированных венчурных фондов под задачи отраслевого использования БВС [502,503]
		Высокая стоимость организации движения в воздушном пространстве	Развитие рынков специализированных решений и консалтинга по управлению потоками БВС [504]
		Риски, связанные с монопольным положением государственных регуляторов воздушного пространства	Развитие отраслевых ассоциаций, взаимодействующих с государством по вопросу регулирования [505]
		Риски повышения таможенных пошлин и санкционных запретов	Локализация производства компонентов БВС, диверсификация цепочек поставок [506]
3	Технологические барьеры	Недостаточное развитие систем обнаружения и предотвращения столкновений в воздухе у БВС [507]	Развитие комплексных технологических средств обнаружения БВС [501]
		Недостаточное развитие систем безопасности, эффективных при авариях БВС	Внедрение аварийных систем для БВС (парашютные системы и системы автоматического возвращения на базу) повышает доверие клиентов и снижает страховые платежи [508]
		Ограничения мощности батарей БВС. Недостаточная безопасность полетов БВС в сложных погодных условиях, проблемы обледенения крыльев. Недостаточная автономность БВС в случае потери управления [434]. Проблемы отказа двигателей [435]	Выход на рынок новых типов аккумуляторов позволит увеличить продолжительность полета и может расширить сферу применения БВС [509]. Развитие БВС, устойчивых к сложным погодным явлениям расширяет рынки использования БВС [510,511]. Развитие ИИ систем для возврата на базу при потере управления [512]

№	Типы барьеров	Барьеры и риски развития отрасли	Возможности для роста отрасли
4	Социальные барьеры	Вопросы защиты конфиденциальности и частной жизни	Обеспечение прозрачности процедур работы с БВС может увеличить общественное доверие к игрокам рынка [513]
		Проблема «шумового загрязнения»	Разработка пропеллеров с пониженной шумностью [514] и систем управления движением БВС, учитывающих фактор шумового загрязнения [515]
		Дефицит кадров (нехватка разработчиков и операторов БВС)	Создание новых совместных образовательных программ [516,517]. Развитие VR-технологий для обучения операторов БВС [518]
5	Инфраструктурные барьеры	Высокая стоимость создания и эксплуатации инфраструктуры для БВС	Развитие экономики совместного потребления (sharing economy) в сфере БВС [519]
		Недостаток взлетно-посадочных площадок (ВПП)	Развитие посадочных площадок для БВС на крышах зданий [520]
		Нехватка инфраструктуры для зарядки/обслуживания	Развитие сети зарядных станций для БВС на базе АЗС [521]
		Слабая телекоммуникационная инфраструктура. Перебои связи в удаленных районах.	Развитие новых решений в области связи с применением спутниковых технологий [522]
6	Барьеры, связанные с обеспечением кибербезопасности	Уязвимости каналов связи. Программные закладки (бэкдоры) предустановленные производителями оборудования. Отсутствие шифрования при передаче данных	Внедрение передовых стандартов шифрования и акцент на безопасность в проектировании («Secure-by-Design») [523]
		Постановка ложных сигналов систем спутниковой навигации («GPS-спуфинг»). Нехватка систем обнаружения вторжений (IDS)	Развитие помехоустойчивых передатчиков спутникового сигнала [524]. Разработка систем специализированных обнаружения вторжений (DIDS) [525]
		Отсутствие проработанной системы регулирования в сфере кибербезопасности для БВС	Развитие стандартов в области кибербезопасности с участием бизнес-ассоциаций [526]. Участие бизнеса в разработке стандартов (пример: AUVSI)

Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным открытых источников

Как было сказано выше, сверхбыстрое развитие военных беспилотных воздушных судов и активная поддержка данного направления практически всеми мировыми державами выступают дополнительными факторами, стимулирующими рост и развитие рынка. При этом БВС в настоящее время находят применение практически во всех отраслях экономики. Задачи, решение которых необходимо для преодоления барьеров развития отрасли, также создают потенциальные рыночные ниши:

- разработка и производство усовершенствованных деталей и компонентов БВС, в т.ч. композитные и гибридные конструкции, включая НИР/ НИОКР в рассматриваемой сфере;
- разработка специализированного программного обеспечения, в т.ч. инженерного ПО, а также решений для управления БВС и обработки данных, поступающих от сложной системы сенсоров и датчиков, и решений, необходимых для обеспечения кибербезопасности проектирования и эксплуатации беспилотных воздушных судов;
- формирование сети объектов инфраструктуры и др.

Несмотря на ряд рассмотренных выше барьеров, рисков и вызовов, мировой рынок БВС отличается высокий потенциал роста, связанный с появлением технологических и инфраструктурных возможностей, а также с расширением сфер и областей применения беспилотных воздушных судов, в т.ч. за счет платформенных решений и модели «дрон-как-услуга» (DaaS).

2.3.2. Возможности для роста отрасли в России

Как уже было сказано выше, в Российской Федерации в настоящее время реализуется «Стратегия развития беспилотной авиации до 2030 года и на перспективу до 2035 года» [75] и национальный проект «Беспилотные авиационные системы» [252], предусматривающие комплекс мероприятий по стимулированию роста и развития отрасли. По оценкам Ассоциации «АЭРОНЕКСТ» [74], ожидается рост рынка гражданских беспилотных авиационных систем в финансовом выражении от 2 до 8 раз в 2024–2030 годах. (в зависимости от сценария).

В российском контексте возможности и риски развития мировой отрасли БВС, а также связанных с ней цифровых технологий проектирования и эксплуатации беспилотных воздушных судов (в т.ч. композитных и гибридных конструкций БВС) сохраняют актуальность. Так, развитие модели «дрон-как-услуга» (DaaS) позволяет компаниям использовать БВС без необходимости их приобретения. Это позволяет малому и среднему бизнесу эффективно с экономической точки зрения интегрировать технологи БВС в свою деятельность [527]. В то же время необходимо учитывать, что развитие отечественной отрасли БВС отличается ряд специфических характеристик. В частности, для российского рынка к числу ключевых задач относится импортозамещение и обеспечение технологического суверенитета, что создает возможности для роста ряда смежных технологических направлений и отраслей. В то же время значимым риском остается сохранение зависимости от импортных деталей, компонентов (особенно, в части микроэлектроники) и программного обеспечения [527,528].

Перечень основных возможностей для роста отрасли БВС в России с учетом ключевых технологических тенденций представлен ниже (Таблица 71).

Таблица 31. Перечень возможностей для роста отрасли в России с учетом ключевых технологических тенденций

№	Тенденция	Возможности для роста отрасли	Потенциальные риски (при наличии)
1	Повышение автономности БВС за счет программно-аппаратных средств управления полетом и обработки данных	Развитие партнерских цепочек (цепочек создания стоимости) «наука-бизнес» для ускоренной коммерциализации инновационных разработок в области повышение автономности БВС за счет программно-аппаратных средств управления полетом и обработки данных [529,530]. Развитие сферы услуг на базе автономных БВС для решения разнообразных коммерческих задач без необходимости постоянного контроля оператором [531]. Расширения спектра областей и направлений коммерческого применения БВС за счет возможности обработки данных полезной нагрузки непосредственно на борту БВС. Формирование единой бесшовной среды взаимодействия беспилотных и пилотируемых ВС различных типов [532]	Недостаточно проработанная нормативно-правовая база и длительные процедуры согласования полетов, что сдерживает внедрение новых сервисов [473]. Отставание в развитии отечественных программно-аппаратных решений, что может привести к сохранению технологической зависимости российской отрасли от импортных разработок (в частности, в области микроэлектроники) [527,528]. Усложнение доступа к новым разработкам, компонентам и оборудованию в связи с санкционными ограничениями [533], а также ограничениями на экспорт высокотехнологичной продукции со стороны отдельных стран (в частности, Китая [534]).
2	Оптимизация конструкции, в т.ч. за счет использования передовых композиционных материалов и применения модульного подхода	Развитие партнерских цепочек (цепочек создания стоимости) «наука-бизнес» для ускоренной коммерциализации инновационных разработок в области композиционных материалов для БВС [350,529]. Снижение себестоимости производства БВС и ускорение вывода новых моделей на рынок за счет применения модульного подхода [527]. Быстрая адаптация воздушных судов под различные отраслевые задачи и условия эксплуатации без создания новых моделей «с нуля» за счет использования модульных платформ БВС [346]	Риски нарушения цепочек поставок компонентов и материалов в связи с санкционными и экспортными ограничениями [527,535]. возможное снижение качества при быстром наращивании отечественного производства; Рост конкуренции со стороны предприятий Китая, Турции, Ирана и др. в связи с импортозамещением продукции из Европы и США [191]
3	Увеличение продолжительности полета за счет увеличения срока службы батареи и совершенствования работы двигателя	Реализация накопленных компетенций российских разработчиков в области двигателестроения [536]. Создание новых сервисных компаний, специализирующихся на обслуживании и оптимизации энергосистем БВС для различных отраслевых задач.	Рост требований к безопасности и сертификации, что может увеличить издержки производителей и операторов [473]. Непосредственно проблемы безопасности, связанные с литий-полимерными и литий-ионными

№	Тенденция	Возможности для роста отрасли	Потенциальные риски (при наличии)
		Расширение спектра областей и направлений коммерческого применения БВС благодаря увеличению дальности и времени полета (мониторинг больших территорий, доставка на дальние расстояния, длительные инспекции) [77,537]	аккумуляторами, которые способны привести к ограничениям на использование БВС в определенных условиях [538]. Зависимость от импортных компонентов в сфере двигателей и энергосистем для БВС может стать критическим препятствием для роста отрасли [528]
4	Реорганизация систем связи: стандартизация протоколов и использование современных и перспективных сетей мобильной связи	Создание быстроразвертываемых комплексов связи на базе БВС для обеспечения коммуникаций в труднодоступных регионах, открывающее новые рынки для телекоммуникационных компаний [346]. Развитие новых сервисов (массовое управление флотами БВС, интеграция в «умные города», логистика, мониторинг инфраструктуры) [379]. Развитие спутниковых технологий связи для БВС, позволяющих радикально увеличить дальность полетов и расширить сферу применения БВС [377]	Риск фрагментации стандартов и несовместимости решений, что может затормозить развитие рынка и увеличить расходы на интеграцию. Уязвимость каналов связи БВС для перехвата и глушения может ограничить использование БВС в коммерчески значимых проектах из-за рисков безопасности [539]
5	Развитие технологий производства БВС, в частности за счет использования аддитивных технологий и наращивания доли композиционных материалов	Расширение направлений применения БВС и условий их эксплуатации за счет повышения надежности конструкции, прочности, долговечности и устойчивости к воздействию погодных условий, обеспечиваемого использованием современных композиционных материалов [176,183]. Быстрое масштабирование производства и снижение зависимости от импортных компонентов, в частности за счет аддитивных технологий. Сокращение издержек, в т.ч. за счет использования вторичного сырья [384]	Недостаточное развитие отечественных технологий 3D-печати и зависимость от импортного ПО, способное создать уязвимость для отрасли [540]. Риск технологического отставания при недостатке инвестиций в НИОКР и слабой кооперации между производителями и научными организациями. Сохранение зависимости от импорта технологических решений, производственного оборудования и ПО, материалов и волокон в сочетании с усложнением доступа к передовым зарубежным разработкам в связи с санкционными ограничениями [164,191]

Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным открытых источников

По результатам проведенного Инфраструктурным центром «Технет» опроса представителей рынка о необходимых для принятия мерах поддержки отрасли на государственном уровне для дальнейшего развития отрасли в России, большая часть респондентов отметила меры по усовершенствованию механизмов проектного финансирования/софинансирования. Вопрос подразумевает множественный ответ, более подробная структура ответов приведена ниже (Рисунок 34).

Рисунок 34. Структура ответов о необходимых для принятия мерах поддержки отрасли на государственном уровне для дальнейшего развития отрасли в России, ед. ответов



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по результатам опроса

Также в качестве меры поддержки отрасли было отмечено расширение возможностей для международной кооперации при разработке и изготовлении БВС, а также при упрощении процедуры сертификации (категория «Другое» на рис. 34).

Респонденты отмечают следующие параметры меры поддержки «Упрощение согласования полетов БПЛА и БВС»:

- внедрение единой цифровой платформы согласования полётов, автоматизация обработки заявок и интеграция с аэронавигационными службами;
- формализация практики получения разработчиком разрешения на полеты с последующим информированием органов безопасности.

Для меры «Усовершенствовать механизмы проектного финансирования/софинансирования» приводятся следующие параметры:

- создание маркетплейса идей, где зарегистрированные профильные и финансовые организации, научные и учебные заведения, а также министерства и ведомства могли бы представлять прошедшие модерацию проекты и предлагать варианты их реализации;
- обеспечение стабильности реализации принятых долгосрочных планов;
- запуск специализированных программ Фонда развития промышленности, Сколково, Минпромторга России с акцентом на разработку и производство БВС;

- введение механизмов льготного кредитования и субсидий для экспортно-ориентированных производителей;
- последующая организация сбыта разработок, которые дойдут до мелкой серии, для решения проблемы «сырости» разрабатываемых продуктов.

Параметры меры поддержки «Усовершенствовать законодательную базу по эксплуатации композитных и гибридных конструкций БВС» по мнению респондентов следующие:

- разработка стандартов и регламентов, учитывающих специфику ПКМ/МКМ в БВС, обеспечение юридической определенности при регистрации, эксплуатации и утилизации таких аппаратов;
- упрощение сертификации при соблюдении ГОСТ/ОСТ.

Для меры «Разработать образовательные программы, которые позволили бы справиться с кадровым дефицитом» респондентами отмечаются такие параметры как:

- управление процессом подготовки кадров в государственных учебных заведениях исходя из текущей потребности, рассмотрение отрасли как системы;
- создание модульных образовательных курсов на базе университетов и колледжей по направлениям: «проектирование БВС», «цифровое моделирование», «эксплуатация БПЛА», «технологии ПКМ»;
- вовлечение партнёров отрасли в учебные программы;
- внедрение системы сертификации операторов БВС от Росавиации, обеспечивающей подтверждение практических и теоретических навыков (управление БПЛА, знание нормативной документации и т.д.)

Ниже приведен перечень основных возможностей развития российской отрасли БВС, связанный с преодолением барьеров, подробнее рассмотренных в разделе 2.2 настоящего отчета (Таблица 32).

Таблица 32. Перечень возможностей для роста отрасли в России с учетом с учетом преодоления ключевых барьеров

№	Типы барьеров	Барьеры и риски развития отрасли	Возможности для роста отрасли
1	Регуляторные барьеры	Нехватка системности в регулировании отрасли	Ускорение роста рынка по мере развития в 2024-2032 годы отраслевых технических регламентов и национальной системы стандартизации в области БВС [541]. Ускорение развития рынка после систематизации подхода к регулированию и создания единой профильной регулирующей структуры [468]
		Ограниченность применения	Развитие экспериментальных зон для тестирования сервисов и новых технологий в сфере БВС [542]

№	Типы барьеров	Барьеры и риски развития отрасли	Возможности для роста отрасли
		экспериментальных правовых режимов (ЭПР)	
		Блокирующие ограничения полетов БВС, в т.ч. из соображений безопасности	Снятие ограничений на полеты по мере распространения технологий обнаружения и предотвращения столкновений (detect and avoid) [532]. Расширение коммерческих возможностей по мере смягчения ограничений для полетов в сфере сельского хозяйства [543]
		Проблемы интеграции БВС в единое воздушное пространство	Развитие рынка по мере внедрения систем организации движения БВС [541]. Облегчение взаимодействия с государством благодаря развитию цифровых платформ управления БВС [543]
		Требование прямой видимости пилота	Развитие решений BVLOS для обеспечения безопасной работы БВС вне непосредственной видимости оператора
		Сложность получения разрешений. Медлительность сертификации на фоне быстрой смены поколений техники	Сокращение временных и финансовых затрат благодаря цифровизации процессов получения разрешительной документации [527]
		Проблема «серой зоны» в эксплуатации БВС (до 60% участников рынка)	Гармонизация требований и упрощение процедур эксплуатации БВС должно позволить значительно увеличить долю легальных операторов [544]
2	Экономические барьеры	Высокая стоимость производства	Снижение стоимости производства благодаря субсидиям на НИОКР для производителей БВС в размере 40% затрат [527]
3	Технологические барьеры	Отсутствие системы идентификации БВС	Развитие новых рынков услуг по мониторингу после внедрения цифровых платформ регистрации и отслеживания БВС [468]
		Недостаточная развитость инфраструктуры для испытаний и выполнения полетов	Развития рынка коммерческих испытательных полигонов, ускорение вывода новых БВС на рынок
		Ограниченная дальность полета и грузоподъемность БВС	Развитие сети станций подзарядки и новых гибридных силовых конструкций БВС, распространение БВС на новые рынки доставки [532,545]
		Критическая зависимость от иностранных	Локализация производства критических компонентов БВС на российских предприятиях [546].

№	Типы барьеров	Барьеры и риски развития отрасли	Возможности для роста отрасли
		компонентов	Снижение стоимости продукции за счет налоговых льгот при локализации производства компонентов БВС [547]
4	Социальные барьеры	Дефицит специалистов по разработке, эксплуатации и сертификации БВС	Создание нового сектора образовательных услуг [548]
5	Инфраструктурные барьеры	Недостаточно развитая инфраструктура для испытаний и эксплуатации БВС	Снижение операционных затрат благодаря развитию сети хабов и сервисных центров для БВС [549]
6	Барьеры, связанные с обеспечением кибербезопасности	Конфликты между военными системами радиоэлектронной борьбы и гражданскими БВС	Увеличение устойчивости коммерческих операций благодаря внедрению защищенных модулей ГЛОНАСС [550]
		Риски перебоев данных спутниковой навигации и мобильной связью	Увеличение надежности операций за счет внедрения гибридных систем навигации, использующих как данные ГЛОНАСС, так и базовые станции сотовых операторов [551]

Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным открытых источников

БВС обладают большим потенциалом для использования в различных отраслях экономики и государственного управления. В ближайшие годы российским компаниям и органам государственного управления предстоит масштабная работа по формированию оптимального режима регулирования рассматриваемой области и поиску эффективных бизнес-моделей, которые позволят распространить использование БВС на новые сферы и довести данный сектор до стадии устойчивой коммерческой деятельности. Мощным стимулом для развития российской отрасли БВС является национальный проект «Беспилотные авиационные системы» [76], предусматривающий комплекс мер поддержки разработчиков, производителей и потребителей БВС, в частности, субсидии на НИОКР, гранты на реверс-инжиниринг комплектующих, компенсации стоимости летных часов, гранты на сертификацию и др. При этом к числу наиболее значимых сегментов рассматриваемого рынка относится разработка специализированного ПО, а также решений для управления БВС и обработки данных, поступающих от сложной системы сенсоров и датчиков, и решений, необходимых для обеспечения кибербезопасности проектирования и эксплуатации БВС.

ГЛАВА 3. КЛЮЧЕВЫЕ СОБЫТИЯ ОТРАСЛИ

Несмотря на многочисленные ограничения экономического характера, колебания в тенденциях венчурного финансирования и рост мировых санкционных ограничений в 2022–2024 годах мировая отрасль БВС активно развивалась, проникновение БВС в различные сферы экономики стабильно росло, в ряде направлений переходя от единичных использований к массовой практике.

В рамках настоящего раздела рассматриваются ключевые события отрасли БВС и сферы цифровых технологий обеспечения эксплуатации композитных и гибридных конструкций беспилотных воздушных судов по состоянию на конец 2024 года по тематическим блокам (подразделам):

- крупные технологические проекты и научно-технологические достижения;
- изменения в нормативно-правовом регулировании.

3.1. Крупные технологические проекты и научно-технологические достижения

3.1.1. Крупные проекты и достижения в мире

Сектор БВС продемонстрировал относительную устойчивость к экономическим сложностям и к колебаниям в венчурном финансировании – так, несмотря на то, что в выделяемом аналитиками Mckinsey [552] направлении «технологии воздушной мобильности будущего» («future air mobility») наблюдается общий спад венчурного финансирования, связанный с завышенными ожиданиями от сегмента городских воздушных такси, включенный в данное направление сегмент БВС сохраняет объемы привлеченных венчурных средств.

Необходимо отметить существенный прогресс в развитии нормативной базы эксплуатации БВС в мире. Общей тенденцией стало значительное расширение разрешенных зон полета вне прямой видимости оператора (BVLOS). Выдача таких разрешений стала реализовываться Федеральным управлением гражданской авиации США (FAA), что было необходимым условием для шага развития в отрасли и повышения окупаемости инвестиций в БВС [552]. В частности, FAA одобрена работа системы Amazon Prime Air [553]. Разработка подобных нормативов ведется и в Европейском Союзе, но находится на более ранней стадии, в силу традиционно большего внимания в ЕС к проблематике безопасности и защиты окружающей среды. Значительные усилия прикладываются на уровне общеевропейских исследовательских программ, таких как U-Space4UAM [554], U-ELCOME [555] и CORUS-XUAM [556].

Значимым экономическим достижением для отрасли стало серьезное увеличение объемов коммерческих доставок использованием БВС. По экспертным оценкам, уже в 2023 году в мире было выполнено более 1 миллиона коммерческих доставок при помощи БВС [557]. Постепенно развивается использование БВС в секторе потребительских рынков («b2c») – БВС стали использоваться для доставки продуктов из ресторанов, магазинов и аптек. Значительно увеличился интерес к использованию БВС у крупнейших североамериканских ритейлеров, таких как Walmart и Amazon, запускающих экспериментальные программы по беспилотной доставке. В 2024 году компания Zipline стала первой организацией, осуществившей миллион коммерческих доставок при помощи БВС [558]. Знаковым событием можно назвать организацию компанией крупного распределительного

центра по доставке медицинских товаров в Нигерии [559]. Масштабные проекты по доставке были также запущены компанией Wing, входящей в конгломерат Alphabet, в Ирландии [560] и Финляндии [561]. В сфере научно-исследовательской деятельности в рамках этого направления в ЕС создан проект Dronamics, исследующий возможность дальней доставки тяжелых грузов [562].

Также продолжилось активное включение БВС в логистические системы, в том числе с решением для доставки «последней мили» [563]. Компании и исследовательские организации разрабатывают критически важный элемент для такой системы – решения для финальной реализации доставки, среди которых доставка с применением спуска груза на лебедках, оборудование специализированных точек посадки и использование парашютных систем. В качестве примеров достижений в этой области можно привести внедрение французским национальным почтовым оператором La Poste [564] городской логистической системы на основе использования БВС в сотрудничестве с ГК Groupe Atechsys, в результате чего время на доставку товаров сократилось на 40%. В исследовательских проектах, поддержанных структурами ЕС, таких как Drones4Safety [565], значительное внимание уделяется обеспечению безопасности при доставках с использованием БВС.

Основные реализованные технологические проекты и научно-технологические достижения в сфере цифровых технологий обеспечения эксплуатации композитных и гибридных конструкций БВС в мире приведены ниже (Таблица 33).

Таблица 33. Основные реализованные технологические проекты и научно-технологические достижения в сфере цифровых технологий обеспечения эксплуатации композитных и гибридных конструкций БВС в мире

Название проекта	Технологический фокус	Результаты/достижения	Участники	Годы реализации	Страна
Сбор данных с воздуха с использованием устойчивых системных архитектур [565]	Устойчивые системные архитектуры для безопасной эксплуатации БВС, включая технологии BVLOS (полет вне прямой видимости)	Разработка компонентов и систем для сенсоров, телекоммуникаций и обработки данных. Адаптация технологий из автомобильной отрасли для БВС (радар, LiDAR, 3D-камеры). Создание аппаратного и программного обеспечения для точного слияния данных и аналитики	51 участник, включая INFINEON TECHNOLOGIES AG (Германия, координатор), NXP SEMICONDUCTOR S NETHERLANDS BV (Нидерланды), ERICSSON AB (Швеция), TUSAS-TURK HAVACILIK VE UZAY SANAYII AS (Турция) и др.	2020–2023	Германия (координатор)
Рамочная структура ключевых технологий, обеспечивающих безопасные и автономные	Безопасные и автономные технологии для БВС	Разработка программного и аппаратного обеспечения для использования БВС, создание экосистемы для систематизации и безопасности платформ БВС	49 участников, включая INDRA SISTEMAS SA (Испания), партнеров из Австрии, Бельгии, Чехии и др.	2019–2023	Испания (координатор)

Название проекта	Технологический фокус	Результаты/достижения	Участники	Годы реализации	Страна
приложения БВС					
Испытания БВС с использованием возможностей 5G [566]	Технологии 5G в контексте БВС	Проведение испытаний нескольких сценариев использования БВС с валидацией ключевых показателей производительности 5G. Доказана поддержка одновременной работы нескольких приложений	23 участника, включая OULUN YLIOPISTO (Финляндия), THALES SIX GTS FRANCE SAS (Франция), ERCOM ENGINEERING RESEAUX COMMUNICATIONS (Франция), ALERION (Франция) и др.	2019–2022	Финляндия (координатор)
PJ01 Wave 2 – Улучшенные прилеты и вылеты [567]	Оптимизация воздушного пространства вокруг аэропортов, управление воздушным движением	Разработка концепций и инструментов для улучшения управления воздушным движением в терминальных зонах	27 участников, включая NATS (EN ROUTE) PUBLIC LIMITED COMPANY (Великобритания), FREQUENTIS ORTHOGON GMBH (Германия), AIRBUS (Франция), DFS DEUTSCHE FLUGSICHERUNG GMBH (Германия) и др.	2019–2022	Великобритания (координатор)
Определение обмена информацией в U-Space с системами управления воздушным движением [568]	Интеграция U-space с системами управления воздушным движением (АТМ)	Разработка концепции операций для обмена данными между U-space и АТМ. Повышена совместимость воздушного пространства	46 участников, включая ведущие организации из Испании, Германии, Франции, Италии и др.	2021–2023	Испания (координатор)
Комплексный подход к предоставлению инструментов пространственного и транспортного планирования и данных для столичных и региональных властей для	Устойчивый транспорт и мультимодальное планирование	Разработка инструментов транспортного планирования. Проведены пилотные демонстрации в 6 городах ЕС (Роттердам, Афины и др.)	21 участник, включая Oxfordshire County Council (Великобритания), TU Delft (Нидерланды), Politecnico di Torino (Италия), National Technical University of Athens (Греция) и др.	2019–2023	Великобритания (координатор)

Название проекта	Технологический фокус	Результаты/достижения	Участники	Годы реализации	Страна
перехода к новой эре устойчивой мобильности [569]					
Полуавтономная платформа пограничного наблюдения, объединяющая БВС нового поколения с мультисенсорной системой наблюдения сверхвысокого разрешения [570]	Многофункциональные БВС для мониторинга границ	Создание платформы с радарами, ИК-камерами и акустическими датчиками для охраны границ ЕС	18 участников, включая организации из Румынии, Германии, Франции, Италии и др.	2020–2023	Румыния (координатор)
Концепция эксплуатации европейских сервисов U-Space – расширение для городской воздушной мобильности [571]	Городская авиационная мобильность (UAM) и U-space	Проведено 6 демонстрационных кампаний интеграции U-space и UAM. Разработаны стандарты для безопасных операций	30 участников, включая EUROCONTROL (Бельгия), AEROPORTS DE PARIS SA (Франция), M3 SYSTEMS SAS (Франция), EHANG HOLDING GMBH (Австрия) и др.	2021–2022	Бельгия (координатор)
Создание пространственной экосистемы XXI века [572]	Цифровая инфраструктура для городской воздушной мобильности	Тестирование экосистемы UAM в 5 «живых лабораториях» (Эйнховен, Милан и др.). Разработка нормативных решений	14 участников, включая BRAINPORT DEVELOPMENT V (Нидерланды), SERENDIPITY HOLDING BV (Нидерланды), VERSES GLOBAL BV (Нидерланды), UNIVERSITEIT MAASTRICHT (Нидерланды) и др.	2020–2023	Нидерланды (координатор)
Безопасная городская воздушная мобильность для европейских	Городская воздушная мобильность (UAM), автономные БВС	Разработка интеллектуального решения для автономных полетов в городских условиях, включая выбор мест для	9 участников, включая SEAL AERONAUTICA SL (Испания), UNIVERSITEIT GENT (Бельгия), THALES SIX GTS FRANCE	2020–2023	Испания (координатор)

Название проекта	Технологический фокус	Результаты/достижения	Участники	Годы реализации	Страна
граждан [573]		экстренной посадки и интеграцию с системами управления воздушным движением	SAS (Франция), EUROPEAN PASSENGERS' FEDERATION IVZW (Бельгия) и др.		
Обеспечение устойчивой воздушной мобильности в городских условиях через экстренные и медицинские службы [574]	Городская воздушная мобильность (UAM) в экстренных медицинских службах (EMS).	Проведение демонстрации перевозки медицинских грузов БВС в городах (Хельсинки, Ставангер).	14 участников, включая TEKNOLOGIAN TUTKIMUSKESKUS VTT OY (Финляндия, координатор), INNOAVIA OY (Финляндия), FORUM VIRIUM HELSINKI OY (Финляндия), EHANG SKANDINAVIA AS (Норвегия) и др.	2021–2023	Финляндия (координатор)
GOF2.0 – Интегрированное городское воздушное пространство VLD [575]	Интеграция БВС в городское воздушное пространство с использованием сервисов ATM и U-space	Разработка новой архитектуры связи для управления воздушным движением в городских условиях. Обеспечена совместимость сервисов ATM и U-space для безопасной интеграции различных типов воздушных судов	16 участников, включая LENNULIKLUS-TEENINDUSE AS (Эстония), AIR NAVIGATION SERVICE FINLAND OY (Финляндия), CAFA TECH OU (Эстония), DIMETOR GMBH (Австрия) и др.	2021–2022	Эстония (координатор)
Беспилотное управление движением. 4D технологии планирования траектории для роя БВС для повышения безопасности на транспорте [576]	4D планирование маршрутов для БВС и управление воздушным движением	Разработка системы планирования маршрутов для управления роями БВС. Созданы технологии на основе U-space для автономных операций БВС, включая 4D-навигацию. Реализованы алгоритмы предотвращения столкновений и оптимизации воздушного трафика	13 участников, включая niversidad Carlos III de Madrid (Испания), ARQUIMEA Aerospace Defence and Security SL (Испания), Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR, Германия), Telefonica Innovacion Digital SL (Испания) и др.	2020–2023	Испания (координатор)
U-Space для городской воздушной мобильности [577]	Городской воздушный транспорт (UAM), автономные технологии	Проведение 215 демонстрационных полетов БВС и UAM в контролируемом воздушном пространстве	14 участников, включая Honeywell International SRO (Чехия, координатор), Honeywell	2021–2022	Чехия (координатор)

Название проекта	Технологический фокус	Результаты/достижения	Участники	Годы реализации	Страна
		и U-space. Испытаны сценарии для служб экстренного реагирования, мониторинга и доставки. Разработаны рекомендации по интеграции БВС в города ЕС	International Inc. (США), Altitude Angel (Великобритания), RIZENI LETOVENO PROVOZU CESKE REPUBLIKY (Чехия) и др.		
Координация и синхронизация мультимодального транспорта, улучшение автомобильного, железнодорожного, водного и воздушного транспорта через увеличение автоматизации и вовлеченности пользователей [578]	Координация трафика всех видов транспорта	Разработка системы синхронизации транспортных потоков. Улучшение управления непредвиденными ситуациями	16 участников, включая ITS Norway (Норвегия), партнеров из Франции, Германии, Италии и др.	2021–2024	Норвегия, Франция, Германия, Италия, Нидерланды, Швейцария и др.
Переход к более автоматизированному и оптимизированному обслуживанию, обновлению и модернизации дорог с помощью роботизированных технологий и интеллектуальных инструментов поддержки принятия решений [579]	Роботизированные технологии для строительства и обслуживания дорог	Разработка платформы управления дорожными активами. Опубликованы стандарты CWA. Проведены пилотные испытания на 5 объектах	Участники из 7 стран, включая Испанию (координатор), Италию, Португалию, Германию и др.	2021–2024	Испания (координатор)

Название проекта	Технологический фокус	Результаты/достижения	Участники	Годы реализации	Страна
БВС для автоматизированной инспекции портов с учетом рисков [580]	Автоматизация инспекции портовой инфраструктуры с использованием БВС	Разработка полностью автоматизированной системы инспекции мостов и судов. Снижены время и затраты на мониторинг	9 участников, включая UNIVERSITY OF THE WEST OF SCOTLAND (Великобритания, координатор), UNIVERSITY OF LIMERICK (Ирландия), HAMBURG PORT AUTHORITY (Германия), HOCEAN LIMITED (Ирландия) и др.	2020–2023	Великобритания (координатор)
Устойчивая к экстремальным событиям транспортная инфраструктура [581]	Повышение устойчивости транспортной инфраструктуры к экстремальным событиям	Разработка решений для оценки уязвимости и восстановления мостов/тоннелей после экстремальных событий. Созданы системы роботизированной инспекции и кибербезопасности. Реализовано 2 пилотных проекта в реальных условиях	17 организаций, включая NTT DATA SPAIN, SL (Испания, координатор), Boeing Aerospace Spain (Испания), Cranfield University (Великобритания), Airbus Operations SL (Испания) и др.	2018–2022	Испания (координатор)
Городская воздушная мобильность – крупные экспериментальные демонстрации [582]	Автоматизированные системы управления для UAM	Продemonстрирована безопасная интеграция UAM. Разработаны стандарты безопасности	12 организаций, включая INNOVATM (Франция, координатор), PILDO CONSULTING SL (Испания), FONDAZIONE INSTITUTE FOR SUSTAINABLE SOCIETY AND INNOVATION (Италия), ROCKWELL COLLINS FRANCE SAS (Франция) и др.	2021–2023	Франция (координатор)
Тактическое инструментальное разрешение конфликтов и их разрешение в полете [583]	Автономные БВС для осмотра инфраструктуры	Создание автономной системы БВС для частных осмотра транспортной инфраструктуры с использованием ИИ	3 организации, включая SYDDANSK UNIVERSITET (Дания), AARHUS UNIVERSITET (Дания),	2021–2022	Дания (координатор)

Название проекта	Технологический фокус	Результаты/достижения	Участники	Годы реализации	Страна
			FRAUNHOFER (Германия) и др.		
5 услуг БВС для повышения безопасности и защиты аэропортов и водных путей [584]	Применение БВС для обеспечения безопасности аэропортов и водных путей	Разработка комплексной системы БВС для: осмотра и калибровки CNS/GNSS оборудования; контроля безопасности периметра; мониторинга водных акваторий; интеграции с системами UTM	10 участников, включая AIRBUS DEFENCE AND SPACE SAS (Франция), FUTURE INTELLIGENCE (Греция), ECOLE NATIONALE DE L'AVIATION CIVILE (Франция) и др.	2020–2023	Франция (координатор)
Инспекционные БВС для обеспечения безопасности транспортной инфраструктуры [585]	Автономные системы мониторинга транспортной инфраструктуры с использованием БВС	Разработка систем роев БВС для автоматизированного контроля мостов и ж/д путей. Созданы технологии энергосъема с ЛЭП для подзарядки. Внедрены алгоритмы ИИ для анализа повреждений. Проведены тесты в реальных условиях	9 участников, включая Syddansk Universitet (Дания), Aarhus Universitet (Дания), Fraunhofer Gesellschaft (Германия), Centro Europeo di Formazione e Ricerca in Ingegneria Sismica (Италия) и др.	2020–2023	Дания (координатор)
Операционная платформа управления флотом полувавтономных БВС, использующая высокую точность и аутентификацию GNSS для повышения безопасности в портовых зонах [586]	Полуавтономные БВС с использованием высокоточной GNSS и аутентификации для безопасности в портах	Создание комплексной системы для мониторинга и охраны портовых зон с использованием БВС	5 участников, включая SISTEMATICA SPA (Италия), и 14 партнеров из Европы	2020–2023	Италия (координатор)
Первая европейская грузовая БВС-авиалиния [587]	Грузовые БВС для топливосберегающих, межграницных и дальних авиаперевозок грузов	Разработка БВС, способных перевозить 350 кг на расстояние до 2500 км с 90% снижением затрат по сравнению с альтернативами	DRONAMICS LTD	2022–2023	Болгария

Название проекта	Технологический фокус	Результаты/достижения	Участники	Годы реализации	Страна
Инновационная технология топливных элементов для длительных полетов малых БВС [588]	Топливные элементы и электропривод для малых БВС	Разработка гибридной технологии для увеличения автономности малых электрических БВС	SKY-WATCH A/S (Дания), KRAFTWERK TUBES GMBH (Германия)	2019–2022	Дания, Германия
WingtraOne – ведущий БВС вертикального взлета и посадки (VTOL) для картографирования и съемки, сочетающий большую дальность, высокую грузоподъемность и простоту использования [589]	Автономные гибридные системы	Разработка автономного гибридного БВС с уникальными характеристиками: вертикальный взлет/посадка + самолетный режим полета. Достигнута дальность в 14 раз больше, чем у мультикоптеров, с повышенной устойчивостью к ветру. Разработана система для точной эрофото-съемки	WINGTRA AG (Швейцария)	2021–2023	Швейцария
Навигация без GPS, за пределами линии видимости для логистических БВС в городских условиях [590]	Автономная навигация БВС без GPS, компьютерное зрение	Разработка платформы для автономной навигации БВС, использование алгоритмов для ориентации и навигации	SIGHTEC ISRAEL LTD	2022–2023	Израиль
Цифровизация железных дорог с помощью БВС [591]	БВС для мониторинга и обслуживания железнодорожных сигнальных объектов, EGNSS, автономные док-станции, интеграция с ИТ-системами	Разработка системы мониторинга и обслуживания с использованием БВС. Повышение частоты инспекций. Создание док-станций для автономной работы БВС	6 участников, включая HITACHI RAIL STS SPA (Италия), EVOLEO TECHNOLOGIES LDA (Португалия), ZENABYTE SRL (Италия), AEORUM ESPANA S.L. (Испания) и др.	2021–2023	Италия (координатор)

Название проекта	Технологический фокус	Результаты/достижения	Участники	Годы реализации	Страна
Безопасная и гибкая интеграция сервисов U-Space с акцентом на медицинскую воздушную мобильность [592]	Интеграция U-space сервисов для медицинской мобильности. Безопасная кооперация пилотируемых и беспилотных воздушных средств	Демонстрация безопасной интеграции беспилотных и пилотируемых воздушных платформ для медицинских перевозок в городах, развитие стандартов и архитектуры U-space	16 участников, включая HELICUS BVBA (Бельгия), SKEYES (Бельгия), UNIFLY (Бельгия), AGENTFLY TECHNOLOGIES SRO (Чехия) и др.	2020–2023	Бельгия (координатор)
БВС и EGNSS для низковысотной городской воздушной мобильности [593]	Использование БВС и EGNSS для городской воздушной мобильности и доставки. Навигация в сложных условиях.	Разработка требований к навигации и позиционированию. Демонстрация преимуществ использования Galileo и EGNOS для безопасных полетов в городской среде. Проведение успешной первой кампании испытательных полетов	7 участников, включая PILDO CONSULTING SL (Испания), AIRBUS OPERATIONS SL (Испания), SOCIEDAD ESTATAL CORREOS Y TELEGRAFOS SA SME (Испания) и др.	2019–2023	Испания (координатор)
Программа OFFSET [331]	Технологии (программно-аппаратные средства), обеспечивающие групповое взаимодействие БВС	Создание испытательного стенда для разработки, совершенствования и оценки тактики управления роем беспилотных аппаратов, включающим до 250 малых БВС и/или малых беспилотных наземных систем	Университет штата Орегон, Smart Information Flow, Управление перспективных исследовательских проектов Министерства обороны США (США)	2017–2024	США
Проект SoSITE [594]	Интеграция пилотируемых и беспилотных платформ в единую цифровую архитектуру. Применение композитных и гибридных конструкций БВС	Разработка архитектуры распределенных боевых возможностей, испытания взаимодействия пилотируемых и БВС в реальных условиях; повышение живучести и эффективности ударных групп	DARPA, Boeing, General Dynamics, Lockheed Martin, Northrop Grumman	2015–2023	США
Полуавтономная	Многофункциональные БВС для мониторинга границ	Создание платформы с радарами, ИК-камерами и	18 участников, включая организации из Румынии,	2020–2023	Румыния (координатор)

Название проекта	Технологический фокус	Результаты/достижения	Участники	Годы реализации	Страна
платформа пограничного наблюдения, объединяющая БВС нового поколения с мультисенсорной системой наблюдения сверхвысокого разрешения [570]		акустическими датчиками для охраны границ ЕС	Германии, Франции, Италии и др.		

Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным открытых источников

Ниже составлены основные технологические проекты на стадии разработки в сфере цифровых технологий обеспечения эксплуатации композитных и гибридных конструкций БВС в мире (Таблица 34).

Таблица 34. Основные технологические проекты на стадии разработки в сфере цифровых технологий обеспечения эксплуатации композитных и гибридных конструкций БВС в мире

Название проекта	Технологический фокус	Ожидаемые результаты	Участники	Годы реализации	Страна
WINGCOPTER . Доставка «последней мили» [595]	Грузовые БВС для доставки «последней мили», цифровизация управления воздушным движением	Разработка системы доставки в труднодоступные районы. Сокращение выбросов CO ₂ . Демонстрация повышения эффективности логистики. Внедрение цифровых решений для управления воздушным движением	Wingcopter GmbH, Европейский Инвестиционный Банк (EIB)	2022–2025	Германия
Европейское совместное внедрение U-Space [596]	U-space услуги U1 и U2, поддержка BVLOS, интеграция с ATM	Масштабирование внедрения U1/U2 сервисов в 15 локациях. Достижение TRL 8. Содействие стандартизации и нормативному регулированию	51 участник, включая EUROCONTROL (координатор), ENAIRE, ENAV, ASLOGIC, ITG, D-Flight, Thales, DLR, Leonardo, Airbus, Honeywell и др.	2022–2025	Бельгия (координатор)
Европейские ключевые	Вертопорты и городская	Разработка процедур и систем	34 участника, включая	2023–2026	Бельгия

Название проекта	Технологический фокус	Ожидаемые результаты	Участники	Годы реализации	Страна
решения для вертопортов и городской воздушной мобильности (UAM) [597]	воздушная мобильность (UAM)	для интеграции вертопортов. Создание стандартов для операций в воздушном пространстве. Демонстрация интеграции UAM в инфраструктуру городов	EUROCONTROL, Volocopter GmbH, AEROPORTI DI ROMA SPA, ENAV SPA, и др.		(координатор)
Управление разделением в U-Space [598]	Управление воздушным пространством БВС	Разработка и валидация сервисов динамического управления пропускной способностью. Демонстрация стратегического и тактического разрешения конфликтов в реальных условиях	23 участника, включая ENAIRE (координатор), Airbus, Boeing и Collins Aerospace	2023–2026	Испания (координатор)
Интерфейс ATM-U-space и служба реорганизации воздушного пространства [599]	Интеграция ATM и U-space, стандартизация обмена данными	Разработка и валидация стандартизированной архитектуры и операционной методологии для ATM-U-space интерфейса. Создание сервиса динамической конфигурации воздушного пространства для предотвращения конфликтов между пилотируемыми и беспилотными воздушными средствами. Демонстрация интеграции U-space и ATM	24 участника, включая Universidad Politécnica de Madrid, Airbus Operations SL и др.	2023–2026	Испания (координатор)
Реализация эталонного дизайна U-Space для Бельгии и Нидерландов [600]	Интеграция БВС в U-space и UAM	Внедрение U-space в контролируемом и городском воздушном пространстве. Демонстрация работы системы в Бельгии	22 участника, включая Skeyes (координатор), SkeyDrone, Airbus, Eurocontrol, Belgian Defence, Port of Antwerp, Future Needs, Helicus, Infrabel, Unify и др.	2022–2025	Бельгия (координатор)
Операции в любом месте [601]	UAM, автономные операции, интеграция U-space	Валидация трех UAM-операций (пилотируемые аэротакси и грузовые БВС) в реальных условиях управления	12 участников, включая AENA S.M.E. SA, ENAIRE, Centro de Referencia Investigación	2023–2026	Чехия (координатор)

Название проекта	Технологический фокус	Ожидаемые результаты	Участники	Годы реализации	Страна
		воздушным движением (TRL7). Демонстрация перехода от пилотируемых к автоматизированным полетам с пятью ключевыми автономными технологиями. Обеспечение экологической устойчивости и оптимизация маршрутов по шуму и энергопотреблению. Поддержка стандартизации, сертификации и социальной приемлемости UAM. Проведение трех демонстрационных мероприятий с ведущими европейскими производителями	Desarrollo e Innovacion ATM, EUROCONTROL		
Обеспечение готовности к выполнению полетных миссий для оперативного реагирования в сфере здравоохранения и критической инфраструктуры с привлечением всех участников цепочки создания стоимости и сервисов U-Space [602]	U-space для экстренных миссий, автоматизация	Разработка инфраструктуры для автоматизированных БВС. Создание Центра управления и автоматизированного порта для БВС. Демонстрация быстрого реагирования для медицины и критической инфраструктуры	34 участника, включая HELICUS BVBA (Бельгия), AVY BV (Нидерланды), SOCIETE ANONYME BELGE DE CONSTRUCTIONS AERONAUTIQUES-S.A.B.C.A. (Бельгия), FLYING-CAM SA (Бельгия)	2023–2026	Бельгия (координатор)
Расширенная автоматизация для интеграции U-Space и систем управления воздушным движением	Интеграция инфраструктуры U-Space и ATM. Цифровой демонстратор неба. Технологии UTM. Автоматизация управления	Подтверждение эффективности транспортных услуг с БВС. Разработка автономных решений для контроля и безопасности. Тестирование и оптимизация систем UAM и UTM. Создание масштабируемой	Future Mobility Campus Ireland (координатор), Deep Blue SRL, Irish Aviation Authority, Collins Aerospace Ireland, Shannon Airport Authority, Avtrain Limited,	2023–2025	Ирландия (координатор)

Название проекта	Технологический фокус	Ожидаемые результаты	Участники	Годы реализации	Страна
(АТМ) [603]	воздушным движением	и модульной платформы для дальнейших разработок	Manna Drones Limited		
Инновации и развитие потенциала в области сельскохозяйственных, экологических и сельских услуг с использованием БВС [604]	Многоцелевое применение БВС в сельском хозяйстве, лесном хозяйстве и сельских районах. ПО и платформы для агро-, эко- и логистических задач	Исследование и демонстрация пяти ключевых сценариев применения БВС в сельском хозяйстве, лесном хозяйстве и сельских сообществах. Развитие и оптимизация программного обеспечения и платформенных компонентов для наблюдения, мониторинга, опрыскивания и доставки	13 участников, включая GEO-PONIKO PANEPISTIMION ATHINON (Греция), WAGENINGEN UNIVERSITY (Нидерланды), REFRAME FOOD (Греция), NOOSWARE BV (Нидерланды) и др.	2022–2026	Греция (координатор)
Цифровые авиатехнологии нового поколения для устойчивого развития [605]	Автономные технологии для воздушного транспорта	Разработка цифровой платформы для оценки бизнес-моделей, соблюдения нормативных требований и обеспечения безопасности новых технологий	11 участников, включая EUROUSC ITALIA SRL, DEEP BLUE SRL, PANEPIS-TIMIO AIGAIU, SAFRAN ELECTRONICS & DEFENSE и др.; 1 партнер (CRANFIELD UNIVERSITY)	2023–2026	Италия (координатор)
Снижение экологического следа с помощью трансформационного многоуровневого авиационного планирования [606]	Оптимизация траекторий полетов авиалайнеров и беспилотных летательных систем с использованием данных об окружающей среде	Разработка аналитической платформы для обработки экологических и метеорологических данных, оптимизация маршрутов	11 участников, включая KUNGLIGA TEKNISKA HOEGSKOLAN (Швеция, координатор), TECHNISCHE UNIVERSITEIT DELFT (Нидерланды), AGENTFLY TECHNOLOGIES SRO (Чехия), FUTURE NEEDS MANAGEMENT CONSULTING LTD (Кипр)	2023–2026	Швеция (координатор)
Подготовка	Устойчивые технологии, умная	Разработка стратегий и политик для интеграции	13 участников, включая Forum Virium	2023–2025	Финляндия (координатор)

Название проекта	Технологический фокус	Ожидаемые результаты	Участники	Годы реализации	Страна
городов к устойчивой городской воздушной мобильности (UAM) [607]	зеленая мобильность	городской воздушной мобильности (UAM), улучшение правления воздушным пространством, повышение общественного принятия	elsinki (ведущий партнер), Национальное земельное управление Финляндии, Университет Аалто, Hamburg Aviation, город Стокгольм, Kista Science City AB, Технический университет Риги, правительство города Тарту		
Сертифицированный дистанционный мониторинг полетов БВС и воздушных судов с использованием E-GNSS [608]	Цифровая система EGNSS/IoT для сертификации треков полетов БВС с использованием Galileo OSNMA и блокчейна	Создание сервиса для генерации сертифицированных отчетов о полетных треках и логах, обеспечение юридической достоверности данных, поддержка безопасности и коммерческих приложений	10 участников, включая TOPVIEW SRL (Италия); Партнеры: UPVISION S.R.O. (Чехия), EUROUSC ESPANA SL (Испания), EUROUSC ITALIA SRL (Италия), ARIA UNITED SRL (Румыния), WAY4WARD SRL (Италия)	2022–2025	Италия (координатор)
Оценка социального и экологического воздействия U-Space [609]	Оценка воздействия городской воздушной мобильности (UAM) на качество жизни; разработка методик и инструментов для измерения и прогнозирования влияния БВС; снижение шума и визуального загрязнения	Разработка KPI и инструментов для оценки социального и экологического воздействия; создание методологии оценки влияния U-Space; проведение кейс-исследований в европейских городах	6 участников, включая NOMMON SOLUTIONS AND TECHNOLOGIES SL (Испания), UNIVERSITAT POLITECNICA DE CATALUNYA (Испания), Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet (Сербия), POLIS (Бельгия), OFFICE NATIONAL D'ETUDES ET DE RECHERCHES AEROSPATIALES (Франция),	2023–2025	Испания (координатор)

Название проекта	Технологический фокус	Ожидаемые результаты	Участники	Годы реализации	Страна
			INGENIERIE GEOGRAPHIQUE NUMERIQUE FRANCAISE A L'INTERNATIONAL (Франция)		
Методология оценки влияния и потенциала U-Space для общественного принятия [610]	Оценка общественного восприятия городской авиамобильности	Разработана методика оценки влияния UAM на городскую среду. Созданы инструменты для анализа: Шумового воздействия; Визуального загрязнения; Безопасности; Социально-экономических факторов. Проведены 3 иммерсивных исследования с гражданами в Афинах	6 участников: ISCTE – Instituto Universitário de Lisboa (Португалия), FUTURE NEEDS MANAGEMENT CONSULTING LTD (Кипр), KUNGLIGA TEKNISKA HOEGSKOLAN (Швеция), TECHNISCHE UNIVERSITEIT DELFT (Нидерланды), ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΚΑΙ ΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ (Греция), ΔΗΜΟΣ ΕΓΓΑΛΕΩ (Греция), AGENTFLY TECHNOLOGIES SRO (Чехия) Партнер: THE UNIVERSITY OF SALFORD (Великобритания)	2023–2026	Португалия (координатор)
Европейский центр тестирования и экспериментов в области искусственного интеллекта и робототехники для умных и устойчивых городов и	Тестирование и валидация ИИ и робототехники для умных и устойчивых городов и сообществ с фокусом на БВС, цифровые двойники, энергетическую инфраструктуру,	Создание европейской тестовой и экспериментальной площадки для ИИ, поддерживающей устойчивое развитие городов и сообществ	Консорциум из 50 участников, включая Imec (Бельгия, координатор), Technical University of Denmark (Дания), RISE (Швеция), Polytechnic University of Valencia (Испания)	2022–2050	11 стран ЕС: Дания, Швеция, Финляндия, Бельгия, Испания, Франция, Италия, Польша, Люксембург,

Название проекта	Технологический фокус	Ожидаемые результаты	Участники	Годы реализации	Страна
сообществ [611]	интероперабельность, безопасность и этику ИИ				Нидерланды, Германия
Проект Next RS [612]	Гиперзвуковые БВС, композитные конструкции, цифровое проектирование	Разработка прототипа гиперзвукового БВС с особой композитной конструкцией, способной выдерживать экстремальные нагрузки; опционально пилотируемый вариант	DARPA	2024–2030 (разработка, прототип – к 2030)	США

Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным открытых источников

Можно утверждать, что главные приоритеты научно-исследовательских организаций западных стран находятся преимущественно в зоне внедрения цифровых технологий для сбора, обработки и анализа больших объемов данных, развития интеллектуальных систем для мониторинга БВС на базе технологий искусственного интеллекта и интернета вещей, а также развития передовых средств моделирования и мониторинга, таких как цифровые двойники.

Организационные приоритеты исследовательских проектов лежат в сфере выстраивания взаимодействия между научно-исследовательскими организациями и частным сектором, усиления сотрудничества между разработчиками из различных стран (внутри ЕС) и ключевой приоритет обеспечения безопасности и создания международных норм для использования БВС.

3.1.2. Крупные проекты и достижения в России

Ключевые события российской отрасли БВС, в первую очередь, связаны с реализацией комплекса мероприятий в рамках Стратегии развития беспилотной авиации до 2030 года и на перспективу до 2035 года [75] и национального проекта «Беспилотные авиационные системы» [76], а также с решением актуальных задач обеспечения технологического суверенитета в условиях санкционных ограничений и сохраняющейся геополитической напряженности. В частности, федеральный проект «Перспективные технологии для беспилотных авиационных систем» [613], определяет базовый набор приоритетных направлений научных исследований и разработок в рассматриваемой области (в т.ч. поддерживаемый грантовыми программами [614,615]).

В рамках федерального проекта «Разработка, стандартизация и серийное производство БАС и комплектующих» [616] предусмотрена поддержка сквозных НИОКР и формирование к 2030 году сети из 48 региональных научно-производственных центров (НПЦ), резиденты которых получают возможность поддержки:

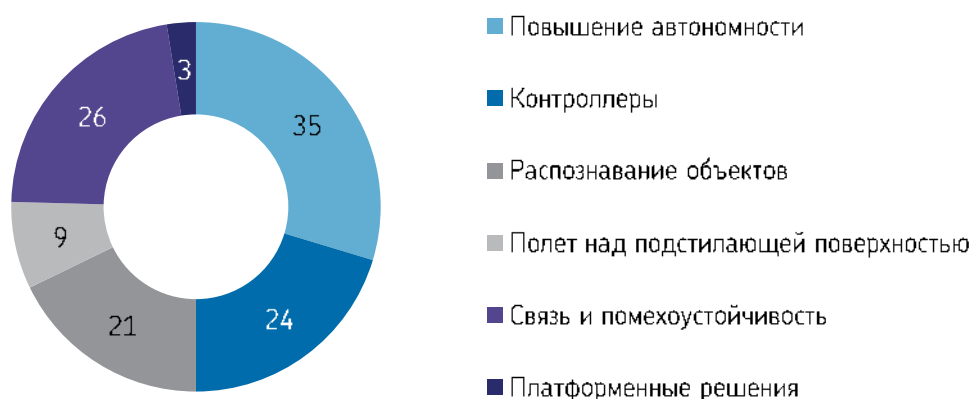
- в форме вклада в уставный капитал на организацию серийного производства БАС;
- в форме гранта и/или вклада в уставный капитал на разработку опытных образцов БАС;
- в форме гранта на разработку прототипов БАС [617].

По состоянию на конец 2024 года, состав НПЦ БАС включает 403 новых организации-резидента, проведено 3 конкурсных отбора проектов, в рамках которых подано 373 заявки на поддержку. В результате заключено 148 договоров на поддержку резидентов на общую сумму 1638 млн руб. При этом в горизонте 2024–2025 годов 118 проектов в той или иной степени связано с применением технологий искусственного интеллекта, в т.ч. по направлениям: повышение автономности, контроллеры, распознавание объектов, полет над подстилающей поверхностью, связь и помехоустойчивость, платформенные решения (Рисунок 35).

К достижениям российской отрасли БВС за 2022–2024 годы также можно отнести появление новых значимых участников рынка. В частности, в 2022 году в рамках партнерства АО «ГТЛК» и Фонда НТИ сформирована организация-эксплуатант беспилотных воздушных судов ООО «Беспилотные авиационные системы» (ООО «БАС») [618].

Отдельно можно отметить создание АО «ГТЛК» маркетплейса беспилотных авиационных судов Налетай.РФ – платформы, объединяющей поставщиков и заказчиков БВС в рамках единой экосистемы. По состоянию на конец 2024 года платформа функционировала в тестовом режиме [74].

Рисунок 35. Тематическая структура проектов резидентов НПЦ БАС в области ИИ



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по материалам Аэронет НТИ [619]

Существенным достижением, способствующим дальнейшему развитию рынка, по оценкам экспертов [620], также является установление экспериментальных правовых режимов (ЭПР), направленных на отработку технологий и сценариев применения беспилотных воздушных судов, в частности – цифровых технологий обеспечения эксплуатации композитных и гибридных конструкций БВС [618]. По состоянию на конец 2024 года, в рамках ЭПР в 24 регионах страны совершено 17 тыс. полетов, в т.ч. реализованы:

- беспилотные авиаперевозки почты и грузов;
- применение сельскохозяйственных БВС;
- применение БВС для перевозки грузов, сельскохозяйственных нужд и тушения пожаров в Ненецком автономном округе, Самарской области и Башкирии;
- беспилотные авиаперевозки в Иннополисе;
- тестирование технологий в рамках проекта «Аэрологистика»;

- тестирование БВС для авиаперевозок, авиационных работ в г. Москве и Нижегородской области [621].

Среди ключевых достижений 2022–2024 годов важно учесть разработку концепции «Цифрового неба России», объединяющей решение ряда регуляторных и технологических задач, таких как:

- сокращение сроков сертификации БВС;
- установление порядка предоставления данных из базы данных учета гражданских БВС государственным органам и физическим лицам;
- определение порядка предоставления актуальной метеорологической информации;
- утверждение требований к оснащению БВС средствами связи;
- установление формы свидетельства внешнего пилота;
- установление порядка получения разрешения на проведение воздушной съемки;
- упрощение применения БВС в сельском хозяйстве [622,623].

В частности, в рамках вышеуказанной концепции в 2024 году проведена серия испытаний, подтверждающая возможность использования для мониторинга и управления БВС системы спутниковой связи [377,619].

Кроме того, на Архипелаге 2024 (Сахалинская область) собран и протестирован прототип системы обеспечения эксплуатации беспилотных авиационных систем, включающий более 26 технических решений, в т.ч. обработку данных от различных источников информации о местоположении и траекториях полета множества БВС в реальном времени [619].

В контексте научно–технологических и производственно–технологических достижений необходимо отметить также запуск целого ряда сквозных НИОКР по разработке и/или переконструированию БВС в 2023–2030 годах для повышения доли отечественных комплектующих не менее 80%:

- БВС мультироторного типа с максимальной взлетной массой до 2 кг, грузоподъемностью до 1 кг и дальностью беспосадочного полета не менее 4 км под задачи защиты периметров важных и стратегических объектов;
- БВС мультироторного типа с максимальной взлетной массой 2 кг, грузоподъемностью 1 кг и дальностью беспосадочного полета с грузом не менее 15 км для широкого спектра применений;
- БВС мультикоптерного типа с максимальной взлетной массой до 100 кг, грузоподъемностью 30 кг и более, в логистической версии с дальностью беспосадочного полета с грузом 10 кг до 50 км и др. [624].

Достижением также можно считать организацию ряда технологических конкурсов, направленных на преодоление барьеров расширения эксплуатации БВС за счет привлечения к решению поставленных задач широкого круга инженерных команд, а также результаты подобных конкурсов. В рамках конкурса НТИ Up Great «Экстренный поиск» преодолен барьер, связанный с дефицитом БВС, способных за ограниченное время в автоматическом режиме проводить поисковые операции на площади 0,5 км², обеспечивая не менее 80% обнаружения искомых объектов при ложноположительных срабатываниях не более 30% [625]. Значимым достижением 2022–2024 годов также является преодоление в рамках конкурса НТИ Up Great «Аэрологистика» технологического барьера, связанного с низкой надежностью БВС, способных поднять массу груза до 50 кг, и низкой

автономностью обслуживания БВС [619,626,627].

Специалисты Ассоциации «АЭРОНЕКСТ» к числу основных достижений и проектов отрасли также относят запуск ряда серийных производств беспилотных воздушных судов (в частности, БВС «Одуванчик», БВС «Рубин А50»), а также их комплектующих.

Ключевые реализованные технологические проекты и научно-технологические достижения в сфере цифровых технологий обеспечения эксплуатации композитных и гибридных конструкций БВС в России представлены ниже (Таблица 35).

Таблица 35. Основные реализованные технологические проекты и научно-технологические достижения в сфере цифровых технологий обеспечения эксплуатации композитных и гибридных конструкций БВС в России

Название проекта	Годы реализации	Технологический фокус	Результаты/достижения	Участники
Технологический конкурс НТИ Up Great «Аэрологистика»	2022-2024	Повышение автономности БВС за счет программно-аппаратных средств управления полетом и обработки данных, в т.ч. на базе искусственного интеллекта	Разработка и испытание в ЭПР комплекса решений, критически важных для начала широкого применения БВС в России в целях перевозки грузов: Реализована функция x1,5 DAA – бортового решения для обнаружения и избегания столкновений, позволяющего безопасно выполнять полеты за пределами прямой видимости (BVLOS). Обеспечен рост надежности БВС в 6 раз. Разработана и апробирована технология старта 1 кнопкой. Обеспечена дистанционная загрузка задания; Реализован безэкипажный взлет с площадки	Фонд НТИ, Ассоциация «АЭРОНЕКСТ» (операторы конкурса), АО «НПП «Радар ммс» (победитель конкурса), всего 28 команд-участников и 11 победителей и призеров [619,626,627]
Технологический конкурс НТИ Up Great «Экстренный поиск»	2023	Системы технического зрения, дополненные ИИ-алгоритмами, позволяющие БВС действовать в неизвестной и/или динамично изменяющейся среде	Разработка и испытание систем с использованием БВС и технического зрения, которые помогут решать задачу поиска пропавших людей в малонаселенной местности: Разработано ПО для обнаружения людей на фотографиях местности, полученных с БВС. Разработано комплексное	Фонд НТИ, МФТИ, добровольческий поисково-спасательный отряд «Лиза-Алерт» (организаторы конкурса), АНО «ЦППЛ», Платформа НТИ, АСИ, ПИШ РПИ МФТИ (партнеры конкурса), 267 ко-манд-участников,

Название проекта	Годы реализации	Технологический фокус	Результаты/ достижения	Участники
			решение на базе БВС, которое может за ограниченное время в автоматическом режиме находить людей на площади 0,5 км². Количество обнаруженных объектов составляет не менее 80% при ложноположительных срабатываниях не более 30%	победитель – команда KugAI [625]
Передача команд управления БВС через спутниковую систему	2024	Спутниковые системы связи	Подтверждена возможность использования системы спутниковой связи «Гонец» для мониторинга и управления БВС «Геоскан 201» в рамках концепции цифрового неба: Обеспечена достоверная передача данных. Обеспечена техническая возможность интеграции бортового оборудования на малые БВС за счет конструктивной доработки абонентского оборудования, включая уменьшение габаритов бортовой антенны. Реализован функционал передачи команд о корректировке параметров полета. Подтверждена возможность идентификации БВС в воздушном пространстве; данные телеметрии, полученные через систему «Гонец», позволяют восстановить истинную траекторию полета БВС и могут отображаться в UTM сервисах	ГК «Геоскан», АО «Спутниковая система «Гонец» [377,619]
Запуск серийного производства АКБ ООО «Пасека»	2024	Увеличение продолжительности полета за счет увеличения срока службы батареи и совершенствования работы	Запуск серийного производства литий-ионных аккумуляторов, которые могут использоваться в БВС, электромобилях, средствах индивидуальной мобильности	ООО «Пасека» (Группа компаний «Гаскар») [74,628]

Название проекта	Годы реализации	Технологический фокус	Результаты/достижения	Участники
		двигателя	и специальной технике. К концу 2024 г. объем производства оценивается в 90 тыс. АКБ. В 2025 г. планируется произвести 180 тыс. шт., а с 2026 – по 250 тыс. шт. ежегодно	
БВС «Одуванчик»	2022-2024	Разработка новых моделей БВС, оптимизация конструкции, в т.ч. за счет использования передовых композиционных материалов и применения модульного подхода	Запуск серийного производства БВС «Одуванчик», включающих 3 БВС вертолетного типа, которые могут нести различную полезную нагрузку и решать задачи тактического уровня. Отличительная особенность модели – соосная схема несущих винтов, соответственно, точка опоры находится между лопастями, что позволяет использовать БВС при силе ветра до 18 м/с и ливнях	АО «АТРИ» [74,629,630]
БВС «Рубин А50»	2024	Разработка новых моделей БВС, оптимизация конструкции, в т.ч. за счет использования передовых композиционных материалов и применения модульного подхода	Запуск серийного производства мультироторных БВС «Рубин А50», предназначенных для внесения средств защиты растений (СЗР) по технологии ультрамалообъемного опрыскивания. БВС оснащено сенсорной системой обнаружения препятствий для предотвращения столкновений, что позволяет выполнять маневры облета, а внутренняя система управления – следовать заранее заложенным маршрутом	Холдинг Т1 [542,631]

Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным открытых источников

По результатам проведенного Инфраструктурным центром «Технет» опроса представителей рынка были выделены следующие ключевые события отрасли в 2024 году:

- утверждение Постановления Правительства Российской Федерации от 30.11.2024 №1701 «Об утверждении требований к оснащению пилотируемых воздушных судов и беспилотных авиационных систем оборудованием связи, навигации, наблюдения.

автоматического предотвращения столкновений, к оснащению беспилотных авиационных систем оборудованием удаленной идентификации и оборудованием линий управления беспилотными авиационными системами и контроля беспилотных авиационных систем, средствами криптографической защиты информации, сертифицированными в соответствии с требованиями федерального органа исполнительной власти в области обеспечения безопасности, и Правил оснащения пилотируемых воздушных судов и беспилотных авиационных систем оборудованием, предусмотренным пунктом 1 статьи 78.3 Воздушного кодекса Российской Федерации»;

- утверждение Национального проекта «Беспилотные авиационные системы», в т.ч. реализация государственного гражданского заказа на БАС в рамках проекта;
- поддержка Фондом Национальной технологической инициативы проектов по БАС, в т.ч. финансирование в рамках конкурса Фонда НТИ для резидентов НПЦ;
- проведение проектно-образовательного интенсива «Архипелаг»;
- проведение отраслевого форума по развитию беспилотной авиации «АЭРОНЕКСТ»;
- активизация программ импортозамещения БВС;
- появление новых технологий: автономных дронов с ИИ (Skydio X10D), лидара с точностью 1 см (DJI Zenmuse L2);
- внедрение в Европе платформы U-space для автоматизации управления и интеграции БВС;
- сертификация БВС в реестре гражданской авиации;
- запрет использования БВС в гражданских целях в ряде регионов Российской Федерации, в т.ч. в связи с принятием мер «Антидрон».

Ниже представлены проекты, находящиеся на стадии разработки (Таблица 36).

Таблица 36. Основные технологические проекты на стадии разработки в сфере цифровых технологий обеспечения эксплуатации композитных и гибридных конструкций БВС в России

Название проекта	Технологический фокус	Ожидаемые результаты	Участники	Годы реализации	Этап/ текущее состояние
Технологический конкурс НТИ Up Great «Автономный поиск»	Повышение автономности БВС за счет программно-аппаратных средств управления полетом и обработки данных, в т.ч. на базе искусственного интеллекта	Создание системы, которая сможет за ограниченное время находить людей на местности, обрабатывая визуальные данные и принимая решения на борту БВС без использования ГНСС и связи с внешним оператором	Фонд НТИ, МФТИ, добровольческий поисково-спасательный отряд «Лиза-Алерт» (организаторы конкурса), команды-участники (набор продолжается)	2024-2026	Полевые испытания БВС, приближенные к реальной поисково-спасательной операции (прием заявок) [632]
Система обеспечения эксплуатации	Комплексные платформенные программно-аппаратные решения: интеграция современных	Обеспечение возможности одновременного и безопасного использования воздушного пространства	АО «ГТЛК», ООО «Аэролинк», Фонд НТИ, ООО «Транспорт	2024-2027	Собран и протестирован прототип [619]

Название проекта	Технологический фокус	Ожидаемые результаты	Участники	Годы реализации	Этап/ текущее состояние
БАС (СОЭ БАС)	систем навигации и связи БВС и независимой системы наблюдения и позиционирования с быстро-разворачиваемой наземной инфраструктурой	эксплуатантами БВС наравне с пилотируемой авиацией	будущего»		
МР-2-1-4-ЭД	Системы технического зрения, дополненные ИИ-алгоритмами, позволяющие БВС действовать в неизвестной и/или динамично изменяющейся среде	Разработка/ производство БАС с БВС мультироторного типа с максимальной взлетной массой до 2 кг, грузоподъемностью до 1 кг и дальностью беспосадочного полета не менее 4 км для защиты периметров важных и стратегических объектов	ООО «Е11», ООО «Геоскан» (потенциальные участники)	2023-2030	Локализация производства 50% (цель к 2030 г. – 90%) УГТ 8 (цель к 2026 г. – УГТ9)
МР-2-1-15-ЭД	Отработка технологических решений для локализации и массового производства всех компонентов мультироторных БВС легкого класса	Разработка БАС с БВС мультироторного типа с максимальной взлетной массой до 2 кг, грузоподъемностью до 1 кг и дальностью беспосадочного полета не менее 15 км для образовательных, картографических, складских и развлекательных задач	ООО «Геоскан»	2023-2030	Локализация производства 60% (цель к 2030 г. – 90%) УГТ 8 (цель к 2026 г. – УГТ 9)
МР-100-30-50-ЭД	Отработка технологических решений для локализации и массового производства всех компонентов тяжелых БВС мультикоптерного типа. Оптимизация конструкции, в т.ч. за счет использования переловых композиционных материалов	Разработка БАС с БВС мультикоптерного типа среднего класса с максимальной взлетной массой до 100 кг, грузоподъемностью от 30 кг и дальностью беспосадочного полета с нагрузкой 10 кг до 50 км для выполнения сельскохозяйственных	ООО «Агри-макс.Аэро» (консорциум, объединяющий нескольких разработчиков систем мультироторного типа)	2023-2030	Локализация производства 50% (цель к 2030 г. – 100%) УГТ 8 (цель к 2026 г. – УГТ 9)

Название проекта	Технологический фокус	Ожидаемые результаты	Участники	Годы реализации	Этап/текущее состояние
		работ, логистических задач на регулярных маршрутах и применения в силовых структурах и МЧС			
MP-700-200-100-ЭД	Отработка технологических решений для локализации и массового производства всех компонентов тяжелых БВС мультикоптерного типа. Оптимизация конструкции, в т.ч. за счет использования передовых композиционных материалов	Разработка БАС с БВС мультикоптерного типа большой взлетной массой до 700 кг, грузоподъемностью 200 кг и дальностью беспосадочного полета не менее 100 км для решения задач грузových перевозок на большие расстояния, транспортировки людей на средние дистанции и применения в агросекторе для внесения веществ в сельхозугодья	ООО «Транспорт Будущего» ООО «Промышленные дроны»	2023-2030	Локализация производства 65% (цель к 2030 г. – 100%) УГТ 8 (цель к 2026 г. – УГТ 9)
BP-30-10-100-ЭД	Оптимизация конструкции БВС, в т.ч. за счет использования передовых материалов. Отработка технологических решений для локализации и массового производства всех компонентов тяжелых БВС вертолетного типа	Разработка БАС с БВС вертолетного типа с максимальной взлетной массой до 30 кг, грузоподъемностью 10 кг и дальностью беспосадочного полета не менее 100 км для выполнения химработ в сельском хозяйстве, ретрансляции связи и малой аэрологистики	АО НПП «Радар ммс»	2023-2030	Локализация производства 65% (цель к 2030 г. – 100%) УГТ 8 (цель к 2026 г. – УГТ 9)
BP-100-25-200-ДВС	Разработка и адаптация средних БВС под задачи перевозки средних грузов с неподготовленных посадочных площадок. Оптимизация конструкции БВС, в т.ч. за счет	Разработка БАС с БВС вертолетного типа с максимальной взлетной массой до 60 кг, грузоподъемностью 25 кг и дальностью беспосадочного полета не менее 300 км,	ООО «Е11»	2023-2030	Локализация производства 30% (цель к 2030 г. – 80%) УГТ 7 (цель к 2026 г. – УГТ 8)

Название проекта	Технологический фокус	Ожидаемые результаты	Участники	Годы реализации	Этап/текущее состояние
	использования передовых материалов	обеспечивающей перевозку средних грузов с неподготовленных посадочных площадок			
ВР-200-50-300-ДВС	Разработка и адаптация тяжелых БВС под задачи перевозки средних грузов с неподготовленных посадочных площадок. Оптимизация конструкции БВС, в т.ч. за счет использования передовых материалов	Разработка БАС с БВС вертолетного типа средней взлетной массой до 200 кг, грузоподъемностью 50 кг и дальностью беспосадочного полета не менее 300 км для аэрологистики с перевозкой средних грузов с неподготовленных посадочных площадок	ООО «ОМНИ-ТЕХ»	2023-2030	Локализация производства 30% (цель к 2030 г. – 95%) УГТ 7 (цель к 2026 г. – УГТ 8)
ВР-500-100-400-ДВС	Разработка и адаптация тяжелых БВС под задачи перевозки грузов на дальние расстояния с неподготовленных посадочных площадок	Разработка БАС с БВС вертолетного типа максимальной взлетной массой до 500 кг, грузоподъемностью 100 кг и дальностью беспосадочного полета с грузом не менее 400 км для аэрологистики с перевозкой среднетяжелых грузов с неподготовленных посадочных площадок	АО НПП «Радар ммс»	2023-2030	Локализация производства 50% (цель к 2030 г. – 80%) УГТ 8 (цель к 2026 г. – УГТ 9)
СВВП-100-30-500-ЭД-ДВС	Разработка и оптимизация конструкции БВС типа VTOL среднего класса под задачи перевозки грузов на дальние расстояния	Разработка БАС с БВС с максимальной взлетной массой 100 кг, грузоподъемностью 25 кг и дальностью беспосадочного полета с грузом не менее 400 км для картографирования крупных инфраструктур и мониторинга сельскохозяйственных площадей, лесных	АО «Эколибри»	2023-2030	Локализация производства 50% (цель к 2030 г. – 80%) УГТ 8 (цель к 2026 г. – УГТ 9)

Название проекта	Технологический фокус	Ожидаемые результаты	Участники	Годы реализации	Этап/текущее состояние
		пожаров и стихийных бедствий			
СВВП-2000-500-1000-ЭД	Разработка и оптимизация конструкции БВС типа VTOL тяжелого класса под задачи перевозки пассажиров и грузов на дальние расстояния	Разработка БАС с БВС массой до 2000 кг, грузоподъемностью 500 кг и дальностью беспосадочного полета с грузом не менее 400 км для местных и региональных воздушных линий, с целью обеспечения эффективной транспортировки грузов и пассажиров без необходимости взлетно-посадочной полосы	АО «Эколибри»	2023-2030	Локализация производства 50% (цель к 2030 г. – 80%) УГТ 8 (цель к 2026 г. – УГТ 9)
СМ-20-3-400-ДВС	Оптимизация конструкций легких БВС самолетного типа, в т.ч. с применением композиционных материалов. Оработка технологических решений для локализации и массового производства компонентов БВС	Разработка БАС с БВС, имеющим максимальную взлетную массу 20 кг, грузоподъемность 3 кг и дальность беспосадочного полета с грузом не менее 400 км, который может использоваться для выполнения мониторинговых миссий протяженных линейных объектов и сбора геопространственных данных	ООО «Геоскан»	2023-2030	Локализация производства 50% (цель к 2030 г. – 80%) УГТ 9 (2025 г.)
СМ-150-50-1000 ДВС	Оптимизация конструкций средних БВС самолетного типа, в т.ч. с применением композиционных материалов.	Разработка БАС с БВС имеющим максимальную взлетную массу 150 кг, грузоподъемность не менее 50 кг и дальность беспосадочного полета с грузом не менее 1000 км для выполнения мониторинговых миссий протяженных линейных объектов и сбора	АО НПП «Радар ммс»	2023-2030	Локализация производства 50% (цель к 2030 г. – 80%) УГТ 9 (2025 г.)

Название проекта	Технологический фокус	Ожидаемые результаты	Участники	Годы реализации	Этап/текущее состояние
		геопространственных данных			
СМ-100-20-300-ГТД	Оптимизация конструкций средних БВС самолетного типа, в т.ч. с применением композиционных материалов. Оработка технологических решений для локализации и массового производства компонентов БВС	Разработка БАС на турбореактивном двигателе с БВС самолетного типа, имеющим максимальную взлетную массу 100 кг, грузоподъемность 20 кг и дальность беспосадочного полета с грузом не менее 300 км. Такие аппараты предназначены для оперативного реагирования в чрезвычайных ситуациях	ООО «Е11»	2023-2030	Локализация производства 75% (цель к 2030 г. – 100%) УГТ 8 (цель к 2026 г. – УГТ 9)
СМ-1000-300-1000-ДВС1-ЛОГ	Оптимизация конструкций тяжелых БВС самолетного типа, в т.ч. с применением композиционных материалов. Оработка технологических решений для локализации и массового производства компонентов БВС	Разработка амфибийной БАС с БВС самолетного типа, имеющим максимальную взлетную массу 1000 кг, грузоподъемность не менее 300 кг и дальность беспосадочного полета с грузом не менее 1500 км. Система предназначена для выполнения различных задач, включая логистику и аварийно-спасательные операции	АО НПП «Радар ммс»	2023-2030	Локализация производства 80% (цель к 2030 г. – 90%) УГТ 9 (2025 г.)

Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным открытых источников

Общее число проектов, реализуемых в последние годы, свидетельствует об активном развитии отрасли БВС. При этом значимыми направлениями развития остаются задачи локализации производства, а также преодоление технологических, экономических, социальных, инфраструктурных и регуляторных барьеров и вызовов. Ключевыми областями технологической фокусировки, как уже было сказано выше, становятся:

- повышение автономности БВС за счет программно-аппаратных средств управления полетом и обработки данных, в т.ч. на базе искусственного интеллекта;
- оптимизация конструкции, в т.ч. за счет использования передовых композиционных

материалов и применения модульного подхода;

- увеличение продолжительности полета за счет увеличения срока службы батареи и совершенствования работы двигателя;
- реорганизация систем связи: стандартизация протоколов и использование современных и перспективных сетей мобильной связи;
- развитие технологий производства БВС, в частности за счет использования аддитивных технологий и наращивания доли композиционных материалов.

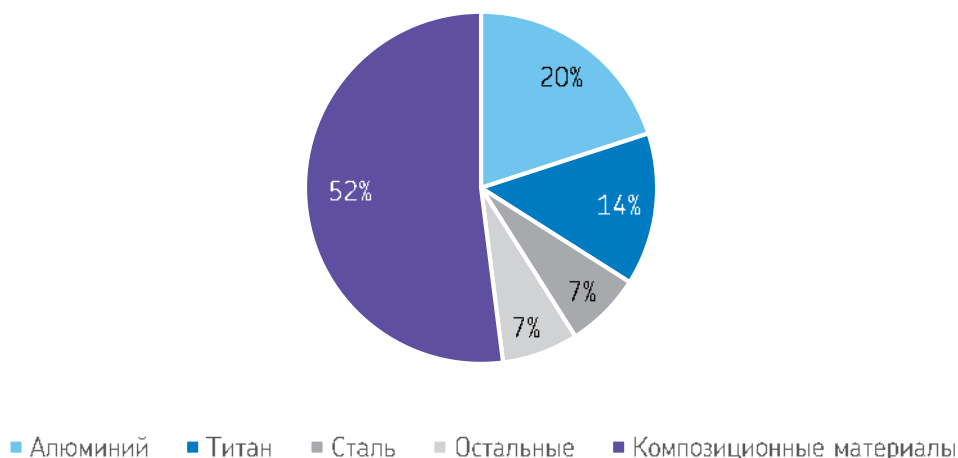
В то же время, необходимо учитывать, что значительная часть российских проектов, относящихся непосредственно к области разработки и создания беспилотных воздушных судов и цифровых технологий обеспечения эксплуатации композитных и гибридных конструкций БВС, относится к сфере специального и двойного назначения, что накладывает ограничения на доступность информации в открытых источниках (новостных, аналитических, научных публикациях и др.).

ГЛАВА 4. ОСОБЕННОСТИ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ РАЗРУШЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С УЧЕТОМ УДАРНЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ

В четвёртой главе проведён анализ современных методов автоматизированного проектирования, с применением современного численного моделирования при проектировании композитных и гибридных конструкций БВС для развития цифровых технологий обеспечения безопасной эксплуатации композитных и гибридных конструкций БВС.

Использовать композиционные материалы в самолётостроении начали ещё в 30-х годах прошлого века с использования стеклопластика, а в 1961 году появились композиционные материалы на основе углеродного волокна, углепластик стал альтернативой тяжеловесным металлам. К восьмидесятым годам углепластик в самолётостроении стали применять повсеместно. Доля композиционных материалов в готовых изделиях росла и в настоящее время достигает в ряде случаев более 50%. Например, соотношение материалов, использующихся в конструкции Airbus A350 [633] (Рисунок 36). В самолёте Boeing 787 Dreamliner наблюдается схожее соотношение: 50% – композиционные материалы, 20% – алюминий, 15% – титан, 10% – сталь, 5% – остальные материалы.

Рисунок 36. Соотношение материалов, использующихся в конструкции Airbus A350 (52 % композиционные материалы)



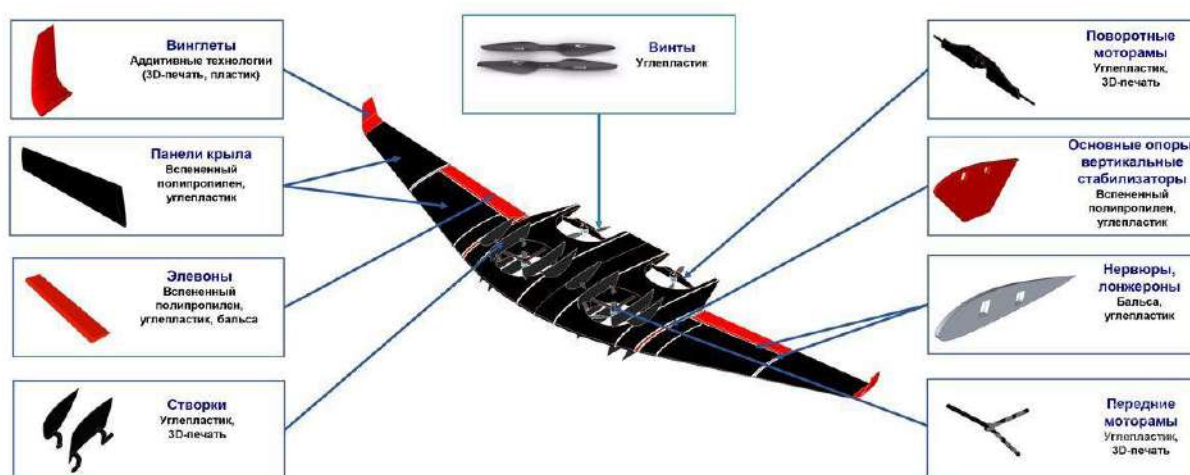
Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по материалам открытых источников [633], 2025

В настоящее время в связи с ростом рынка беспилотной авиации в Российской Федерации и её роли становится актуальной задача по снижению стоимости и сроков разработки БВС наряду с повышением безопасности их эксплуатации и эффективности разрабатываемых конструкций. Требования по ускоренному внедрению БВС могут быть обеспечены путем повышения достоверности получаемых в процессе проектирования результатов цифрового/ компьютерного моделирования. Особое значение имеют задачи обеспечения безопасной эксплуатации композитных и гибридных конструкций беспилотных воздушных судов (БВС).

В современных летательных аппаратах используются ткани и препреги на основе углеродных

волокон, а также другие композиционные материалы. Применение композиционных материалов в конструкциях обеспечило новый качественный скачок в увеличении летно-технических характеристик (далее – ЛТХ) летательных аппаратов при уменьшении их массы. Кроме увеличения ЛТХ и снижения массы аппаратов, можно отметить ещё устойчивость к коррозии, высокие усталостные характеристики и износостойкость, использование композиционных материалов позволяет добиться улучшения всех этих характеристик и повысить надёжность БВС и безопасность полётов. Например, в 2024 году специалисты ПИШ СПбПУ «Цифровой инжиниринг» в инициативном порядке разработали линейку многофункциональных беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) «Снегирь» с вертикальным взлетом-посадкой и горизонтальным полетом в самолетном режиме (Рисунок 37).

Рисунок 37. Основные силовые элементы и материалы БПЛА- Снегирь



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» СПбПУ по материалам ПИШ СПбПУ «Цифровой инжиниринг» [634], 2025

В связи с этим актуальными являются задачи по разработке методологических основ цифрового проектирования конструкций беспилотных воздушных судов. Развитие этой технологии позволит обеспечить ускоренное и эффективное проектирование БВС в рамках единого подхода к обеспечению безопасности конструкции по условиям прочности, применяя особенности численного моделирования процессов разрушения композиционных материалов с учетом ударных повреждений.

Формирование предварительных методологических основ разработки цифровых моделей в части расчета динамических процессов ударного воздействия на композитную конструкцию и оценки несущей способности конструкций с учетом ударного повреждения

Изменения в отрасли, новые цифровые технологии и промышленные переходы требуют эффективного моделирования новых функциональных и высокопроизводительных материалов (таких как композиционные материалы). Расширенное многомасштабное моделирование композиционных материалов сопряжено с рядом проблем, решение которых требует междисциплинарной основы из материаловедения, механики, цифрового моделирования, а также учёта новых экспериментальных методов и новых подходов к анализу данных. Эти материалы часто демонстрируют сложное

поведение из-за взаимодействия между различными материалами, технологиями и производственными процессами.

Применение композиционных материалов даёт ряд преимуществ, но проектирование конструкций из них связано с рядом особенностей и проблем. Композиционные материалы являются гетерогенными (неоднородными) материалами, поэтому свойства каждой фазы и микроструктура материала оказывают существенное влияние на его характеристики, одна из фаз (обычно это матрица) имеет нелинейные свойства, которые приводят к нелинейным характеристикам всего композиционного материала. Анизотропия свойств, которая определяется неравномерной ориентацией включений в композиционном материале (неоднородной микроструктурой), сложный механизм и мгновенный характер разрушения таких материалов, а также сильная зависимость микроструктуры материала в каждой точке конструкции от выбранной технологии и параметров изготовления детали. Всё это создаёт сложность с получением реальных характеристик (механических, тепловых, электрических и др.) для таких материалов [635].

Для моделирования микромеханики разрушения и прочности для композиционных материалов (далее – КМ), включая ударную и усталостную прочность важное значение имеет рассмотрение материала на микроуровне и концепция многомасштабного моделирования. Описание на микроуровне отдельных механизмов микромеханики разрушения позволяет перейти к исследованию кинетики дефектов – изучению изменений в концентрации и распределении дефектов в КМ во времени, а также к изучению накопления и распространения дефектов, этому посвящено важное современное научное направление – механика повреждений как объединение механики деформируемого твердого тела, микромеханики разрушений и вычислительной механики (Damage Mechanics, Continuum Damage Mechanics, Computational Continuum Damage Mechanics) [636,637].

Важной особенностью являются переходы между масштабами (уровнями моделирования) и необходимость учёта этой много масштабности при проектировании. Переход от макро– к мезо– и микромасштабам требует бесшовной интеграции моделей для точного отражения поведения материалов в различных масштабах длины. Этот переход создает проблемы с точки зрения поддержания согласованности и точности во всех масштабах. Изменчивость свойств материалов, возникающая из-за таких факторов, как производственные отклонения, дефекты и неоднородности, вносит неопределенность в процесс моделирования, необходимо учитывать эту изменчивость и ее влияние на эксплуатационные характеристики материалов, что усложняет моделирование.

Ряд важных математических формулировок нельзя применить на макроуровне, это ставит перед разработчиками и материаловедами важную проблему как связать уровень описания микронеоднородного КМ и уровень описания изделия (макро–неоднородную конструкцию, содержащую микронеоднородный КМ), для описания этого перехода между уровнями используется термин «мост» (μ -M bridge), именно для этого служит m-уровень, мезо-уровень (Рисунок 38). Особенность изделий из КМ характеризует классическая парадигма «материал–конструкция–технология», при цифровом моделировании КМ, как правило идёт опора на эту парадигму, материал–конструкция–технология рассматриваются и проектируются сразу как для одного целого [638].

Рисунок 38. Концепция уровней многомасштабного моделирования для КМ



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» СПбПУ по материалам [639–646], 2025

В настоящее время можно выделить четыре уровня экспериментальных исследований композиционных материалов и конструкций из них. Первый уровень – определение характеристик монослоя и накопление данных о материалах (общая квалификация). Второй уровень – это испытания образцов, технология изготовления которых соответствует технологии изготовления изделия (специальная квалификация). Третий уровень заключается в испытаниях конструктивно-подобных образцов, то есть образцов, непосредственно, вырезаемых из элементов конструкций. На четвертом этапе проводятся испытания изделий.

Основным подходом к группировке критериев разрушения ПКМ можно выделить деление на следующие группы [647]: по предельным значениям (критерий максимальных, критерий максимальных деформаций, критерий Stowell–Liu, критерий Kelly–Davies и др.) [648,649] по объединенным значениям (полиномиальный критерий по теории Захарова–Малмейстера, критерий Цая–Хилла (Tsai–Hill), критерий Аззи–Цая–Хилла (Azzi–Tsai–Hill), критерий Ханкинсона (Hankinson), критерий Цай и Ву (Tsai–Wu), критерий Коуина (Cowin), Критерий Норриса (Norris) и др.) [650–656] и по виду разрушения, когда разрушение матрицы и волокон рассматриваются отдельно, также отдельно исследуется разрушение этих элементов при сжатии или растяжении (критерий Пака, Критерий Хашина (Hashin), критерий Кунце (Cuntze) и др.) [657–661].

Приведенные критерии можно разделить на критерии по предельным значениям (не требующие сложных вычислений или проведения дополнительных экспериментальных исследований), критерии по объединенным значениям (объединяющие значения компонент тензора напряжений в общем, легко анализируемое, полиномиальное уравнение) и критерии по виду разрушения – наиболее сложные, кусочно-заданные функции, рассматривающие различные виды разрушения отдельно.

Типовые повреждения в результате удара, в свою очередь можно разделить на несколько типов:

- Видимые на поверхности типы разрушения:
 - вмятина;
 - растрескивания/ трещины;
 - расщепления и расслоения (обычно для ПКМ со слоями из однонаправленной ленты);
 - большие трещины и разрушение волокон, вмятина/пробоина.

- Внутренние типы разрушения (неразрушающий контроль):

- расслоение;
- трещины.

Методика испытаний для плоских образцов на сжатие после удара едина, в мире она описана и проводится по стандарту ASTM D7137, в России она описана в ГОСТ 33495–2015 [662]. ASTM D7137 стандартный метод испытания, разработанный Американским обществом по испытаниям и материалам (ASTM). Он определяет остаточную прочность на сжатие поврежденных полимерных матричных композитных панелей после воздействия ударных нагрузок. Свойства, полученные с помощью этого метода испытаний, в значительной степени зависят от нескольких факторов, от геометрии образца, укладки, типа повреждения, размера повреждения, местоположения повреждения и граничных условий. В связи с этим результаты, как правило, не масштабируются на другие конфигурации и зависят от комбинации геометрических и физических условий испытаний.

По характеру методов можно выделить разрушающие [663–665] и неразрушающие [666–668]. Согласно ГОСТ Р 56542–2015 и ГОСТ Р 56542–2019 выделяют несколько **видов неразрушающего контроля** в зависимости от физических явлений, положенных в его основу:

- акустический;
- виброакустический;
- вихретоковый;
- магнитный;
- оптический;
- проникающими веществами;
- радиационный;
- радиоволновой;
- тепловой;
- электрический.

Методы неразрушающего контроля каждого вида классифицируют по следующим признакам:

- характеру взаимодействия физических полей или веществ с контролируемым объектом. Под характером взаимодействия физического поля или вещества с контролируемым объектом подразумевается непосредственное поле или вещества с контролируемым объектом, но не с проникающим веществом;
- первичным информативным параметрам. Под первичным информативным параметром подразумевается одна из основных характеристик физического поля или проникающего вещества, регистрируемая после взаимодействия этого поля или вещества с контролируемым объектом;
- способам получения первичной информации. Под первичной информацией подразумевается совокупность характеристик физического поля или проникающего вещества, регистрируемая после взаимодействия этого поля или вещества с контролируемым объектом.

Неразрушающие методы позволяют обеспечить контроль изделий, выявить изменение свойств в изделии с учётом влияния внешних факторов и дают возможность оценить свойства материала в любых зонах изделия. Надёжными методами обнаружения несплошностей в слоистых элементах

конструкций являются акустические методы неразрушающего контроля: ультразвуковой метод, импедансный метод, методы собственных колебаний, отражения и/или прохождения сигнала. Рентгенографический метод неразрушающего контроля позволяет выявить дефект, однако, дефектоскопист не сможет уверенно определить с какой стороны образца имеется расслоение. Радиографический метод часто неэффективен при обнаружении дефектов типа расслоений. Чаще всего, радиографическим методом, обнаруживают пустоты, раковины, инородные включения и трещины в композитных конструкциях. В лучшем случае, методы неразрушающего контроля позволяют выявлять слабые места конструкции, но не позволяют достоверно прогнозировать влияние обнаруживаемых дефектов на несущую способность конструкции.

В XX веке вклад в развитие механики композитов внесли такие учёные, как Б.Д. Аннин, В.В. Болотин, Л. Браутман, Г.А. Ванин, В.В. Васильев, Э.И. Григолюк, Ю.И. Димитриенко, П.А. Зиновьев, В.Д. Протасов, Ю.Н. Работнов, В.П. Тамуж, Ю.М. Тарнопольский, Н. Пейгано, Б.Е. Победря, А.М. Timonin и др. [669–671]. С развитием вычислительных мощностей расширились возможности цифрового проектирования и компьютерного моделирования, и для снижения общей стоимости разработки и ускорения вывода продуктов на рынок, с сохранением и даже повышением безопасности и ресурса пользования, необходимы целенаправленные исследования, направленные на разработку эффективных конструктивно-технологических решений и расчётно-экспериментальных методов обеспечения прочности.

В программных МКЭ-пакетах осуществляется построение модели композитной конструкции и анализ ее прочности по имеющимся критериям, также существуют отдельные программные продукты, в которых отсутствует возможность построения моделей, но они служат для различного специализированного анализа конечно-элементных моделей для других программных комплексов. В таких специализированных программах количество предлагаемых для анализа критериев может достигать нескольких десятков, что позволяет выбирать наиболее подходящий вариант. Ряд работ показывает, что результаты численного и экспериментального моделирования достаточно хорошо совпадают [672].

Одним из современных критериев является критерий LaRC [673,674]. Он был разработан в Исследовательском центре НАСА в Лэнгли (NASA Langley Research Center). Данный критерий основан на той же концепции, что и критерии Пака и Хашина, с его помощью рассматривается раздельное разрушение волокон и матрицы, а также используется принцип плоскости разрушения Пака для анализа разрушения между волокнами. При этом при рассмотрении сжатия волокон возможен вариант разрушения от волнообразного перегиба волокон при локальной потере устойчивости в одном направлении – так называемый *kinking*. Путем вычисления смещения и поворота волокон под нагрузкой при потере устойчивости этот критерий применяется для разрушения матрицы уже в повернутой системе координат.

Критерии LaRC03 (2-D) представляют набор критериев прочности для армированных волокнами композитов. Данный критерий основан на физических моделях для каждой формы разрушения и имеет различия для волокон и матрицы, при растяжении и сжатии в продольном и поперечных направлениях. Для моделирования межслоевого взаимодействия в расчетном программном обеспечении используются два подхода [675–677]:

- моделирование взаимодействия с использованием клеевого контакта с возможностью

- разрушения;
- когезионные элементы.

Оба подхода реализуют билинейное описание поведения материала с использованием смешанного квадратичного критерия разрушения (расслоения).

Механический отклик материала получается с помощью конечно-элементного анализа представительных элементов объема (ПЭО, Representative Volume Element, RVE) микроструктуры. Основной механизм деформации и повреждения, экспериментально наблюдаемый в компонентах, вводится в моделирование с элементами интерфейса (для моделирования декогезии интерфейса) или соответствующих конститутивных моделей для учета пластической деформации и разрушения матрицы и волокон. При помощи этого подхода прогнозируют местоположение разрушения однонаправленных слоев в КМ, подвергаемых различным условиям нагрузки в плоскости и вне плоскости [644]. Подходы вычислительной микромеханики также применяются для определения сопротивления разрушению материала [678,679].

На рынке коммерческого программного обеспечения есть много программ, работающих с композиционными материалами на макроуровне, на уровне его интегральных характеристик (свойства слоя, свойства пакета, осредненные свойства КМ и т.д.). К такому программному обеспечению относятся, например, и решения MSC Software (входит в Hexagon AB): MSC Nastran, Marc, Dytran, Apex (Таблица 37).

Таблица 37. Основные критерии для численного описания разрушения полимерных композиционных материалов (реализация у основных разработчиков ПО)

Программное Обеспечение	Ansys	Abaqus (Dassault Systemes SE)	MSC. Nastran (MSC Software)	NX Nastran (Siemens)	Nastran In-CAD (Autodesk)	Helius (Autodesk)	COMSOL	Hyper Works (Altair)
Наименование критерия								
Максимальные напряжения	+	+	+	+	+	+	+	+
Максимальные деформации	+	+	+	+	+	+	+	+
Цай-Бу (Tsai-Wu)	+	+	+	+	+	+	+	+
Цай-Хилла (Tsai-Hill)	+	+	+	+	+	+	+	+
Аззи-Цай-Хилла (Azzi-Tsai-Hill)	–	+	–	–	–	–	+	–
Хоффмана (Hoffman)	+	+	+	+	+	–	+	+
Хашина (Hashin)	+	–	–	–	–	+	–	+
Пака (Puck)	+	–	–	+	+	+	–	+

Программное Обеспечение	Ansys	Abaqus (Dassault Systemes SE)	MSC. Nastran (MSC Software)	NX Nastran (Siemens)	Nastran In-CAD (Autodesk)	Helius (Autodesk)	COMSOL	Hyper Works (Altair)
Наименование критерия								
LaRC	+	–	–	+	+	+	–	–
Особые	Кунце (Cuntze)	Ханкин-сона (Hankinson), Коуина (Cowin)	–	–	Кристенсена (Christensen)	Норриса (Norris)	Ямады-Суна (Yamada-Sun)	–

Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по материалам [647], 2025

Отдельно нужно выделить программный комплекс Digimat разработчика MSC Software – одно из немногих решений, в котором используется микроуровневый подход для определения характеристик композиционных материалов. Данный программный комплекс применяется для разработки, расчета и цифровых (виртуальных) испытаний композиционных материалов и конструкций из них.

В качестве исходных данных для Digimat выступают свойства, топология и объемное/массовое содержание каждой фазы, а также микроструктура композиционного материала. По этим данным строится математическая модель материала на микроуровне, которая чувствительна к свойствам каждой фазы и микроструктуре, и определяются требуемые механические, тепловые или электрические характеристики композиционного материала (Рисунок 39).

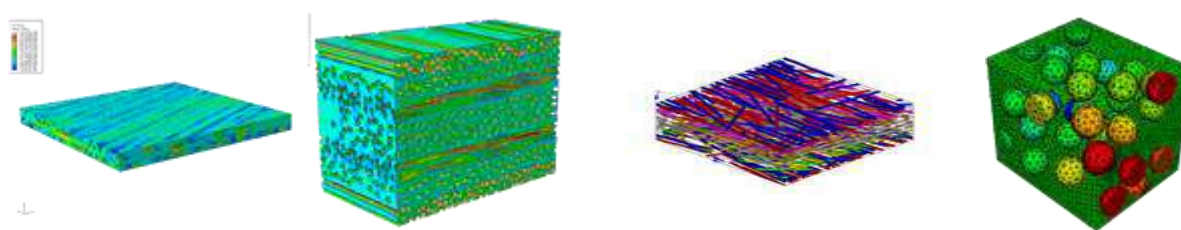
Рисунок 39. Микроуровневый подход для определения характеристик композиционных материалов для программного комплекса Digimat



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по материалам описания программного комплекса Digimat [635], 2025

Digimat позволяет моделировать характеристики термопластов, термореактивных пластмасс и композиционных материалов с различной матрицей (полимерной, металлической, резиновой). Полученные характеристики материалов в дальнейшем могут быть переданы для выполнения расчетов в конечно-элементных пакетах. Возможен учет неоднородности характеристик материалов, связанный с технологическими процессами изготовления композитов: литья под давлением, выкладки, прессовки (Рисунок 40).

Рисунок 40. Примеры моделирования Digimat с учётом технологического процесса



Источник: сайт производителя Hexagon AB, 2024

Digimat имеет модульную структуру и в настоящее время состоит из девяти модулей, которые взаимосвязаны и логически дополняют друг друга, позволяя решать широкий спектр задач при работе с композиционными материалами.

Digimat-FE предназначен для более детального исследования композиционного материала и использует метод гомогенизации с помощью МКЭ, дополнительно доступен широкий выбор форм включений (9 стандартных форм включений (эллипсоид, цилиндр, икосаэдр, криволинейная балка и др.), а также возможность импорта геометрии включения, созданной в CAD-системе). Digimat-FE дополняет по функциональным возможностям модуль Digimat-MF и полностью совместим с ним, а также поддерживает передачу данных о микроструктуре из широкого спектра программного обеспечения, которое моделирует изготовления композитных конструкций различными технологиями: литье армированных пластиков под давлением (Moldex 3D, Moldflow, REM3D и др.), объемное формование (Moldex 3D, Moldflow), ручная или автоматическая выкладка слоистого композиционного материала (Simulayt, AniForm и др.), 3D-печать (Digimat-AM) [635].

Digimat-CAE. При связанном анализе с использованием Digimat-CAE стандартная модель материала из КЭ решателя заменяется моделью материала Digimat, которая учитывает уникальную микроструктуру в каждой точке конструкции. В ходе решения задачи, КЭ решатель запрашивает информацию о характеристиках материала. Digimat для каждого конечного элемента вычисляет жесткостные характеристики материала, определяет степень его разрушения и возвращает эту информацию обратно в решатель. Такой постоянный обмен данными между Digimat-CAE и КЭ решателем происходит на каждом шаге интегрирования для каждого конечного элемента. Обработка и визуализация результатов расчета выполняются с помощью стандартных инструментов пост-процессорной обработки для используемого в расчете КЭ решателя.

Digimat-CAE позволяет провести расчет не только с КЭ решателями MSC Software: Marc, MSC Nastran SOL1XX, SOL400, SOL700, но и со сторонними решателями (LS-DYNA, SAMCEF, nCode DesignLife, Abaqus, Ansys, и т.д.). Модуль Digimat-RP представляет собой интегрированное решение для проектирования и расчета конструкций из армированных пластиков, которое объединяет в единой графической оболочке возможности модулей Digimat-MF, Digimat-MAP и Digimat-CAE. Дальнейшее развитие возможностей Digimat-RP для быстрого и точного расчета на прочность и/или жесткость изделий из армированных пластиков реализовано в модуле Digimat-RP/Moldex3D, который включает в себя инструмент для оценки ориентации армирующих волокон в конструкции при изготовлении ее методом литья под давлением.

В модуле Digimat-NC доступны различные критерии разрушения: максимальных

напряжений/деформаций, Цая–Ву, Цая–Хилла, Аззи–Цая–Хилла для материала обшивки и критерий максимальных напряжений для заполнителя панели. Пользователь выбирает один из трех наиболее распространенных вариантов испытания сотовой панели (трехточечный изгиб, четырехточечный изгиб или сдвиг в плоскости) и задает нагружение (расположение опор, место приложения нагрузки и ее величина). Digimat-НС автоматически создает КЭ модель, проводит расчет с помощью встроенного в модуль решателя, отображает результаты расчета (перемещения, напряжения, деформации, индексы разрушения) и автоматически формирует отчет.

Выводы

В главе 4 рассмотрены основные типы повреждений, которые необходимо рассматривать при проектировании конструкций БВС из ПКМ, рассмотрены критерии прочности моно-слоев ПКМ и меж-слоевых интерфейсов, а также специализированное ПО для моделирования КМ и изделий с их использованием применяемые в настоящее время.

На основании обзора отечественной и зарубежной научно-технической литературы можно сделать вывод о существовании множества различных математических моделей и подходов для определения прочности композиционных материалов, расчета конструкций и изделий из них. Для исследования композиционных материалов неоднородной структуры классические модели расчета прочности не применимы. Наибольшее распространение в области исследований композиционных материалов имеют феноменологически-статистические подходы, основанные на аппроксимации экспериментальных данных при простейших испытаниях материала. Для того чтобы определить наиболее эффективные критерии прочности, необходимо проанализировать применимость каждого критерия для используемого материала и найти значения предельной нагрузки при исследовании прочности конструкции.

Критерии прочности могут обладать различной точностью описания свойств ПКМ. В случае отсутствия достаточного набора экспериментальных данных необходим перебор всех основных критериев с выбором самого консервативного результата. Как правило, рассматривается разрушение отдельного слоя, которое считается разрушением всей конструкции. Критерии также дают возможность рассматривать прогрессирующее разрушение конструкции, ослабленной на один разрушенный слой.

Перспективным для развития и применения можно выделить структурный метод с анализом микроструктуры материала конструкции. Это даёт возможность моделировать прогрессирующее разрушение материала, момент зарождения и развития трещины, усталостные и динамические разрушения, а также является более точным решением задачи прочности. Возможность проводить цифровые (виртуальные) испытания и тестировать нагружение (расположение опор, место приложения нагрузки и ее величину), а также отображать результаты расчетов (перемещения, напряжения, деформации, индексы разрушения) существенно ускоряет процесс подбора материалов и технологий для разработки БВС с применением композитных и гибридных конструкций.

При разработке методик учета нелинейного поведения анизотропных материалов с учетом технологии изготовления, остаточной прочности, усталости, ползучести, трещинообразования и других откликов на эксплуатационные воздействия для последующего моделирования изделий в контексте многомасштабного моделирования свойств материалов необходимо разрабатывать пользовательские математические модели материалов для описания механики сплошных сред для мезо- и

макроуровней. Для обеспечения последовательности и взаимосвязи отдельных моделей материала на различных уровнях с дальнейшей интеграцией данных о материале с цифровым двойником изделия необходимы системы класса SPDM.

SPDM-системы (Simulation Processes and Data Management) – системы управления расчетными данными и процессами расчетных обоснований. Российской SPDM-системой служит цифровая платформа по разработке и применению цифровых двойников CML-Bench®. Благодаря высококачественной реализации CML-Bench® как платформенного решения, ее применение выходит за рамки традиционной SPDM-системы и, фактически, CML-Bench® представляет собой цифровую платформу по разработке и применению цифровых двойников высокотехнологичных изделий, материалов и физико-механических, технологических и бизнес-процессов [680]. Технология цифровых двойников может быть применена для решения задач глобальной оптимизации изделия, применяемых материалов и технологических процессов изготовления материалов и изделий из них.

Применение систем данного класса позволит обеспечить выстраивание последовательности и взаимосвязи отдельных моделей материала на различных уровнях с последующим развитием этих моделей в полноценный цифровой двойник материала, способный интегрироваться с цифровым двойником изделия для решения глобальных задач достижения высококонкурентной продукции (как материала, так и изделия). В дальнейшем по мере развития технологии возможен переход к «цифровой сертификации»⁴ с применением цифровых двойников, что ускорит и удешевит выпуск новых БВС с применением композитных и гибридных конструкций, обеспечит технологический суверенитет и технологическое лидерство страны.

В качестве примера приведем проект, направленный на создание и развитие системы построения цифровых (виртуальных) испытательных стендов и полигонов, проведение цифровых испытаний элементов беспилотных летательных аппаратов на базе единой цифровой платформы по разработке и применению цифровых двойников CML-Bench.БАС™. За весь период реализации проекта по состоянию на август 2024 года было разработано 4 ВИП, 12 ВИС (Рисунок 41) и более 125 цифровых моделей, обеспечивающих разработку и проведение испытаний различных типов беспилотных летательных аппаратов.

⁴ «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, сертификационных и прочих испытаний (Распоряжение Правительства Российской Федерации от 07.11.2023 г. № 3113-р.).

Рисунок 41. Цифровые (виртуальные) испытательные стенды и полигоны для проведения цифровых испытаний беспилотных летательных аппаратов на цифровой платформе CML-Bench®, разрабатываемые в рамках реализации Стратегии развития беспилотной авиации РФ



Источник: ПИШ СПбПУ «Цифровой инжиниринг»

Развитие и применение этих технологий позволяет сократить затраты на сертификацию, создание опытных образцов и стендовой базы, проведение натурных испытаний.

ГЛАВА 5. МЕХАНИЗМЫ ВНЕДРЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ КОМПОЗИТНЫХ И ГИБРИДНЫХ КОНСТРУКЦИЙ БВС

В настоящее время, как показывает анализ, в мировой и российской практике активно используются композитные и гибридные конструкции воздушных судов. Росту спроса на композиционные материалы в рассматриваемом контексте способствует повышение стандартов эксплуатационных характеристик изделий (в т.ч. требований к прочности, надежности и безопасности эксплуатации БВС) при необходимости соответствия критериям экономической эффективности производства. Кроме того, при проектировании и производстве современных беспилотных воздушных судов необходимо учитывать глобальные технологические тенденции, связанные с повышением автономности БВС за счет программно-аппаратных средств управления полетом и обработки данных, в т.ч. на базе искусственного интеллекта, реорганизацией систем связи, развитием технологий производства и др. В связи с вышеизложенным возрастает потребность в цифровых технологиях, продуктах и модулях, среди которых необходимо отдельно отметить системы цифрового проектирования и моделирования, технологии неразрушающего контроля с цифровой обработкой данных, системы мониторинга технического состояния и предиктивного обслуживания, аддитивное производство (3D-печать) и цифровые двойники.

Вопросы внедрения цифровых технологий обеспечения эксплуатации композитных и гибридных конструкций БВС актуальны как для крупных, так и для средних и малых игроков. При этом профиль решения определяется, в том числе, размерами внедряющей его компании. Необходимо учитывать также, что производители беспилотных воздушных судов работают с различными видами БВС. Крупные предприятия отрасли, такие как АО «Кронштадт» [681], АО «Концерн Калашников» [682] и др., преимущественно специализируются на производстве тяжелых и средних БВС. Кроме того, в сферу производства тяжелых беспилотных судов для гражданского рынка постепенно включаются отечественные лидеры в области пилотируемой авиации, такие как ПАО «Объединенная авиастроительная корпорация» [683], разрабатывающая БВС тяжелого класса С-76 [684]. Средние предприятия отрасли преимущественно специализируются на БВС среднего класса и услугах, предоставляемых с их использованием. Многочисленные малые предприятия, в том числе представители «народного ОПК» [685], чаще всего работают в сегменте малых БВС, включая соответствующие услуги. К МСП (субъектам малого и среднего предпринимательства), по оценкам отраслевых экспертов, относится более 70% от общего числа компаний отрасли [686]. Подобная специализация носит естественный характер и соответствует международным тенденциям, а также во многом определяет технологическую специфику, в том числе – в сфере внедрения цифровых технологий обеспечения эксплуатации композитных и гибридных конструкций. В частности, для сегмента производителей малых БВС использование композиционных материалов зачастую ограничивается закупкой готовых компонентов, производимых за рубежом. Производители средних разведывательных и тяжелых ударных БВС предъявляют более высокие требования к прочностным и иным характеристикам используемых материалов, что обуславливает необходимость работы с композиционными материалами, включающей расчеты с использованием передового инженерного ПО. При этом, согласно отдельным экспертным оценкам, при весе БВС выше 20 килограммов, использование композиционных материалов не имеет альтернатив. Кроме того, для крупных корпораций более характерно обеспечение полного цикла производства изделий, компонентов и

соответствующего ПО, в то время как малые и средние предприятия могут работать на отдельных участках производственной цепи, в т.ч., как было сказано выше, специализироваться в области сборки готовых изделий из компонентов, приобретаемых на открытом рынке и/или в области разработки программного обеспечения. Таким образом, например, внедрение и эксплуатация полноценной программно-технологической платформы разработки цифровых двойников, как правило, включающей «средства управления программным обеспечением компьютерного моделирования; средства управления проектами; средства сбора, обработки, анализа, визуализации, каталогизации, хранения, передачи компьютерных моделей и результатов компьютерного моделирования; средства отслеживания всех изменений конструкторских, технологических решений и модификации компьютерных моделей и вариантов инженерных расчетов; средства оформления результатов; средства защиты данных и организации совместной работы участников проекта в соответствии с правами доступа; средства компьютерного моделирования для планирования применения изделия по назначению, поддержки его технического обслуживания и ремонта [194]» также будут актуальны в большей степени для крупных организаций с соответствующим масштабом производственных мощностей.

Базовая модель внедрения новых технологических решений для крупных компаний предполагает формирование «проектного офиса» (в качестве которого может выступать как целенаправленно созданное или выделенное подразделение в структуре организации, так и кроссфункциональная команда, объединяющая специалистов из различных действующих подразделений компании), разработку стратегии и дорожной карты, а также реализацию ряда пилотных проектов с их последующим масштабированием. В то же время, необходимо отметить, что ключевые механизмы внедрения цифровых технологий обеспечения эксплуатации композитных и гибридных конструкций БВС в практику реальных российских компаний будут, в первую очередь, связаны с различными форматами кооперации. При этом использование конкретных механизмов и инструментов в организациях различных типов имеет свою специфику. Крупные игроки с устоявшимися позициями на рынке способны на масштабные инвестиции, в то же время отличаясь меньшей гибкостью и готовностью к изменениям, в частности, в связи с устареванием материально-технической базы, включающей программное обеспечение. Новые малые компании имеют возможность «на старте» опираться на передовые технологические решения и инженерное ПО, при этом зачастую испытывая дефицит финансовых ресурсов, «тяжелого» производственного оборудования и недостаток компетенций.

Ниже более подробно рассмотрены наиболее актуальные механизмы внедрения цифровых технологий обеспечения эксплуатации композитных и гибридных конструкций БВС, а также примеры реализации на практике указанных механизмов.

Слияния / поглощения – механизм, предполагающий расширение продуктового предложения и/или компетенций крупных компаний-разработчиков, за счет поглощения и интеграции технологических компаний с более узкой специализацией.

Кейс 1. Поглощение компанией AeroVironment (США) компании BlueHalo (США) в 2024–2025 годах. Результатом становится комплексное предложение в области оборонных технологий, объединяющее решения в сфере беспилотных систем, барражирующих боеприпасов ближнего и дальнего действия, противодействия беспилотным воздушным судам, космических технологий, радиоэлектронной борьбы и кибербезопасности, в том числе работающие на основе искусственного

интеллекта [687,688].

Кейс 2. Поглощение компанией Ondas Holdings (США) компании Airobotics (Израиль) в 2023 году. Результатом становится расширение продуктового портфеля Ondas Holdings за счет интеграции таких решений, как платформа Optimus[283] – комплексная программно-аппаратная система БВС, разработанная для обеспечения круглосуточного сбора данных с воздуха в сложных условиях, включающая, в частности, автоматизированные инструменты для анализа и визуализации собираемых данных. Кроме того, необходимо отметить потенциальный выход компании на новые рынки, в частности, возможность развернуть коммерческий парк БВС в городских условиях за счет объединения преимуществ новой платформы Optimus и системы БВС Scout (уже входящей в продуктовый портфель Ondas Holdings), и имеющей разрешение Федерального управления гражданской авиации США на автономный полет за пределами визуальной прямой видимости (BVLOS), а также расширение спектра коммерческих беспилотных решений – от «умных городов», управления строительством и общественной безопасностью до промышленных областей применения, таких как нефтегазодобыча, горнодобывающая промышленность и др. [689]

Кейс 3. Поглощение компанией Orqa International (Хорватия) компании ImmersionRC (Хорватия) в 2022 году. Слияние компаний позволяет Orqa International производить все элементы FPV-БВС (то есть беспилотных воздушных судов, управляемых «от первого лица» – посредством передачи оператору изображения с видекамеры БВС в режиме реального времени) за счет собственных ресурсов. Результатом также становится расширение продуктового портфеля Orqa International за счет технологий и продуктов ImmersionRC, в частности электроники для FPV-БВС [690].

Прямая кооперация и консорциумы – механизм, позволяющий крупным производственным компаниям решать часть технологических задач за счет объединения мощностей и привлечения внешних ресурсов, а МСП – стать элементом большей по масштабу производственной цепочки без потери статуса независимой организации.

Кейс. Соглашение между компаниями DroneDeploy (США) и Avvir (США), заключенное в 2022 году с целью интеграции программных платформ и формирования комплексного предложения для отслеживания хода строительных работ. Результат для пользователей предполагает автоматизацию процесса количественной оценки параметров и отслеживания прогресса инженерно-строительного проекта за счет объединения возможностей аэро- и наземной фотосъемки с помощью беспилотных аппаратов (в т.ч. обработки и анализа получаемых данных) от DroneDeploy и BIM-моделирования на основе искусственного интеллекта от Avvir [691].

В рассматриваемом контексте необходимо отметить, что в России, в частности, в рамках партнерства АО «ГТЛК» и Фонда НТИ в 2022 году сформирована профильная организация-эксплуатант беспилотных воздушных судов ООО «Беспилотные авиационные системы» (ООО «БАС») [692].

Также можно отметить совместный проект ООО «Транспорт будущего», национального исследовательского университета им. Королева и Института систем обработки изображений РАН, реализующийся с 2023 года и направленный на формирование единой экосистемы безопасности для беспилотных воздушных судов [693].

Кроме того, в 2025 году в рамках Петербургского международного экономического форума АО «Концерн Калашников» и Автономная некоммерческая организация «Научно-производственный центр испытаний и компетенций в сфере развития беспилотных авиационных систем и средств

защиты от их противоправного применения «Ушкуйник» (АНО «НПЦ «Ушкуйник») подписали стратегическое соглашение о создании совместного предприятия в Великом Новгороде [694].

Образовательные программы, программы обмена опытом и стажировок – механизм, предполагающий обучение действующих сотрудников организации недостающим навыкам в части внедрения цифровых технологий обеспечения эксплуатации композитных и гибридных конструкций БВС и/или вовлечение молодых специалистов в деятельность организации. При этом в части подготовки сотрудников крупные предприятия способны, как использовать внешние образовательные ресурсы, так и разворачивать программы дополнительного образования на собственной базе.

Кейс 1. Летние программы стажировок компании AeroVironment (США):

- Целевая аудитория: студенты старших курсов (от второго курса и старше);
- Длительность: 8 – 12 недель;
- Формат: полный рабочий день;
- Специализация: электротехника [695], машинное обучение [696] и др.;
- Программа: участие в реальных проектах проектирования и разработки беспилотных воздушных судов, отдельных компонентов БВС или профильного ПО [697].

Кейс 2. Образовательная онлайн-платформа DroneTalks Academy (ЕС), объединяющая профессиональное сообщество производителей и эксплуатантов отрасли БВС в Европейском союзе. В рамках платформы доступны онлайн и очные тренинги, лекции и семинары, а также маркетинговые и PR-услуги для МСП. Целевая аудитория включает, прежде всего, специалистов и руководителей предприятий отрасли [698].

В российском контексте можно отметить ряд программ дополнительного образования, а также отдельных курсов на базе высших учебных заведений. В частности, специалистами Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (СПбПУ), Центра НТИ СПбПУ «Новые производственные технологии», Института машиностроения, материалов и транспорта (ИММиТ), Института прикладной математики и механики (ИПММ) и Центра открытого образования СПбПУ разработана программа (онлайн-курс) «Полимерные композиционные материалы» [699].

Кроме того, можно отметить планируемую программу перекрестных стажировок между специалистами НПЦ БАС, предложенную главой новгородского НПЦ «Ушкуйник» Алексеем Чадаевым в рамках «Кадрового форума БАС 2025». Указанная инициатива встретила поддержку Фонда НТИ, как способствующая развитию технологической кооперации между научно-производственными центрами БАС и их резидентами [700].

Хакатоны, акселераторы, инкубаторы – механизм, предполагающий отбор и/или «выращивание» команды, обладающей необходимыми компетенциями под решение конкретной задачи.

Кейс. Акселератор Skara от компании Saab (Швеция), специализирующейся в области производства реактивных самолетов и оборонных технологий. В 2024 году проектный офис акселератора был открыт в Сан-Диего (США). Специализация акселератора: беспилотные системы, в частности – беспилотные воздушные суда. Области технологической фокусировки: искусственный интеллект, машинное обучение, устойчивые mesh-сети (ячеистые сети), робототехника [701].

В то же время, необходимо учитывать, что значительная часть хакатонов, акселераторов и инкубаторов функционирует при государственной или региональной поддержке с учетом приоритетов

развития конкретной страны или группы стран. В качестве примеров для Российской Федерации можно привести рассмотренные в главе 3 конкурсы НТИ Up Great «Аэрологистика» [702], «Экстренный поиск» [703] и «Автономный поиск» [704].

Кроме того, можно отметить организованный на базе Международной платформы развития навыков и профессий [705] (АНО «Агентство развития профессионального мастерства (Ворлдскиллс Россия)» [706]) в 2024 году хакатон БАС, состоявшийся в рамках мероприятий БРИКС с 22 по 27 сентября в Казани. Ключевые компетенции включали эксплуатацию БАС, проектирование, конструирование и производственный инжиниринг, технологии ИИ в комплексных беспилотных системах, летающую робототехнику [707]. При этом поставщиками отраслевых задач для участников стали:

- ООО «Русдропоорт» [708] – первая в России компания, запустившая серийное производство роботизированных станций базирования БВС под различные задачи и потребности заказчика [709];
- Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ – ведущий технический вуз страны широкого профиля и один из мировых центров ядерной науки и образования [710];
- ООО «Скайрис» – компания-производитель образовательной инфраструктуры БАС (в том числе конструкторов, испытательных стендов, измерительных приборов, полетных полигонов и т.д.) [711];
- ООО «ВР Концепт» – компания-разработчик приложения для виртуального прототипирования и коллективной работы в виртуальной реальности [712];
- ООО «Дронсхаб» [713] – компания, специализирующаяся на разработке и производстве автономных роверов многоцелевого применения, ПО и модулей для робототехники, автономной наземной инфраструктуры, беспилотных летательных аппаратов, учебных комплектов БАС и трасс для обучения пилотированию и соревнований [714].

В контексте внедрения цифровых технологий обеспечения эксплуатации композитных и гибридных конструкций БВС малыми и средними предприятиями необходимо отдельно отметить действующие на государственном уровне в рамках Стратегии развития беспилотной авиации до 2030 г. и на перспективу до 2035 г. [276] и национального проекта «Беспилотные авиационные системы» [76] механизмы поддержки, в т.ч. грантовые программы, экспериментальные правовые режимы и др., рассмотренные в предыдущих разделах. Кроме того, эффективным решением может стать расширение центров коллективного пользования. В частности, в 2023 году в Москве открыт Центр коллективного пользования Федерального центра беспилотных авиационных систем – площадка для опытного и мелкосерийного контрактного производства, включающая более 35 единиц высокотехнологичного оборудования, такого как 3D-принтеры, токарные, электроэрозионные, лазерные, механообрабатывающие и фрезерные станки и т.д. [715]

В целом, ключевые механизмы внедрения цифровых технологий обеспечения эксплуатации композитных и гибридных конструкций БВС в практику реальных российских компаний связаны с различными форматами кооперации. При этом крупные компании могут выступать базой и/или инициаторами масштабных совместных проектов (в том числе, проектов и инициатив с государственным участием), в то время как для малых и средних предприятий более актуален вопрос встраивания в сети кооперации с другими игроками и максимального использования действующих мер поддержки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках настоящего экспертно-аналитического доклада проведён всесторонний анализ ключевых аспектов, связанных с технологиями, обеспечивающими надёжную, безопасную и эффективную эксплуатацию композитных и гибридных конструкций беспилотных воздушных судов (БВС). Особое внимание уделено современным методам проектирования, инженерного моделирования, применению цифровых двойников, аддитивным технологиям, а также вопросам оценки прочности, долговечности и устойчивости конструкций к внешним нагрузкам. Кроме того, рассмотрены перспективы стандартизации и интеграции этих технологий в производственные процессы, что является важным шагом на пути к повышению технологической зрелости и масштабируемости решений в отрасли БВС.

В первой главе настоящего доклада в ходе анализа мирового и отечественного рынка БВС выявлено, что данные рынки демонстрируют уверенный рост и сохраняют значительный потенциал развития в средне- и долгосрочной перспективе. На глобальном уровне объём рынка оценивается от 23,5 млрд до 39,5 млрд долл., объём российского рынка на конец 2024 года составил порядка 335,9 млрд рублей с активным развитием как гражданского, так и специального сегментов. Особое значение в структуре спроса имеют сельское хозяйство, строительство, нефтегазовый сектор и лесное хозяйство. Включение этих направлений в государственные стратегические документы подчёркивает их приоритетность и готовность к технологическому обновлению на основе БВС. Также в рамках данной главы подробно рассмотрены направления применения композитных и гибридных конструкций в БВС на примерах как технологических лидеров (США, Франция, Израиль), так и новых активных игроков рынка (Турция, Иран). Отдельное внимание уделяется протеканию подобных процессов в отечественной отрасли БАС: в России наблюдается рост спроса на композиционные материалы, особенно стекловолокно и углепластик. Это связано с усилением требований к маневренности, радиолокационной малозаметности и снижению производственных затрат. Несмотря на устойчивые позиции в выпуске конечной продукции, отечественная отрасль всё ещё зависит от импорта сырья, оборудования и программного обеспечения. Также российский рынок БВС активно осваивает цифровые технологии для обеспечения эксплуатации композитных и гибридных конструкций, включая цифровое проектирование и моделирование, неразрушающий контроль, мониторинг состояния, предиктивное обслуживание, 3D-печать и цифровые двойники. В этой связи реализация национальных программ и развитие производства в регионах становятся важным шагом на пути к технологическому суверенитету и импортозамещению в сфере БВС.

Во второй главе настоящего доклада отмечается, что развитие сферы БВС связано с внедрением «сквозных» цифровых технологий и глобальными рыночными трендами, включая модель «продукт как услуга» и ужесточение нормативного регулирования. Отрасль ориентируется на комплексные платформенные решения и модель «дрон как услуга» (DaaS), которая занимает более 80% мирового рынка. Одновременно наблюдается регионализация производства и усиление экспортных ограничений, что перестраивает глобальные цепочки поставок. В качестве ключевых технологических трендов выделены: повышение автономности с помощью ИИ, оптимизация конструкций с использованием передовых материалов и модульного подхода, увеличение времени полёта за счёт улучшения батарей и двигателей, стандартизация систем связи и развитие производства через аддитивные технологии. В России схожие тенденции сопровождаются важной задачей импортозамещения и локализации производства компонентов. В рамках национального проекта

«Беспилотные авиационные системы» реализуется федеральный проект «Перспективные технологии», охватывающий ключевые направления – от компоновки и энергетики до интеграции БВС в воздушное пространство и развития вычислительных систем. Также подробно рассмотрены основные барьеры развития отрасли (регуляторные, экономические, технологические, социальные, инфраструктурные и кибербезопасности) как в мире, так и в России.

В третьей главе настоящего доклада рассмотрены конкретные крупные технологические проекты и научно-технологические достижения в мире (развитие нормативной базы, увеличение коммерческих доставок, интеграция в логистику и др.). Также выделены ключевые события российской отрасли БВС, которые, в первую очередь, связаны с реализацией комплекса мероприятий в рамках Стратегии развития беспилотной авиации до 2030 года и на перспективу до 2035 года и национального проекта «Беспилотные авиационные системы».

В четвёртой главе настоящего доклада рассмотрены основные типы повреждений при проектировании БВС из композиционных материалов, а также критерии прочности монослоев и межслоевых интерфейсов. Отмечено, что классические модели прочности неприменимы для неоднородных композитов, поэтому для анализа чаще используются феноменологически-статистические подходы, основанные на экспериментальных данных. При недостатке данных для оценки прочности выбирают наиболее консервативные критерии, обычно рассматривая разрушение отдельного слоя как разрушение всей конструкции. В числе перспективных методов выделен структурный подход с анализом микроструктуры материала, который позволяет моделировать прогрессирующее разрушение, трещинообразование и усталостные повреждения, а также проводить цифровые (виртуальные) испытания и анализ нагружения, что значительно ускоряет подбор материалов и технологий. Для точного учёта сложного нелинейного поведения анизотропных материалов и реализации многомасштабного моделирования необходима разработка пользовательских математических моделей и их интеграция с цифровыми двойниками изделий посредством систем класса SPDM. В России такую функцию выполняет платформа CML-Bench®, которая обеспечивает создание цифровых двойников материалов и изделий, способствуя глобальной оптимизации и повышению конкурентоспособности продукции.

В заключительной главе настоящего доклада описываются наиболее актуальные механизмы внедрения цифровых технологий обеспечения эксплуатации композитных и гибридных конструкций БВС, а также примеры их реализации на практике.

В соответствующих разделах доклада сквозным образом представлены также результаты проведенного Инфраструктурным центром «Технет» при поддержке АНО «Платформа НТИ» опроса организаций-участников рынка НТИ и формируемого рынка БАС, участие в котором приняли 16 респондентов.

Таким образом, представленный экспертно-аналитический доклад отражает актуальное состояние и ключевые векторы развития отрасли БВС, опираясь на комплексный анализ отечественного и мирового опыта, передовые научно-технологические подходы, а также результаты отраслевого опроса. Особое внимание уделено влиянию композиционных материалов и цифровых технологий на эффективность, надёжность и конкурентоспособность БВС. Устойчивый рост интереса к данной отрасли, активная поддержка со стороны государства и развитие инструментов цифрового проектирования формируют прочную основу для дальнейшего технологического прорыва и укрепления технологического суверенитета России.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1. ПЕРЕЧЕНЬ КЛЮЧЕВЫХ ИГРОКОВ РОССИЙСКОГО РЫНКА

№	Название компании	Выручка 2024, млн руб.	Источник	Комментарий (при наличии)	Категория компаний (типы бизнеса) ⁵
Проектирование и производство БВС и компонентов БВС (компании-производители)					
1	АО «Вертолеты России» (входит в ГК «Ростех»)	Н/Д	https://www.tadviser.ru/index.php/%D0%9A%D0%BE%D0%BC%D0%BF%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%8F%D0%92%D0%B5%D1%80%D1%82%D0%BE%D0%BB%D0%B5%D1%82%D1%8B_%D0%A0%D0%BE%D1%81%D1%81%D0%B8%D0%B8	Выручка в 2023 году – 246 860,00 млн руб.	Крупные
2	АО «Концерн ВКО «Алмаз – Антей»	Н/Д	https://companies.rbc.ru/id/1027739001993-ao-kontsern-vozdushno-kosmicheskoy-oboronyi-almaz-antej/	Выручка в 2015 году – 136 520,00 млн руб.	Крупные
3	АО «ОДК» (входит в ГК «Ростех»)	112 32,00	https://chonds.ru/news/3292593/	–	Крупные
4	АО «УЗГА» (входит в холдинг «Технодинамика» ГК «Ростех»)	62 220,00	https://companies.rbc.ru/id/1026605766560-ao-uralskij-zavod-grazhdanskoj-aviatsii/	–	Крупные
5	ПАО «Объединенная авиастроительная корпорация» (ПАО «ОАК», входит в ГК «Ростех»), в т.ч. Филиал «ОАК» «ОКБ Сухого»	Н/Д	https://companies.rbc.ru/id/1067759884598-pao-publichnoe-aktsionernoje-obshchestvo-obedinennaya-aviastroitelnaya-korporatsiya/	Выручка в 2021 году – 32 580,00 млн руб.	Крупные

⁵ Крупные компании – выручка от 2 млрд руб.; средние – выручка до 2 млрд руб.; малые – выручка до 800 млн руб.; микро – выручка до 120 млн руб.

№	Название компании	Выручка 2024, млн руб.	Источник	Комментарий (при наличии)	Категория компаний (типы бизнеса) ⁵
6	АО «НЦВ Миль и Камов» (входит в АО «Вертолеты России» ГК «Ростех»)	Н/Д	https://companies.rbc.ru/id/1027739032969-ao-natsionalnyij-tsentr-vertoletostroeniya-im-mi-milya-i-ni-kamova/	Выручка в 2021 году – 17 930,00 млн руб.	Крупные
7	ООО «Специальный технологический центр» (СТЦ)	Н/Д	https://companies.rbc.ru/id/1037804018614-ooo-spetsialnyij-tehnologicheskij-tsentr/	Выручка в 2021 году – 13 830,00 млн руб.	Крупные
8	АО «НПП «Радар ммс»	Н/Д	https://companies.rbc.ru/id/1027807560186-ao-nauchno-proizvodstvennoe-predpriyatie-radar-mms/	Выручка в 2020 году – 12 510,00 млн руб.	Крупные
9	АО «Концерн «Автоматика» (входит в ГК «Ростех»)	Н/Д	https://companies.rbc.ru/id/1127746139564-ao-kontsern-avtomatika/	Выручка в 2021 году – 8 270,00 млн руб.	Крупные
10	ООО «Ижевский авиационный завод» (ООО «ИАЗ»)	6 700,00	https://www.audit-it.ru/contragent/1231800002609_ooo-iaz	–	Крупные
11	Группа компаний «Геоскан»	4 700,00	https://www.audit-it.ru/contragent/1077847632818_ooo-geoskan	–	Крупные
12	АО «ЭЙРБУРГ»	Н/Д	https://companies.rbc.ru/id/1216600040194-aktsionernoe-obschestvo-ejrburg/	Выручка в 2021 году – 1 970,00 млн руб.	Средние
13	АО «НПП «Алмаз» (входит в холдинг «Росэлектроника», ГК «Ростех»)	Н/Д	https://www.list-org.com/company/38245	Выручка в 2019 году – 1 940,00 млн руб.	Средние
14	АО МНПК	Н/Д	https://companies.rbc.ru/id/1027739158402-	Выручка в	Средние

№	Название компании	Выручка 2024, млн руб.	Источник	Комментарий (при наличии)	Категория компаний (типы бизнеса) ⁵
	«Авионика»		ao-moskovskij-nauchno-proizvodstvennyj-kompleks-avionika-imeni-ov-uspenskogo/	2022 году – 1 850,00 млн руб.	
15	АО «Калужский электромеханический завод» (входит в холдинг «Росэлектроника» ГК «Ростех»)	1 530,00	https://center.business-magazine.online/fn_1683837.html	–	Средние
16	АО «Инженерно-Производственные Решения» (Инжиниринговый центр «Кронштадт»)	Н/Д	https://www.rusprofile.ru/id/1237800026397	Выручка в 2023 году – 1 300,00 млн руб.	Средние
17	ООО «Транспорт будущего» (входит в Группу компаний «ЭФКО»)	1 260,00	https://companies.rbc.ru/id/1213100015622-obschestvo-s-ogranichennoj-otvetstvennostyu-transport-budushego/	–	Средние
18	АО «ЭНИКС»	Н/Д	https://companies.rbc.ru/id/1031632202227-ao-eniks/#okved	Выручка в 2021 году – 1 100,00 млн руб.	Средние
19	ООО «ТАиП»	Н/Д	https://companies.rbc.ru/id/1057811020080-ooo-tehnologii-avtomatizatsii-i-programmirovaniya/	Выручка в 2021 году – 1 020,00 млн руб.	Средние
20	АО «Корпорация Попов Радио»	998,00	https://www.audit-it.ru/contragent/1207700456765_ao-korporatsiya-popov-radio	–	Средние
21	ООО «Альбатрос» (дочерняя компания)	955,00	https://www.rusprofile.ru/id/10992516	–	Средние

№	Название компании	Выручка 2024, млн руб.	Источник	Комментарий (при наличии)	Категория компаний (типы бизнеса) ⁵
	ЗАО Инженерный Центр «Геомир»)				
22	АО «ИЦ ИКАР»	Н/Д	https://companies.rbc.ru/id/1037710001493-ao-inzhenernyj-tsentr-ikar/	Выручка в 2021 году – 919,34 млн руб.	Средние
23	ООО «Глори Эйр»	802,79	https://companies.rbc.ru/id/1117746689400-ooo-obschestvo-s-ogranichennoj-otvetstvennostyu-ghlori-ejr/	–	Средние
24	ООО «ПЛАЗ»	Н/Д	https://companies.rbc.ru/id/5067847004341-ooo-plaz/	Выручка в 2021 году – 740,11 млн руб.	Малые
25	ООО «Научно-производственное предприятие «Новые Технологии Телекоммуникаций»	Н/Д	https://companies.rbc.ru/id/1047806004828-ooo-nauchno-proizvodstvennoe-predpriyatie-novye-tehnologii-telekommunikatsij/	Выручка в 2021 году – 686,21 млн руб.	Малые
26	ООО «Новоген»	641,38	https://companies.rbc.ru/id/1221600081284-ooo-novogen/	–	Малые
27	ООО «НПО «Ижевские беспилотные системы» (ООО «НПО «ИЖБС», входит в АО «Концерн «Калашников» ГК «Ростех»)	Н/Д	https://companies.rbc.ru/id/1061831040688-ooo-obschestvo-s-ogranichennoj-otvetstvennostyu-nauchno-proizvodstvennoe-obedinenie-izhevskie-bespilotnyie-sistemyi/	Выручка в 2021 году – 622,43 млн. руб.	Малые
28	ООО «Аэромакс» (входит в группу компаний «Аэромакс»	615,57	https://companies.rbc.ru/id/1177746007900-ooo-aeromaks/	–	Малые

№	Название компании	Выручка 2024, млн руб.	Источник	Комментарий (при наличии)	Категория компаний (типы бизнеса) ⁵
	группы АФК «Система»)				
29	ООО «Карбоним инжиниринг»	602,22	https://companies.rbc.ru/id/1237700162842-obschestvo-s-ogranichennoj-otvetstvennostyu-karbonim-inzheniring/	–	Малые
30	ООО «СПТ»	595,77	https://companies.rbc.ru/id/1147847384409-ooo-sovremennyye-promyshlennyye-tehnologii/	–	Малые
31	АО «Концерн радиостроения «Вега» (входит в холдинг «Росэлектроника» ГК «Ростех»)	Н/Д	https://www.rusprofile.ru/id/2549281	Выручка в 2016 году – 533 млн руб.	Малые
32	ООО «Ирбис Скай Тех»	473,00	https://www.rusprofile.ru/id/5598962	–	Малые
33	АО «КТ-Беспилотные системы» (входит в АО «Кронштадт» Группы компаний «Кронштадт»)	Н/Д	https://companies.rbc.ru/id/1127847213361-ao-kt-bespilotnyie-sistemyi/	Выручка в 2021 году – 457,73 млн руб.	Малые
34	ООО «Агродинамика»	442,44	https://companies.rbc.ru/id/1226800005190-ooo-agro dinamika/	–	Малые
35	ООО «Аэродин»	406,00	https://www.rusprofile.ru/id/10962169	–	Малые
36	ООО «Центр Точного Земледелия Аэросоюз»	363,90	https://companies.rbc.ru/id/1135476159521-ooo-tsentr-tochnogo-zemledeliya-aerosoyuz/	–	Малые
37	ООО «Гаскар Групп»	342,50	https://companies.rbc.ru	–	Малые

№	Название компании	Выручка 2024, млн руб.	Источник	Комментарий (при наличии)	Категория компаний (типы бизнеса) ⁵
			/id/5147746074196-ooo-gaskar-integratsiya/		
38	ООО «КОНСТРУКТОРСКОЕ БЮРО «ЦЕНТР БЕСПИЛОТНЫХ СИСТЕМ» (ООО «КБ «ЦБС»)	269,57	https://companies.rbc.ru/id/1237100015657-ooo-ooo-kb-tsbs/	–	Малые
39	АО «НПО «Андроидная техника»	Н/Д	https://companies.rbc.ru/id/1097746741894-ao-aktsionernoe-obschestvo-nauchno-proizvodstvennoe-obedinenie-androidnaya-tehnika/	Выручка в 2021 году – 213,44 млн руб.	Малые
40	ООО «АГМ Системы»	197,15	https://companies.rbc.ru/id/1152312014777-ooo-agm-sistemyi/	–	Малые
41	ООО «Аэрокон»	187,00	https://www.audit-it.ru/contragent/1021603148830_ooo-aerokon	–	Малые
42	ООО «Дельта Технология»	167,00	https://www.rusprofile.ru/id/362445	–	Малые
43	Научно-технический центр «АПМ» (НТЦ «АПМ»)	150,53	https://companies.rbc.ru/id/1035003357366-ooo-nauchno-tehnicheskij-tsentr-apm/	–	Малые
44	ООО «ОМЭ ТЕХ»	137,00	https://www.rusprofile.ru/id/1247700574868	–	Малые
45	ООО «БГ-Оптикс» (входит в состав группы компаний «Комплексные системы»)	Н/Д	https://companies.rbc.ru/id/5147746163175-ooo-obschestvo-s-ogranichennoj-otvetstvennostyu-bg-optiks/	Выручка в 2021 году – 126,41 млн руб.	Малые

№	Название компании	Выручка 2024, млн руб.	Источник	Комментарий (при наличии)	Категория компаний (типы бизнеса) ⁵
46	ООО «СКАЙЕР ИТ» (входит в группу компаний ООО «СКАЙЕР»)	122,90	https://companies.rbc.ru/id/5087746659666-ooo-raduga/	–	Малые
47	ООО «КБ РАСКАТ»	114,00	https://companies.rbc.ru/id/1247700059188-ooo-ooo-kb-raskat/	–	Микро
48	ООО «Система объективного контроля»	111,00	https://www.audit-it.ru/contragent/1213000002841_ooo-sok	–	Микро
49	АО «Концерн «МАНС»	104,17	https://companies.rbc.ru/id/1127746702038-ao-kontsern-mezhdunarodnyie-aeronavigatsionnyie-sistemyi/	–	Микро
50	НПП «АВАКС-Гео-Сервис»	Н/Д	https://companies.rbc.ru/id/1122468015999-ooo-obschestvo-s-ogranichennoj-otvetstvennostyu-nauchno-proizvodstvennoe-predpriatie-avtonomnyie-aerokosmicheskie-sistemyi-geoservis/	Выручка в 2021 году – 99,93 млн руб.	Микро
51	ООО «Аэроб»	Н/Д	https://companies.rbc.ru/id/1117746268815-ooo-aerob/	Выручка в 2021 году – 92,11 млн руб.	Микро
52	ООО «Инноматик»	74,53	https://companies.rbc.ru/id/1246500001505-ooo-innomatik/#okved	–	Микро
53	ООО «БВС Системы» (Конструкторское бюро Горбунова А.А.)	69,06	https://companies.rbc.ru/id/1187847069178-ooo-bvs-sistemyi/	–	Микро

№	Название компании	Выручка 2024, млн руб.	Источник	Комментарий (при наличии)	Категория компаний (типы бизнеса) ⁵
54	ООО «ТБ САМАРА»	54,28	https://companies.rbc.ru/id/1236300005985-obschestvo-s-ogranichennoj-otvetstvennostyu-transport-buduschego-samara/	–	Микро
55	ООО «Техмет18»	46,42	https://www.list-org.com/company/12030311	–	Микро
56	ОО «СКБ Авиационных Роторных Двигателей» (входит в структуру ООО «Технологии и моторы» ЗАО «Группа компаний С7»)	44,68	https://companies.rbc.ru/id/1187746191907-ooo-studencheskoe-konstruktorskoe-byuro-aviatsionnyih-rotornyih-dvigatlej/	–	Микро
57	ООО «РУСАВИА- ПРОМ»	39,30	https://www.audit-it.ru/contragent/1117746583460_ooo-rusaviaprom	–	Микро
58	ООО «Люфтэра»	39,00	https://www.rusprofile.ru/id/11108940	–	Микро
59	ООО «Роспроект» (ОмДжет)	34,00	https://www.rusprofile.ru/id/3056035	–	Микро
60	ООО «Верконт сервис» (входит в группу компаний «Информтех»)	32,60	https://www.audit-it.ru/contragent/5087746388923_ooo-verkont-servis	–	Микро
61	ООО «Интегральные роботизированные технологии»	32,23	https://companies.rbc.ru/id/1210200046495-obschestvo-s-ogranichennoj-otvetstvennostyu-integralnyie-robotizirovannye-	–	Микро

№	Название компании	Выручка 2024, млн руб.	Источник	Комментарий (при наличии)	Категория компаний (типы бизнеса) ⁵
			tehnologii/		
62	АО «Стратим»	27,76	https://companies.rbc.ru/id/1237700447324-nao-ao-stratim/	–	Микро
63	ООО «КОРПОРАЦИЯ ДРОНОВ» (ООО «Дронко»)	17,60	https://www.list-org.com/company/13933893	–	Микро
64	ООО «ЗД КУБ»	17,38	https://companies.rbc.ru/id/1126316010072-ooo-zd-kub/	–	Микро
65	ООО Научно-производственное объединение «Программируемые композиты» (ООО НПО «ПК»)	16,50	https://www.audit-it.ru/contragent/1174401002126_ooo-npo-pk	–	Микро
66	ООО «ОПТИМЕНГА-777»	15,80	https://companies.rbc.ru/id/1127746032490-ooo-obschestvo-s-ogranichennoj-otvetstvennostyu-optimenga-777/#general	–	Микро
67	ООО «АэроЛаборатория» (RusAeroLab)	15,00	https://www.rusprofile.ru/id/7640371	–	Микро
68	ООО «Двигатели для авиации» (входит в АО «ОДК-Авиадвигатель» ПАО «ОАК», ГК «Ростех»)	14,28	https://companies.rbc.ru/id/1150280068432-ooo-dvigateli-dlya-aviatsii/	–	Микро
69	ООО «ДРОН СО-ЛЮШНС»	Н/Д	https://companies.rbc.ru/id/1187746132870-ooo-dron-solyushns/	Выручка в 2022 году – 13,00 млн руб.	Микро
70	ООО «ОКБ Авиарешения»	12,86	https://companies.rbc.ru/id/1151690108976-ooo-okb-aviaresheniya/	–	Микро

№	Название компании	Выручка 2024, млн руб.	Источник	Комментарий (при наличии)	Категория компаний (типы бизнеса) ⁵
71	ООО «Аэроксо»	Н/Д	https://companies.rbc.ru/id/5147746079333-ooo-aerokso/	Выручка в 2023 году – 11,58 млн руб.	Микро
72	АО «Эколибри»	10,93	https://companies.rbc.ru/id/1217700279103-aksionernoe-obschestvo-ekolibri/	–	Микро
73	ООО «Оптиплейн Аэродинамика»	10,91	https://companies.rbc.ru/id/1175476104924-ooo-optiplejn-aerodinamika/	–	Микро
74	ООО «Дронопорт»	10,51	https://companies.rbc.ru/id/1207700279808-obschestvo-s-ogranichennoj-otvetstvennostyu-dronoport/	–	Микро
75	ООО «Клеверкоптер»	9,85	https://companies.rbc.ru/id/1185275047176-ooo-kleverkopter/	–	Микро
76	АО «Зала Аэро», Группа компаний «ZALA» (входит в АО «Концерн «Калашников» ГК «Ростех»)	7,65	https://companies.rbc.ru/id/1247700258651-ao-zala-aero/	–	Микро
77	АО «Селина Эйркрафт»	7,40	https://www.rusprofile.ru/id/1226300036522	–	Микро
78	ООО «Ключ»	7,20	https://companies.rbc.ru/id/1126319010696-ooo-klyuch/	–	Микро
79	ООО «Иннопол-Технологии»	5,42	https://companies.rbc.ru/id/1226300049469-obschestvo-s-ogranichennoj-otvetstvennostyu-	–	Микро

№	Название компании	Выручка 2024, млн руб.	Источник	Комментарий (при наличии)	Категория компаний (типы бизнеса) ⁵
			innopol-tehnologii/		
80	ООО «ФАН ФЛАЙТ»	4,51	https://companies.rbc.ru/id/1137746442657-ooo-fan-flajt/	–	Микро
81	АО «НИИПП» (входит в ГК «Ростех»)	Н/Д	https://www.list-org.com/company/38207	Выручка в 2019 году – 2,01 млн руб.	Микро
82	ООО «Флайтус»	Н/Д	https://companies.rbc.ru/id/1207700452190-ooo-flajter/	Выручка в 2023 году – 0,42 млн руб.	Микро
83	ООО «РУАВИА»	0,01	https://www.rusprofile.ru/id/1242400021038	–	Микро
84	ООО «АгроДрон-Групп»	0,00	https://www.rusprofile.ru/id/10577502	–	Микро
85	ООО «ЗБМ-АЭРО»	0,00	https://www.rusprofile.ru/id/1247300005655	–	Микро
86	ООО «Моторно»	0,00	https://www.list-org.com/company/14677630	–	Недостаточно данных для определения категории
87	ООО «Техноджет»	0,00	https://www.list-org.com/company/3320700	–	Микро
88	Торгово-производственная компания «КИНГ-ПРО»	0,00	https://www.list-org.com/company/14675532	–	Недостаточно данных для определения категории
89	ООО «Солиюд Аэриал»	0,00	https://www.audit-it.ru/contragent/1237800101505_ooo-solityud-aerial	–	Недостаточно данных для определения категории
90	Группа компаний «Инэнерджи»	0,00	https://companies.rbc.ru/id/1177746144399-ao-gruppa-kompanij-inenerdzh/	Убыток за 2024 год (-4) тыс. руб.	Недостаточно данных для определения

№	Название компании	Выручка 2024, млн руб.	Источник	Комментарий (при наличии)	Категория компаний (типы бизнеса) ⁵
			https://www.list-org.com/company/9642681		категории
91	Группа компаний «Беспилотные системы» (головное предприятие ООО «Финко»)	Н/Д	https://www.audit-it.ru/contragent/1101831006144_ooo-finko	–	Недостаточно данных для определения категории
92	Группа компаний «Тихие Крылья» (входит в АО «Концерн «Калашников» ГК «Ростех»)	Н/Д	https://companies.rbc.ru/id/1207800024662-obschestvo-s-ogranichennoj-otvetstvennostyu-tge-energoustanovki/	–	Недостаточно данных для определения категории
93	Филиал ПАО «Компания «Сухой» «Новосибирский авиационный завод им. В.П. Чкалова» (входит в ПАО «ОАК» ГК «Ростех»)	Н/Д	–	–	Недостаточно данных для определения категории
94	ООО «КБ Русь»	Н/Д	–	–	Недостаточно данных для определения категории
95	ООО «ЦАРС»	Н/Д	https://www.list-org.com/company/12244667	–	Недостаточно данных для определения категории
96	ООО «Научно-производственное объединение РУ-СТЕХДРОН»	Н/Д	https://www.audit-it.ru/contragent/1235000022179_ooo-npo-rustekhdron	–	Недостаточно данных для определения категории
97	ООО «Д-Старт»	Н/Д	https://companies.rbc.ru/id/1205500015104-obschestvo-s-ogranichennoj-otvetstvennostyu-d-	Убыток в 2022 году (-367) тыс. руб.	Недостаточно данных для определения категории

№	Название компании	Выручка 2024, млн руб.	Источник	Комментарий (при наличии)	Категория компаний (типы бизнеса) ⁵
			start/		
Поставка/производство оборудования и оказание услуг в сфере эксплуатации БВС					
1	АО «Государственная транспортная лизинговая компания» (АО «ГТЛК»)	Н/Д	https://companies.rbc.ru/id/1027739407189-pao-publichnoe-aktsionernoe-obshchestvo-gosudarstvennaya-transportnaya-lizingovaya-kompaniya/	Выручка в 2022 году – 70 470,00 млн руб.	Крупные
2	АО «ЗАСЛОН»	28 000,00	https://zaslon.ru/design/img/investoram/godovoi_otchet.pdf	–	Крупные
3	ООО «АвиаКомплекс»	3 500,00	https://www.audit-it.ru/contragent/1147746472928_ooo-aviakompleks	–	Крупные
4	ООО «Фирма «НИТА» Санкт-Петербург	Н/Д	https://companies.rbc.ru/id/1027807584892-ooo-firma-novye-informatsionnye-tehnologii-v-aviatsii/	Выручка в 2021 году – 1 670,00 млн руб.	Средние
5	АО АК «Лайт Эйр»	257,00	https://www.audit-it.ru/contragent/1030204615088_ao-ak-layt-eyr	–	Малые
6	ООО «Политэк»	106,00	https://www.rusprofile.ru/id/435654	–	Микро
7	ООО «Флай Дрон»	103,00	https://www.audit-it.ru/contragent/1217700001683_ooo-flay-dron	–	Микро
8	ООО АК «РусАвиа»	76,70	https://www.audit-it.ru/contragent/1160280096130_ooo-ak-rusavia	–	Микро

№	Название компании	Выручка 2024, млн руб.	Источник	Комментарий (при наличии)	Категория компаний (типы бизнеса) ⁵
9	ООО «СКАНТРЭК»	46,06	https://companies.rbc.ru/id/1157746864615-ooo-trejsejr/	–	Микро
10	ООО «Виртуальные ассистенты»	38,00	https://www.audit-it.ru/contragent/1197746535360_ooo-virtualnye-assistenty	–	Микро
11	ОКБ «Сокол»	36,40	https://www.audit-it.ru/contragent/1227700478587_ooo-okb-sokol	–	Микро
12	ООО «Беспилотные авиационные системы» (ООО «БАС»)	34,10	https://www.rusprofile.ru/id/1227700511939	–	Микро
13	ООО НВЦ «Интеграционные технологии»	29,20	https://www.audit-it.ru/contragent/1045001851894_ooo-nvts-integratsionnye-tehnologii	–	Микро
14	ООО «Радиомодуль»	19,90	https://www.audit-it.ru/contragent/1067760480006_ooo-radiomodul	–	Микро
15	ООО «БАС-технологии»	Н/Д	https://companies.rbc.ru/id/1173850009167-ooo-bas-tehnologii/	Выручка в 2023 году – 7,27 млн руб.	Микро
16	ООО «Асопс»	Н/Д	https://companies.rbc.ru/id/1237700050389-obschestvo-s-ogranichennoj-otvetstvennostyu-asops/#general	Выручка в 2023 году – 3,09 млн руб.	Микро
17	ООО «Оператор инфраструктуры БАС»	0,28	https://companies.rbc.ru/id/1248600002672-ooo-operator-	–	Микро

№	Название компании	Выручка 2024, млн руб.	Источник	Комментарий (при наличии)	Категория компаний (типы бизнеса) ⁵
			infrastrukturyi-bas/		
18	ООО «Аэролинк»	0,00	https://www.list-org.com/company/13575702	–	Микро
19	ООО «Дронопорт Урал»	0,00	https://www.list-org.com/company/14258947	–	Микро
20	ООО «Т-АВИАС»	0,00	https://www.list-org.com/company/14227707	–	Микро
21	Группа компаний «ЛОТОСНИК»	Н/Д	–	–	Недостаточно данных для определения категории
22	ООО «Чистое небо»	Н/Д	–	–	Недостаточно данных для определения категории
Разработка автоматизированных систем и программного обеспечения для проектирования и производства БВС (разработчики и вендоры)					
1	АО «Топ Системы»	2 350, 00	https://companies.rbc.ru/id/1087746953557-top-sistemyi/#general	–	Крупные
2	АО «СиСофт Девелопмент» (входит в группу компаний «СиСофт»)	1 690, 00	https://companies.rbc.ru/id/1067746335711-ao-sisoft-development/	–	Средние
3	ООО «ПТЕРО» (входит в группу компаний «ИнЭнерджи»)	1 200, 00	https://www.rusprofile.ru/id/10974454	–	Средние
4	ООО «ОАК-Инжиниринг» (входит в ПАО «ОАК», ГК «Ростех»)	398,36	https://companies.rbc.ru/id/1047796323057-obschestvo-s-ogranichennoj-otvetstvennostyu-flaj-	–	Малые

№	Название компании	Выручка 2024, млн руб.	Источник	Комментарий (при наличии)	Категория компаний (типы бизнеса) ⁵
			fitnes-grup/		
5	ООО «ТЕСИС»	290,40	https://companies.rbc.ru/id/1027739083778-tesis/	–	Малые
6	ООО «КванторФорм»	185,80	https://companies.rbc.ru/id/1027739562421-ooo-kvantorform/	–	Малые
7	ООО «НЕТСОФТ»	168,76	https://companies.rbc.ru/id/1037716024048-ooo-netsoft/	–	Малые
8	ООО «ФИДЕСИС»	149,97	https://companies.rbc.ru/id/1107746291443-ooo-fidesis/	–	Малые
9	ООО «Монолит» (входит в холдинг «Т1»)	42,70	https://www.audit-it.ru/contragent/121770255684_ooo-monolit	–	Микро
10	ООО «НИИ «АСОНИКА»	38,77	https://companies.rbc.ru/id/1093332002312-ooo-nauchno-issledovatel'skij-institut-asonika/	–	Микро
11	НИЦ «Аэроскрипт»	35,70	https://www.audit-it.ru/contragent/1197847042458_ooo-nits-aeroskript	–	Микро
Осуществление научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в сфере БВС (научно-исследовательские и образовательные организации)					
1	АО «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте» (АО «НИИАС»)	–	–	–	Не применимо

№	Название компании	Выручка 2024, млн руб.	Источник	Комментарий (при наличии)	Категория компаний (типы бизнеса) ⁵
2	АО «Научно-исследовательский институт вычислительных комплексов им. М. А. Карцева» (АО «НИИВК им. М.А. Карцева»)	–	–	–	Не применимо
3	ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (ВУНЦ ВВС «ВВА»)	–	–	–	Не применимо
4	ФАУ «Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем» (ФАУ «ГосНИИАС», входит в состав НИЦ «Институт имени Н. Е. Жуковского»)	–	–	–	Не применимо
5	ФАУ «Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н. Е. Жуковского» (ФАУ «ЦАГИ», входит в состав НИЦ «Институт имени Н. Е. Жуковского»)	–	–	–	Не применимо
6	ФАУ «Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова» (ЦИАМ им. П.И. Баранова, входит в НИЦ «Институт имени Н.Е. Жуковского»)	–	–	–	Не применимо

№	Название компании	Выручка 2024, млн руб.	Источник	Комментарий (при наличии)	Категория компаний (типы бизнеса) ⁵
7	ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева» (Самарский университет)	–	–	–	Не применимо
8	ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» (ФГАОУ ВО «СПбПУ»)	–	–	–	Не применимо
9	ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова» (БГТУ им. В.Г. Шухова)	–	–	–	Не применимо
10	ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет им. А.Н.Туполева» (ФГБОУ ВО «КНИТУ-КАИ»)	–	–	–	Не применимо
11	ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» (МАИ, Московский авиационный институт)	–	–	–	Не применимо
12	ФГБОУ ВО «Московский государственный университет геодезии и картографии»	–	–	–	Не применимо

№	Название компании	Выручка 2024, млн руб.	Источник	Комментарий (при наличии)	Категория компаний (типы бизнеса) ⁵
	(МИИГАиК)				
13	ФГУП «Российский федеральный ядерный центр — Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики» (ФГУП «РФЯЦ - ВНИИЭФ», входит в ГК «Росатом»)	–	–	–	Не применимо
14	ФГУП «Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем» (ГосНИИАС)	–	–	–	Не применимо
15	АНО ДПО «Многопрофильный центр квалификаций «Цель»	89,18	https://companies.rbc.ru/id/1197700007075-avtonomnaya-nekommercheskaya-organizatsiya-dopolnitelnogo-professionalnogo-obrazovaniya-mnogoprofilnyij-tsentr-kvalifikatsij-tsel/	–	Не применимо
Отраслевые ассоциации и технопарки					
1	Ассоциация работодателей и предприятий индустрии беспилотных авиационных систем «АЭРО-НЕКСТ»	170,00	https://www.audit-it.ru/contragent/1137799009688_assotsiatsiya-aeronekst	–	Не применимо
2	АНО «Федеральный центр беспилотных авиационных систем» (АНО «ФЦ БАС»)	3,20	https://www.audit-it.ru/contragent/1237700227820_ano-fts-bas	–	Не применимо
3	АНО «Беспилотные	0,59	https://www.rusprofile.r	–	Не применимо

№	Название компании	Выручка 2024, млн руб.	Источник	Комментарий (при наличии)	Категория компаний (типы бизнеса) ⁵
	объединенные технологии»		u/id/1230200046702		
4	АНО «Научно-Производственный Центр Беспилотных Авиационных Систем Томской Области» (АНО «НПЦ БАС ТО»)	0,13	https://companies.rbc.ru/id/1237000009410-ano-ano-npts-bas-to/	–	Не применимо
5	Федеральная Ассоциация НПО «БпЛА»	0,00	https://companies.rbc.ru/id/1227700485154-federalnaya-assotsiatsiya-nauchno-proizvodstvennoe-obedinenie-bespilotnyih-letatelnyih-apparatov/	–	Не применимо
6	НПЦ БАС «Технопарк Санкт-Петербурга» (входит в АО «Технопарк Санкт-Петербурга»)	Н/Д	–	–	Не применимо

Примечание к таблице (расшифровка групп распределения компаний):

Проектирование и производство БВС и компонентов БВС (компании-производители)

Компании, осуществляющие полный цикл создания и поддержки БВС, включая научные исследования, проектирование, разработку, производство, тестирование и послепродажное обслуживание. Категория включает в себя компании, разрабатывающие как БВС в целом, так и отдельные компоненты (двигатели, авионику, системы управления, датчики и т.д.).

Разработка автоматизированных систем и программного обеспечения для проектирования и производства БВС (разработчики и вендоры)

Компании, занимающиеся исключительно разработкой, тестированием и внедрением программного обеспечения для разработки, производства и эксплуатации БВС и компонентов.

Осуществление научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в сфере БВС (научно-исследовательские и образовательные организации)

Организации, осуществляющие проведение полного комплекса фундаментальных и прикладных научных исследований, а также опытно-конструкторских работ, направленные на создание и

развитие изделий и технологий в области беспилотной авиации, включая новые типы БВС и компонентов, таких как перспективные материалы, системы управления, сенсоры, алгоритмы обработки данных и др., за исключением производства БВС и их компонентов.

Поставка/производство оборудования и оказание услуг в сфере эксплуатации БВС

Компании, осуществляющие поставку специализированного оборудования, необходимого для эксплуатации БВС (станции управления, зарядные устройства, наземные комплексы), а также предоставляющие широкий спектр услуг, связанных с эксплуатацией БВС, включая техническое обслуживание и ремонт, консультационные услуги по организации полетов, страхование, лизинг, транспортировка и другие виды сервисной поддержки. Эта категория объединяет компании, обеспечивающие комплексное сопровождение эксплуатации БВС.

Отраслевые ассоциации и технопарки

Некоммерческие организации (ассоциации, союзы), объединяющие компании и организации в сфере БВС для содействия развитию отрасли, стандартизации и продвижению инноваций. А также организации, предоставляющие инфраструктуру, сервисы и поддержку для развития стартапов и инновационных компаний в области беспилотной авиации (технопарки, бизнес-инкубаторы). Категория объединяет организации, способствующие консолидации участников и созданию благоприятной среды для развития отрасли БВС.

ГЛОССАРИЙ

Беспилотная авиационная система (БАС)	– Комплекс, включающий одно или несколько беспилотных воздушных судов (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».
Геоинформационная система (ГИС)	– Геоинформационная система: Информационная система, оперирующая пространственными данными (ГОСТ Р 52438–2005). Геоинформационная система предназначена для сбора, хранения, анализа и графической визуализации пространственных данных и связанной с ними информации о представленных в ГИС объектах*.
Гибридная конструкция	– Конструкция, изготовленная с применением как композиционных, так и металлических материалов [СПбПУ].
Композитная конструкция	– Конструкция, изготовленная из композиционных материалов [СПбПУ].
Промышленный интернет вещей (IIot)	– Промышленная экосистема на основе сервисов (служб), построенная на принципах сетевого взаимодействия, интероперабельности данных и интероперабельности систем производственных ресурсов для реализации настраиваемой комплектации производственных материалов, производства по заказу, рациональной оптимизации производственных процессов, быстрой адаптации производственной среды и эффективного использования ресурсов (ПНСТ 642–2022).

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 (ГОСТ Р 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 лицам в соответствии с заданными правами доступа (ГОСТ Р 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

- **Средства управления оборудованием с числовым программным управлением:** Программное обеспечение (модули), которое

оборудованием с
числовым
программным
управлением (CAM)

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.

Технологическое
лидерство

- Превосходство технологий и (или) продукции по основным параметрам (функциональным, техническим, стоимостным) над зарубежными аналогами***.

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***.

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:

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

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.

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).

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**.

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-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*.

* 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)

*** Распоряжение Правительства РФ от 20.05.2023 № 1315-р «Об утверждении Концепции технологического развития на период до 2030 года»

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 Росстата от 21.10.2024 N 483 — Редакция от 21.10.2024 — Контур.Норматив – 19.06.2025. – URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=480912> (дата обращения: 19.06.2025)
3. Лопота А.В., Николаев А.Б. Беспилотные летательные аппараты. Современные тенденции развития робототехнических комплексов. – URL: <https://rtc.ru/media/images/docs/book/vozdushnie.pdf> (дата обращения: 04.06.2025)
4. Путин: Россия создает войска беспилотных систем как отдельный род войск – Ведомости. – URL: <https://www.vedomosti.ru/politics/news/2025/06/12/1116842-putin-rossiya-sozdaet> (дата обращения: 19.06.2025)
5. Commercial Drones in 2023: Trends and Growth Prospects | Commercial UAV News. – URL: <https://www.commercialuavnews.com/international/commercial-drones-in-2023-trends-and-growth-prospects> (дата обращения: 29.05.2025)
6. Global Drone Technology Markets Size, Share and Growth 2029. – URL: <https://www.bccresearch.com/market-research/instrumentation-and-sensors/drone-technology-global-markets.html> (дата обращения: 29.05.2025)
7. Unmanned Aerial Vehicle Market Size to Hit USD 157.21 Bn by 2034. – URL: <https://www.precedenceresearch.com/unmanned-aerial-vehicle-market> (дата обращения: 29.05.2025)
8. 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: 29.05.2025)
9. Shinde Y. Drone Market to Surge at a CAGR of 12.7% through 2032 // Market.us Scoop – 1.03.2024. – URL: <https://scoop.market.us/drone-market-to-surge-at-a-cagr-of-12-7-through-2032/> (дата обращения: 29.05.2025)
10. Unmanned Aerial Vehicle [UAV] Market Size, Share, Report 2032. – URL: <https://www.fortune-businessinsights.com/industry-reports/unmanned-aerial-vehicle-uav-market-101603> (дата обращения: 29.05.2025)
11. UAV Drone Market Size, Share Growth Future Scope To 2034. – URL: <https://www.marketresearchfuture.com/reports/uav-drone-market-26515> (дата обращения: 29.05.2025)
12. UAV Drones Market Report 2025 – Size, Growth, Segmentation Report 2034. – URL: <https://www.thebusinessresearchcompany.com/report/uav-drones-global-market-report> (дата обращения: 29.05.2025)
13. Materials Informatics Market Size to Hit USD 1,139.45 Million by 2034. – URL: <https://www.precedenceresearch.com/material-informatics-market> (дата обращения: 29.05.2025)
14. Material Informatics Market Share and Forecast, 2034 // Polaris. – URL: <https://www.polaris-marketresearch.com/industry-analysis/material-informatics-market> (дата обращения: 29.05.2025)
15. Material Informatics Market by Material, Technique, Application and Region – Global Forecast to 2030. – URL: <https://www.giiresearch.com/report/mama1671381-material-informatics-market->

- by-material-chemicals.html (дата обращения: 29.05.2025)
16. Material Informatics Market worth \$410.4 million in 2030 – Exclusive Report by MarketsandMarkets™. – URL: <https://www.prnewswire.com/news-releases/material-informatics-market-worth-410-4-million-in-2030---exclusive-report-by-marketsandmarkets-302389748.html> (дата обращения: 29.05.2025)
17. Commercial Drones Market Size, Growth and Forecast 2033. – URL: <https://www.imarcgroup.com/commercial-drones-market> (дата обращения: 29.05.2025)
18. Rotary-Wing Unmanned Aerial Vehicle [UAV] Market Size, 2032. – URL: <https://www.fortunebusinessinsights.com/rotary-wing-unmanned-aerial-vehicle-uav-market-110348> (дата обращения: 29.05.2025)
19. Heaphy M., Watt MS, Dash JP. UAVs for data collection-plugging the gap // New Zealand Journal of Forestry. – 2017. – Vol. 62 (1). – P. 23-30.
20. Fixed Wing VTOL UAV Market Growth, Trends 2032 | MRFR. – URL: <https://www.marketresearchfuture.com/reports/fixed-wing-vtol-uav-market-27227> (дата обращения: 29.05.2025)
21. The Use of Composite Materials in Unmanned Aerial Vehicles (UAVs). – URL: <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=12234> (дата обращения: 29.05.2025)
22. Srinivas K. Composite material testing for drones and UAV applications // Finite Element Analysis FEA Consulting Services | Hyperelastic Thermoplastics Rubber Composite Material Fatigue Testing Laboratory – 7.01.2024. – URL: <https://advanses.com/composite-material-testing-for-drones-and-uav/> (дата обращения: 29.05.2025)
23. Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) | Hexcel. – URL: <https://hexcel.com/Resources/UAV> (дата обращения: 29.05.2025)
24. Military Drones Market Size to Hit USD 33.61 Billion By 2034. – URL: <https://www.precedenceresearch.com/military-drones-market> (дата обращения: 29.05.2025)
25. Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Drones Market Size to Hit USD 186.79 Billion by 2034. – URL: <https://www.precedenceresearch.com/unmanned-aerial-vehicle-drones-market> (дата обращения: 29.05.2025)
26. Top 10 Companies Leading the Drone Technology Market. – URL: <https://blog.bccresearch.com/top-10-companies-leading-the-drone-technology-market> (дата обращения: 29.05.2025)
27. The Top 29 Drone Companies in 2025 – Drone U™. – URL: <https://www.thedroneu.com/blog/top-drone-companies/> (дата обращения: 29.05.2025)
28. Trimble Net Income 2010-2025 | TRMB. – URL: <https://www.macro-trends.net/stocks/charts/TRMB/trimble/net-income> (дата обращения: 25.05.2025)
29. Investor Relations. – URL: <https://investor.trimble.com/overview/default.aspx> (дата обращения: 25.05.2025)
30. Sandra-Ann Bentley Systems Announces Fourth Quarter and 2023 Results, and Its 2024 Financial Outlook | Bentley Systems | Infrastructure Engineering Software Company – 27.02.2024. – URL: <https://www.bentley.com/news/bsy-announce-q4-and-2023-results-and-2024-financial-outlook/> (дата обращения: 29.05.2025)
31. AGEAGLE AERIAL SYSTEMS INC. – URL: <https://s3.amazonaws.com/sec.ir-pass.cc/2346/0001493152-24-046810.pdf> (дата обращения: 25.05.2025)
32. AgEagle Aerial Systems Inc. | Drones, Sensors and Software // AgEagle Aerial Systems Inc. – URL: <https://ageagle.com/> (дата обращения: 29.05.2025)

33. AeroVironment, Inc. Revenue Breakdown – NASDAQ:AVAV // TradingView. – URL: <https://www.tradingview.com/symbols/NASDAQ-AVAV/financials-revenue/> (дата обращения: 31.03.2025)
34. AV | Global Defense Technology across Air, Land, Sea, Space, and Cyber // AeroVironment, Inc.. – URL: <https://www.avinc.com> (дата обращения: 29.05.2025)
35. Insitu: Revenue, Competitors, Alternatives. – URL: <https://growjo.com/company/Insitu> (дата обращения: 29.05.2025)
36. Insitu. – URL: <https://www.insitu.com/> (дата обращения: 04.06.2025)
37. Skydio Revenue and Competitors. – URL: <https://growjo.com/company/Skydio> (дата обращения: 25.05.2025)
38. Skydio autonomous drones for DFR, inspection, national security. – URL: <https://www.skydio.com/> (дата обращения: 29.05.2025)
39. The Fastest Growing Companies w/ Contacts & Emails. – URL: <https://growjo.com/?query=ESRI> (дата обращения: 25.05.2025)
40. GIS Software for Mapping and Spatial Analytics | Esri. – URL: <https://www.esri.com/en-us/home> (дата обращения: 29.05.2025)
41. Parrot Reports Full Year 2024 Earnings – 25.03.2025. – URL: <https://simply-wall.st/stocks/fr/tech/epa-parrot/parrot-shares/news/parrot-reports-full-year-2024-earnings> (дата обращения: 29.05.2025)
42. Parrot | European leader in professional drones // Parrot. – URL: <https://www.parrot.com/en> (дата обращения: 29.05.2025)
43. Wingtra Revenue and Competitors. – URL: <https://growjo.com/company/Wingtra> (дата обращения: 25.05.2025)
44. Get survey data in hours with Wingtra // Wingtra. – URL: <https://wingtra.com/> (дата обращения: 29.05.2025)
45. Flyability Revenue and Competitors. – URL: <https://growjo.com/company/Flyability> (дата обращения: 29.05.2025)
46. Flyability Confined Space Inspection Drones | Safe, Fast, and Cost-Effective. – URL: <https://www.flyability.com> (дата обращения: 29.05.2025)
47. DroneDeploy Revenue and Competitors. – URL: <https://growjo.com/company/DroneDeploy> (дата обращения: 25.05.2025)
48. Reality capture for full lifecycle visibility | Photo Documentation | DroneDeploy. – URL: <https://www.dronedeploy.com/> (дата обращения: 29.05.2025)
49. Airobotics: Revenue, Competitors, Alternatives. – URL: <https://growjo.com/company/Airobotics> (дата обращения: 29.05.2025)
50. Airobotics – Trusted Autonomous Drones // Airobotics. – URL: <https://www.airoboticsdrones.com/> (дата обращения: 29.05.2025)
51. Propeller Aero Revenue and Competitors. – URL: https://growjo.com/company/Propeller_Aero#google_vignette (дата обращения: 25.05.2025)
52. Propelleraero // Propeller. – URL: <https://www.propelleraero.com/> (дата обращения: 29.05.2025)
53. BRINC Revenue and Competitors. – URL: https://growjo.com/company/BRINC#google_vignette (дата обращения: 25.05.2025)
54. BRINC – Technology in the Service of Public Safety // BRINC. – URL: <https://brincdrones.com/> (дата обращения: 29.05.2025)

55. Airspace Link Revenue and Competitors. – URL: https://growjo.com/company/Airspace_Link (дата обращения: 25.05.2025)
56. Airspace Link. – URL: <https://airspace-link.com> (дата обращения: 29.05.2025)
57. Delair Revenue and Competitors. – URL: <https://growjo.com/company/Delair> (дата обращения: 25.05.2025)
58. DELAIR – Professional Drones and Sensors for Industry – Delair. – URL: <https://delair.aero/> (дата обращения: 29.05.2025)
59. Freefly Systems Revenue and Competitors. – URL: https://growjo.com/company/Freefly_Systems#google_vignette (дата обращения: 25.05.2025)
60. Freeflysystems // Freefly Systems. – URL: <https://freeflysystems.com/> (дата обращения: 29.05.2025)
61. How Pix4D hit \$14.7M revenue with a 210 person team in 2024. // Latka. – URL: <https://get-latka.com/companies/pix4d> (дата обращения: 29.05.2025)
62. Professional photogrammetry and drone mapping software // Pix4D. – URL: <https://www.pix4d.com/> (дата обращения: 29.05.2025)
63. Croatian Orqa Secures €5.8M to Build the “DJI of the West” – TheRecursive.com. – URL: <https://therecursive.com/orqa-lightspeed-venture-partners-investment-seed-profile/> (дата обращения: 29.05.2025)
64. FPV Drone – Drones for Sale with Ideal Price – Orqa. – URL: <https://orqafpv.com/> (дата обращения: 29.05.2025)
65. Guardian Agriculture: Revenue, Competitors, Alternatives. – URL: https://growjo.com/company/Guardian_Agriculture (дата обращения: 29.05.2025)
66. Aerial Utility Vehicle // Guardian. – URL: <https://guardian.ag/staging/2838/> (дата обращения: 29.05.2025)
67. Inc D. Draganfly Reports Q4 and 2024 Results // GlobeNewswire News Room – 27.03.2025. – URL: <https://www.globenewswire.com/news-release/2025/03/27/3051059/0/en/Draganfly-Reports-Q4-and-2024-Results.html> (дата обращения: 29.05.2025)
68. Draganfly – UAV & Drone Hardware and Software Innovation for 20+ Years. – URL: <https://draganfly.com/> (дата обращения: 29.05.2025)
69. How Airdata UAV hit \$1.2M revenue and 201.8K customers in 2024. // Latka. – URL: <https://get-latka.com/companies/airdata-uav> (дата обращения: 29.05.2025)
70. Airdata. – URL: <https://airdata.com/> (дата обращения: 25.05.2025)
71. Aerial Map Processing & Flight Control. – URL: <https://www.mapsmadeeasy.com/> (дата обращения: 25.05.2025)
72. VOTIX | Drone Automation and Orchestration // VOTIX – 7.08.2024. – URL: <https://votix.com/> (дата обращения: 29.05.2025)
73. “Воздушный кодекс Российской Федерации” от 19.03.1997 N 60-ФЗ (ред. от 21.04.2025) (с изм. и доп., вступ. в силу с 02.05.2025) (дата обращения: 29.05.2025)
74. Итоги 2024 года для рынка беспилотной авиации / Ассоциация «АЭРОНЕКСТ» // АЭРОНЕКСТ. – URL: https://aeronext.aero/press_room/analytics/302672 (дата обращения: 29.05.2025)
75. Распоряжение Правительства РФ от 21.06.2023 N 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: 29.05.2025)
76. О реализации национального проекта «Беспилотные авиационные системы» в период до 2030 года. – URL: https://minpromtorg.gov.ru/storage/common/0%20национальном%20проекте_1.pdf (дата обращения: 25.02.2025)
 77. Рынок гражданских беспилотных аппаратов. – URL: <https://rt-static.rt.ru/sites/default/files/b2b/docs/bpla.pdf> (дата обращения: 25.05.2025)
 78. Гид TAdviser по российским производителям гражданских БПЛА: 20 наиболее заметных игроков рынка // TAdviser.ru – 29.05.2025. – URL: https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:20_наиболее_заметных_игроков_рынка_производителей_гражданских_БАС (дата обращения: 29.05.2025)
 79. Вертолёты России. – URL: <https://www.rhc.ru/> (дата обращения: 29.05.2025)
 80. «Вертолёты России» завершили год с растущей выручкой // TAdviser.ru. – URL: https://www.tadviser.ru/index.php/Компания:Вертолёты_России (дата обращения: 27.06.2025)
 81. ООО «Геоскан» Санкт-Петербург. – URL: <https://www.rusprofile.ru/id/4052164> (дата обращения: 29.05.2025)
 82. ГК «Геоскан» | Беспилотные технологии для профессионалов. – URL: <https://www.geoscan.ru/ru> (дата обращения: 29.05.2025)
 83. Компания Кронштадт | Беспилотные летательные аппараты. – URL: <https://kronshtadt.ru/> (дата обращения: 29.05.2025)
 84. АО «ИНЖЕНЕРНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ РЕШЕНИЯ». – URL: <https://checko.ru/company/inzhenerno-proizvodstvennye-resheniya-1237800026397> (дата обращения: 29.05.2025)
 85. ООО «Птеро». – URL: <https://www.rusprofile.ru/id/10974454> (дата обращения: 29.05.2025)
 86. Беспилотные авиационные системы «ПТЕРО». Аэрофотосъемка, воздушный мониторинг. – URL: <http://ptero.ru/> (дата обращения: 29.05.2025)
 87. ООО «Альбатрос». – URL: <https://www.rusprofile.ru/id/10992516> (дата обращения: 29.05.2025)
 88. ООО «Альбатрос» – беспилотные летательные комплексы в России. – URL: <https://alb.aero/> (дата обращения: 29.05.2025)
 89. ООО «АЭРОМАКС» | РБК Компании. – URL: <https://companies.rbc.ru/id/1177746007900-ooo-aeromaks/> (дата обращения: 27.06.2025)
 90. «Аэромакс» | Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) в России. – URL: <https://www.aeromax-group.ru/> (дата обращения: 29.05.2025)
 91. Официальный сайт АО «ВНИИ «Вега». – URL: <https://vniivega.ru> (дата обращения: 29.05.2025)
 92. АО «ВНИИ «Вега». – URL: <https://www.rusprofile.ru/id/2549281> (дата обращения: 29.05.2025)
 93. ООО «Аэродин». – URL: <https://www.rusprofile.ru/id/10962169> (дата обращения: 29.05.2025)
 94. Aerodyne.tech. – URL: <https://aerodyne.tech> (дата обращения: 29.05.2025)
 95. АВАКС — Автономные аэрокосмические системы. – URL: <https://uav-siberia.com/> (дата обращения: 29.05.2025)
 96. ООО НПП «АВАКС – ГеоСервис» // РБК Компании. – URL: <https://companies.rbc.ru/id/1122468015999-ooo-obschestvo-s-ogranichennoj-otvetstvennostyu-nauchno-proizvodstvennoe-predpriyatie-avtonomnyie-aerokosmicheskie->

- sistemyi-geoservis/ (дата обращения: 27.06.2025)
97. ООО «Люфтера». – URL: <https://www.rusprofile.ru/id/11108940> (дата обращения: 29.05.2025)
 98. Luftera – производство беспилотных летательных аппаратов. – URL: <https://luftera.ru/> (дата обращения: 29.05.2025)
 99. ООО «Роспроект». – URL: <https://www.rusprofile.ru/id/3056035> (дата обращения: 29.05.2025)
 100. Официальный сайт «Омджет» / Омджет. – URL: <https://omjet.ru/> (дата обращения: 29.05.2025)
 101. ООО «Русаэролаб». – URL: <https://www.rusprofile.ru/id/7640371> (дата обращения: 29.05.2025)
 102. АэроЛаборатория | АвиаПорт.Ru. – URL: <https://www.aviaport.ru/aviafirms/3463/> (дата обращения: 29.05.2025)
 103. Аерохо. – URL: <https://aerохо.ru/> (дата обращения: 29.05.2025)
 104. ООО «АЭРОКСО» – Москва – ОГРН 5147746079333, ИНН 7718998099 – юридический адрес, контакты, телефон, гендиректор | РБК Компании. – URL: <https://companies.rbc.ru/id/5147746079333-ooo-aerokso/> (дата обращения: 27.06.2025)
 105. ООО «ОПТИПЛЕЙН АЭРОДИНАМИКА» // РБК Компании. – URL: <https://companies.rbc.ru/id/1175476104924-ooo-optiplejn-aerodinamika/> (дата обращения: 27.06.2025)
 106. Оптиплайн. – URL: <https://optiplane.ru/> (дата обращения: 29.05.2025)
 107. АО «ЗАПА АЭРО» // РБК Компании. – URL: <https://companies.rbc.ru/id/1247700258651-ao-zala-aero/> (дата обращения: 27.06.2025)
 108. ZALA – Беспилотные системы (БПЛА), беспилотные воздушные суда (БВС) // ZALA – Беспилотные системы (БПЛА), беспилотные воздушные суда (БВС). – URL: <https://zala-aero.com/> (дата обращения: 29.05.2025)
 109. ООО «Агродронгрупп» Москва (ИНН 7724375769) адрес и телефон. – URL: <https://www.rusprofile.ru/id/10577502> (дата обращения: 27.06.2025)
 110. Группа компаний АгроДронГрупп. – URL: <https://agrodronegroup.ru/> (дата обращения: 29.05.2025)
 111. умолчанию Администратор ГК «Беспилотные системы» | Производство беспилотных летательных аппаратов // SUPERCAM. – URL: <https://supercam.aero/> (дата обращения: 29.05.2025)
 112. Тихие крылья – Инжиниринговый центр БАС: разработка, производство и применение беспилотных систем. – URL: <https://silentwings.ru/> (дата обращения: 29.05.2025)
 113. Вертолёты России. – URL: <https://www.rhc.ru/> (дата обращения: 29.05.2025)
 114. О компании | ГК «Геоскан». – URL: <https://www.geoscan.ru/ru/about> (дата обращения: 29.05.2025)
 115. ООО РОСПРОЕКТ, Омская область, Омск. – URL: <https://spark-interfax.ru/omskaya-oblast-omsk/ooo-rosproekt-inn-5501062938-ogrn-1025500517822-7634f9d6d4e742ceb256f9e1c60fcd23> (дата обращения: 29.05.2025)
 116. РусАэроЛаб – Российские беспилотные системы. – URL: <https://www.aerolab.ru/> (дата обращения: 29.05.2025)
 117. Аерохо. – URL: <https://aerохо.ru/> (дата обращения: 29.05.2025)
 118. ООО КБ АЭРОКСО, Москва. – URL: <https://spark-interfax.ru/moskva-golyanovo/ooo-kb-aerokso-inn-9718261407-ogrn-1247700435916-1b86dcf42e193784e063259aa8c0f8a5> (дата обращения: 29.05.2025)
 119. ООО ГК ТИХИЕ КРЫЛЬЯ, Санкт-Петербург. – URL: <https://spark-interfax.ru/sankt-peterburg->

- kirovski/ooo-gk-tikhie-krylya-inn-7802703755-ogrn-1207800024662-9f3663a5f5405c9be053179aa8c0b045 (дата обращения: 29.05.2025)
120. Tsai S. Three decades of composites activities at US Air Force Materials Laboratory // *Composites Science and Technology*. – Vol. 65. – Issue 15-16. – P. 2295-2299. – ISSN 02663538. – DOI 10.1016/j.compscitech.2005.05.017.
 121. Borchardt J. Unmanned aerial vehicles spur composites use // *Reinforced Plastics*. – Vol. 48. – Issue 4. – P. 28-31. – ISSN 00343617. – DOI 10.1016/S0034-3617(04)00194-8.
 122. Low-cost development of a fully composite fixed-wing hybrid VTOL UAV / S. Sonkar, P. Kumar, R. George, T. Yuvaraj, D. Philip, A. Ghosh // *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*. – Vol. 46. – Issue 4. – Article 252. – ISSN 1678-5878, 1806-3691. – DOI 10.1007/s40430-024-04785-2.
 123. Unmanned Composites Market to Reach USD 3.24 Billion by 2033 | CAGR of 8.21%. – URL: <https://evolvebi.com/report/unmanned-composites-market-analysis/> (дата обращения: 29.05.2025)
 124. Setlak L., Kowalik R., Lusiak T. Practical Use of Composite Materials Used in Military Aircraft // *Materials*. – 25.08.2021. – Vol. 14. – Issue 17. – Article 4812. – ISSN 1996-1944. – DOI 10.3390/ma14174812.
 125. Introduction to Composite Materials and their application and use in Aircraft and Unmanned Aerial Systems (UAS) • SASSofiaSasSofia. – URL: <https://sassofia.com/blog/introduction-to-composite-materials-and-their-application-and-use-in-aircraft-and-unmanned-aerial-systems-uas/> (дата обращения: 29.05.2025)
 126. Composites: Airbus continues to shape the future | Airbus. – URL: <https://www.airbus.com/en/newsroom/news/2017-08-composites-airbus-continues-to-shape-the-future> (дата обращения: 29.05.2025)
 127. Boron Fibers in Aviation | Borates Today. – URL: <https://borates.today/boron-fibers-aviation/> (дата обращения: 29.05.2025)
 128. Wu G., Yang J. The mechanical behavior of GLARE laminates for aircraft structures // *JOM*. – Vol. 57. – Issue 1. – P. 72-79. – ISSN 1047-4838, 1543-1851. – DOI 10.1007/s11837-005-0067-4.
 129. Quilter A. Composites in Aerospace Applications. – URL: https://www.spglobal.com/pdf/Composites-Aerospace-Applications-whitepaper_264558110913046532.pdf (дата обращения: 29.05.2025)
 130. Biomimetic course design exploration for improved NASA zero gravity exercise equipment / P. Gruber, S. Engelhardt, K. Siman, E. Stachew, G. Perusek // *Biomimicry for Aerospace*: Elsevier, 2022. – P. 187-209. – ISBN 978-0-12-821074-1.
 131. Yilmaz M., Hasirci K., Gündüz B., Irez A. Advanced composite wing design for next-generation military UAVs: A progressive numerical optimization framework // *Defence Technology*. – Vol. 48. – P. 141-155. – ISSN 22149147. – DOI 10.1016/j.dt.2025.02.020.
 132. History of Boron // *Specialty Materials*. – URL: <https://www.specmaterials.com/history-of-boron> (дата обращения: 29.05.2025)
 133. Ahmad F., Kmar P., Patil P. P. Structural analysis of a quadcopter propeller using finite element method // *2020 international conference on advances in computing, communication & materials (ICACCM)*. – IEEE, 2020. – P. 59-64. DOI:10.1109/ICACCM50413.2020.9212874
 134. Liang Y., Chin P., Sun Y., Wang M. Design and Manufacture of Composite Landing Gear for a Light

- Unmanned Aerial Vehicle // Applied Sciences. – 6.01.2021. – Vol. 11. – Issue 2. – Article 509. – ISSN 2076-3417. – DOI 10.3390/app11020509.
135. How the Predator UAV Works. – URL: <https://www.aviatorsdatabase.com/wp-content/uploads/2013/07/How-the-Predator-UAV-Works.pdf> (дата обращения: 29.05.2025)
 136. Aerospace Applications // Specialty Materials. – URL: <https://www.specmaterials.com/aerospace> (дата обращения: 29.05.2025)
 137. Aircraft Case Studies // Specialty Materials. – URL: <https://www.specmaterials.com/air-craft-case-studies> (дата обращения: 29.05.2025)
 138. Case Studies and Composite Data. – URL: <https://static1.squarespace.com/static/5eadc71745076c408aa17d6f/t/6537c87d15c7ff421a79ee1d/1698154623497/Fall+2023+Case+Study+Magazine.pdf> (дата обращения: 25.05.2025)
 139. Predator B Extended Range Conducts First Flight With Long Wings // General Atomics. – URL: <https://www.ga.com/predator-b-extended-range-conducts-first-flight-with-long-wings> (дата обращения: 29.05.2025)
 140. The Cutting-Edge Details of the General Atomics MQ-9 Reaper UAV (2023) | FYI. – URL: <https://vocal.media/fyi/the-cutting-edge-details-of-the-general-atomics-mq-9-reaper-uav-2023> (дата обращения: 29.05.2025)
 141. GA-ASI installs first composite V-tail from GKN Aerospace onto MQ-9B RPA – 19.05.2025. – URL: <https://www.compositesworld.com/news/ga-asi-installs-first-composite-v-tail-from-gkn-aerospace-onto-mq-9b-rpa> (дата обращения: 29.05.2025)
 142. Long-range unmanned reconnaissance aircraft RQ-4 Global Hawk. – URL: <https://en.topwar.ru/33044-dalniy-bespilotnyy-razvedchik-rq-4-global-hawk.html> (дата обращения: 29.05.2025)
 143. About Northrop Grumman / R. Petrescu, R. Aversa, B. Akash, J. Corchado, F. Berto, A. Apicella, F. Tiberiu Petrescu // Journal of Aircraft and Spacecraft Technology. – 1.03.2017. – Vol. 1. – Issue 3. – P. 162-185. – ISSN 2523-1200. – DOI 10.3844/jastsp.2017.162.185.
 144. Skydio X2D: Advanced Autonomous Defense Drone | Skydio. – URL: <https://www.skydio.com/x2d> (дата обращения: 29.05.2025)
 145. Skydio X10D | Skydio. – URL: <https://www.skydio.com/x10d> (дата обращения: 29.05.2025)
 146. nEUROn's stealthy debut – AOPA. – URL: <https://www.aopa.org/news-and-media/all-news/2013/april/30/neurons-stealthy-debut> (дата обращения: 29.05.2025)
 147. Experimental European drone «nEUROn» ready for testing. – URL: <https://en.topwar.ru/10755-eksperimentalnyy-evropeyskiy-bespilotnik-neuron-gotov-k-ispytaniyam.html> (дата обращения: 29.05.2025)
 148. Triffaux Patroller Sagem. – URL: <https://armyrecognition.com/military-products/air/unmanned-aircraft-system/patroller-sagem> (дата обращения: 29.05.2025)
 149. Patroller MALE Unmanned Aerial Vehicle (UAV) // Airforce Technology. – URL: <https://www.airforce-technology.com/projects/sagem-patroller/> (дата обращения: 29.05.2025)
 150. Shury J. Airbus' drone helicopter prototype performs first flight // Composites Today – 19.11.2019. – URL: <https://www.compositestoday.com/2019/11/airbus-drone-helicopter-prototype-performs-first-flight/> (дата обращения: 30.05.2025)
 151. Rugged, Easy to Fly, Foldable Drone | Parrot ANAFI USA // Parrot. – URL: <https://www.parrot.com/en/drones/anafi-usa/rugged-easily-deployable> (дата обращения: 30.05.2025)
 152. Delair DT26E Surveillance. – URL: <https://delair.aero/delair-commercial-drones-2/dt26x->

- surveillance/ (дата обращения: 30.05.2025)
153. Israel-based Tactical Robotics in Talks with Armed Forces for Sale of Cormorant VTOL UAV. – URL: <https://raksha-anirveda.com/israel-based-tactical-robotics-in-talks-with-armed-forces-for-sale-of-cormorant-vtol-uav/> (дата обращения: 30.05.2025)
 154. Hermes 450. – URL: <https://www.globalsecurity.org/military/world/israel/hermes-450.htm> (дата обращения: 30.05.2025)
 155. Skylark 1 LE Mini Unmanned Aerial vehicle (Mini-UAV) – Defense Update: – 28.11.2004. – URL: https://defense-update.com/20041128_skylark1-uav-2.html (дата обращения: 30.05.2025)
 156. Bayraktar TB2 Tactical UAV – Army Technology. – URL: <https://www.army-technology.com/projects/bayraktar-tb2-tactical-uav/> (дата обращения: 30.05.2025)
 157. Bayraktar Mini UAV. – URL: <http://baykartech.com/en/uav/bayraktar-mini-iha/> (дата обращения: 30.05.2025)
 158. TAI'S UAV "ANKA" ROLLED OUT. – URL: <https://www.defenceturkey.com/en/content/tai-8217-s-uav-8220-anka-8221-rolled-out-477> (дата обращения: 30.05.2025)
 159. Ababil-3 UAV at a glance. – URL: <https://iranpress.com/ababil-3-uav-at-a-glance> (дата обращения: 30.05.2025)
 160. Policy: General Overview by James Poss, Maj Gen (Ret.) USAF – Inside Unmanned Systems. – URL: <https://insideunmannedsystems.com/policy-general-overview-by-james-poss-maj-gen-ret-usaf/> (дата обращения: 30.05.2025)
 161. Эффективный вид вооружения. – URL: <https://army.ric.mil.ru/Stat/item/523131/> (дата обращения: 30.05.2025)
 162. Mohajer-4, Iran's multi-task UAV with various missions. – URL: <https://iranpress.com/mohajer-4-iran-s-multi-task-uav-with-various-missions> (дата обращения: 30.05.2025)
 163. Путилина П. М., Куцевич К. Е., Исаев А. Ю. Полимерные композиционные материалы на основе углеродных и стеклянных волокон для изготовления деталей беспилотных летательных аппаратов и перспективы их развития //Труды ВИАМ. – 2023. – №. 8 (126). – С. 85-99.
 164. Анализ российского рынка композитных материалов: итоги 2023 г., прогноз до 2027 г. : РБК Магазин исследований. – URL: <https://marketing.rbc.ru/articles/14733/> (дата обращения: 30.05.2025)
 165. «Наша цель — сделать Россию передовой страной в области композитных технологий». – URL: <https://atomvestnik.ru/2024/04/01/nasha-cel-sdelat-rossiju-peredovoj-stranoj-v-oblasti-kompozitnyh-tehnologii/> (дата обращения: 30.05.2025)
 166. Правительство утвердило комплексную научно-техническую программу «Новые композиционные материалы: технологии конструирования и производства» – 3.03.2025. – URL: <http://government.ru/docs/49027/> (дата обращения: 03.03.2025)
 167. Реализуемые проекты. – URL: <https://kntp.ntn.ru/projects/novye-kompozitsionnye-materialy> (дата обращения: 30.05.2025)
 168. Беспилотный летательный аппарат «Орион» / АО «Кронштадт». – URL: <https://kronshtadt.ru/products/bespilotnyij-kompleks-orion> (дата обращения: 30.05.2025)
 169. Создан новый беспилотный летательный аппарат из композитов «НОЦ «Композиты России» МГТУ им. Н.Э. Баумана (МИЦ). – URL: <https://emtc.ru/news/3201> (дата обращения: 30.05.2025)
 170. Popov A., Samuylov A., Cherepanov I. Application and evaluation of the technical condition of composite materials in aircraft and unmanned aerial vehicles by acoustic emission method of

- nondestructive testing // Advanced Engineering Research. – 10.01.2022. – Vol. 21. – Issue 4. – P. 328–336. – ISSN 2687–1653. – DOI 10.23947/2687–1653–2021–21–4–328–336.
171. Незаметный и надежный. Почему российский «Орион» – перспективный беспилотник // Baltnews – 25.07.2021. – URL: https://lt.baltnews.com/Russia_West/20210725/1020942079/Nezametnyy-i-nadezhnyy-Rochemu-rossiyskiy-Orion--perspektivnyy-bespilotnik.html (дата обращения: 30.05.2025)
 172. Мишкин С.И. Применение углепластиков в конструкциях беспилотных аппаратов (обзор) // Труды ВИАМ. 2022. №5 (111). Ст. 08.
 173. БпЛА «Альтиус-РУ»: вооружение, стоимость, высота и дальность полета // AmalNews – 30.09.2024. – URL: <https://amalantra.ru/bpla-altius-ru/> (дата обращения: 30.05.2025)
 174. Русская охота. Как российские боевые беспилотники стали одними из лучших в мире?: Оружие: Наука и техника: Lenta.ru. – URL: <https://lenta.ru/articles/2022/10/19/bpla/> (дата обращения: 30.05.2025)
 175. Продукция – Орлан-10. – URL: <https://www.stc-spb.ru/production/> (дата обращения: 30.05.2025)
 176. Беспилотник «Орлан-10»: эффективное решение гражданских и военных задач // ВЗГЛЯД.РУ. – URL: <https://vz.ru/information/2024/3/26/1260205.html> (дата обращения: 30.05.2025)
 177. Наша продукция: Орлан-10 / ООО «Специальный технологический центр». – URL: <https://www.stc-spb.ru/production/> (дата обращения: 30.05.2025)
 178. Геоскан 201 // ГК «Геоскан». – URL: <https://www.geoscan.ru/ru/products/geoscan201> (дата обращения: 30.05.2025)
 179. Беспилотные самолеты Геоскан // ГК «Геоскан». – URL: <https://www.geoscan.ru/ru/products/bespilotnye-samoleti> (дата обращения: 30.05.2025)
 180. Геоскан 201 Геодезия. – URL: <https://www.geo-spektr.ru/bespilotnye-letatelnye-apparaty/bpla/geoskan-201-geodeziya.html> (дата обращения: 30.05.2025)
 181. Геоскан 701 | ГК «Геоскан». – URL: <https://www.geoscan.ru/ru/products/geoscan701> (дата обращения: 30.05.2025)
 182. Геоскан 401 // ГК «Геоскан». – URL: <https://www.geoscan.ru/ru/products/geoscan401> (дата обращения: 30.05.2025)
 183. Покупка БВС / ГК «Геоскан» // ГК «Геоскан». – URL: <https://www.geoscan.ru/ru/products/bpla> (дата обращения: 30.05.2025)
 184. Геоскан 401. Руководство по эксплуатации. – URL: https://download.geoscan.ru/site-files/401/Geoskan_401_Manual.pdf (дата обращения: 30.05.2025)
 185. Беспилотный летательный аппарат Геоскан 401 — ГЕОСТРОЙИЗЫСКАНИЯ. – URL: <https://www.gsi.ru/catalog/bpla/geoskan401> (дата обращения: 30.05.2025)
 186. Геоскан Gemini // ГК «Геоскан». – URL: <https://www.geoscan.ru/ru/products/gemini> (дата обращения: 30.05.2025)
 187. Беспилотный летательный аппарат Геоскан Gemini — ГЕОСТРОЙИЗЫСКАНИЯ. – URL: https://www.gsi.ru/catalog/bpla/geoskan_gemini (дата обращения: 30.05.2025)
 188. Ростех – Медиа – Новости – Ростех представил беспилотник для мониторинга электрических сетей. – URL: <https://rostec.ru/media/news/rostekh-predstavil-bespilotnik-dlya-monitoringa-elektricheskikh-setey/#middle> (дата обращения: 30.05.2025)
 189. «Россети» вооружились беспилотниками – Ведомости. – URL:

- <https://www.vedomosti.ru/technology/articles/2021/02/01/856266-rosseti-bespilotnikami> (дата обращения: 30.05.2025)
190. Ростех – Медиа – Новости – Ростех провел испытания беспилотников для контроля состояния ЛЭП. – URL: <https://rostec.ru/media/news/rostekh-provel-ispytaniya-bespilotnikov-dlya-kontrolya-sostoyaniya-lep/> (дата обращения: 30.05.2025)
 191. Задачи и перспективы российской композитной отрасли // Полимерные материалы – 12.03.2024. – URL: <https://polymerbranch.com/articles/zadachi-i-perspektivy-rossijskoj-kompozitnoj-otrasli/> (дата обращения: 30.05.2025)
 192. Рынок полимерных композиционных материалов. Тенденции и перспективы. – URL: <https://compositeworld.ru/articles/market/id619fcd4144ab3d001939228c> (дата обращения: 30.05.2025)
 193. Композиты 21 века: возможности и реальность. – URL: <https://magazine.neftegaz.ru/upload/iblock/948/948400dd16fdd527cd2c43d2eb49bc6d.pdf> (дата обращения: 25.05.2025)
 194. ГОСТ Р 57700.37-2021 | НАЦИОНАЛЬНЫЕ СТАНДАРТЫ. – URL: <https://protect.gost.ru/document.aspx?control=7&id=241313> (дата обращения: 06.06.2025)
 195. Китай официально признал российский ГОСТ Р 57700.37-2021 «Компьютерные модели и моделирование. ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ ИЗДЕЛИЙ. Общие положения» – FEA.RU | CompMechLab – разработка и применение цифровых двойников (digital twin), цифровое проектирование, CAD/CAE/CAM/CAO/HPC. – URL: <https://fea.ru/news/8683> (дата обращения: 06.06.2025)
 196. Приказ Росстата от 21.10.2024 N 483 — Редакция от 21.10.2024 — Контур.Норматив. – URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=480912> (дата обращения: 19.06.2025)
 197. Классификатор ПО. – URL: <https://ru-ikt.ru/reestrpo> (дата обращения: 19.06.2025)
 198. A Complete Guide to Non-Destructive Testing | Unitek // Unitek Technical Systems – 18.09.2023. – URL: <https://www.unitek-kiwa.com/blog/non-destructive-testing-guide/> (дата обращения: 30.05.2025)
 199. Different Types of Non-Destructive Testing (NDT) – MoviTHERM. – URL: <https://movitherm.com/blog/different-types-of-non-destructive-testing-ndt/> (дата обращения: 30.05.2025)
 200. Non-Destructive Testing (NDT): Types and Techniques. – URL: <https://voliro.com/blog/non-destructive-testing/> (дата обращения: 30.05.2025)
 201. Acellent Technologies. – URL: <https://www.acellent.com/> (дата обращения: 04.06.2025)
 202. Essential Sensor Types for Structural Health Monitoring (SHM). – URL: <https://surviot.com/en/un-categorized/understanding-shm-parts-sensor-types-for-structural-health-monitoring/> (дата обращения: 30.05.2025)
 203. Additive manufacturing in unmanned aerial vehicles (UAVs): Challenges and potential / G. Goh, S. Agarwala, G. Goh, V. Dikshit, S. Sing, W. Yeong // Aerospace Science and Technology. – Vol. 63. – P. 140-151. – ISSN 12709638. – DOI 10.1016/j.ast.2016.12.019.
 204. Rafiee M., Farahani R., Therriault D. Multi-Material 3D and 4D Printing: A Survey // Advanced Science. – Vol. 7. – Issue 12. – Article 1902307. – ISSN 2198-3844, 2198-3844. – DOI 10.1002/advs.201902307.
 205. 3D Systems. Aerospace 3D Printing Solutions. – URL: <https://www.3dsystems.com/aerospace>

- (дата обращения: 04.06.2025)
206. Firestorm Labs Accelerates Drone Production with 3D Printing and Global Network – 3D Printing. – URL: <https://3dprinting.com/news/firestorm-labs-accelerates-drone-production-with-3d-printing-and-global-network/> (дата обращения: 30.05.2025)
 207. Digital Twin | Siemens Software // Siemens Digital Industries Software. – URL: <https://www.sw.siemens.com/en-US/technology/digital-twin/> (дата обращения: 30.05.2025)
 208. Ростех – Композитные преимущества. – URL: <https://rostec.ru/media/news/kompozitnye-preimushchestva/> (дата обращения: 30.05.2025)
 209. На «черном крыле» – Коммерсантъ. – URL: <https://www.kommersant.ru/doc/3012121> (дата обращения: 30.05.2025)
 210. The Impact of Composites in the Aviation Industry. – URL: <https://www.sensxpert.com/blog/impact-composites-aviation-industry/> (дата обращения: 30.05.2025)
 211. NDT inspection of additively manufactured parts in aerospace | Aerospace Testing International. – URL: <https://www.aerospacetestinginternational.com/features/ndt-inspection-of-am-parts-in-aerospace.html> (дата обращения: 30.05.2025)
 212. Composite Digital Twin // Challenge Advisory. – URL: <https://www.challenge.org/insights/composite-digital-twin/> (дата обращения: 03.06.2025)
 213. Revolutionizing Drone Design with Composites and SIMULIA's Advanced Simulation Capabilities. – URL: <https://edstechnologies.com/blog/revolutionizing-drone-design-with-composites-and-simulias-advanced-simulation-capabilities/> (дата обращения: 30.05.2025)
 214. Simulation for Aerospace & Defense Design Innovation // COMSOL. – URL: <https://www.comsol.com/offers/aerospace-defense-innovation> (дата обращения: 30.05.2025)
 215. Analyze Layered Composite Materials with Software from COMSOL. – URL: <https://www.comsol.com/composite-materials-module> (дата обращения: 30.05.2025)
 216. Evaluation of Novel Wing Design for UAV. – URL: <https://www.comsol.com/paper/evaluation-of-novel-wing-design-for-uav-19629> (дата обращения: 30.05.2025)
 217. Ansys Twin Builder | Create and Deploy Digital Twin Models. – URL: <https://www.ansys.com/products/digital-twin/ansys-twin-builder> (дата обращения: 30.05.2025)
 218. How to Create a Digital Twin of the Golden Gate Bridge. – URL: <https://www.ansys.com/blog/how-to-create-a-digital-twin> (дата обращения: 30.05.2025)
 219. Get Familiar with Creo Parametric | Creo Parametric | PTC. – URL: <https://www.ptc.com/en/success-paths/get-started-creo-parametric/plan/get-familiar-with-creo-parametric> (дата обращения: 30.05.2025)
 220. Aerospace Product Design Soars With Generative Design | PTC. – URL: <https://www.ptc.com/en/case-studies/jacobs-engineering-generative-design-aerospace> (дата обращения: 30.05.2025)
 221. PTC Creo, the Digital Thread and Composites-Based Products | Machine Design. – URL: <https://www.machinedesign.com/materials/article/21273253/ptc-creo-the-digital-thread-and-composites-based-products> (дата обращения: 30.05.2025)
 222. Computer-aided Engineering Market Trends 2025 to 2035. – URL: <https://www.futuremarketinsights.com/reports/computer-aided-engineering-market> (дата обращения: 30.05.2025)
 223. Synopsys' \$32.5 Billion Ansys Acquisition: What It Means for the Tech Sector. – URL: <https://www.kavout.com/market-lens/synopsys-32-5-billion-ansys-acquisition-what-it-means-for-the-tech-sector> (дата обращения: 30.05.2025)

224. Ansys Composite PrepPost | EnginSoft. – URL: <https://www.enginsoft.com/solutions/ansys-composite-preppost.html> (дата обращения: 30.05.2025)
225. Introduction to Ansys Composite PrepPost | Ansys Training. – URL: <https://www.ansys.com/training-center/course-catalog/structures/introduction-to-ansys-composite-preppost> (дата обращения: 30.05.2025)
226. Composites – ANSYS. – URL: https://www.cadfem.net/fileadmin/user_upload/05-cadfem-informs/resource-library/ansys-composites-c.pdf (дата обращения: 30.05.2025)
227. Mastering Reference Directions in Ansys ACP: Simplifying Complex Composite Designs. – URL: <https://blog.izeninc.com/resources/mastering-reference-directions-in-ansys-acp-simplifying-complex-composite-designs> (дата обращения: 30.05.2025)
228. Simulating Composite Structures with Ansys Composite PrepPost. – URL: <https://www.ansys.com/resource-center/white-paper/simulating-composite-structures> (дата обращения: 30.05.2025)
229. Fibersim software composites design | Siemens Software. – URL: <https://plm.sw.siemens.com/en-US/nx/products/fibersim-composites/> (дата обращения: 30.05.2025)
230. Isicad: Импортзамещение ПО для проектирования и технологической подготовки изделий из композиционных материалов. – URL: https://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=22903 (дата обращения: 30.05.2025)
231. Fibersim Discussions / Siemens Digital Industries Software. – URL: <https://community.sw.siemens.com/s/topic/0T040000000MijWAC/fibersim> (дата обращения: 30.05.2025)
232. Siemens FiberSIM 17.2.0 / Ask4Pc Free Softwares. – URL: <https://ask4pc.us/siemens-fibersim-free-download/> (дата обращения: 30.05.2025)
233. CATIA Composites Design 3 CPD | Dassault Systèmes®. – URL: https://3dswym.3dexperience.3ds.com/wiki/catia-user-community/catia-composites-design-3-cpd_6Gr76WeGRa06Sxnm1WbFpg (дата обращения: 30.05.2025)
234. CATIA Pros and Cons. – URL: <https://www.g2.com/products/catia/reviews?qs=pros-and-cons> (дата обращения: 30.05.2025)
235. CANTER CADD | Autocad training institutes in hyderabad and bangalore delhi – URL: <https://www.cantercadd.com/caddblog/advantages-of-catia-in-aerospace-composite-design-and-manufacturing> (дата обращения: 30.05.2025)
236. Intro to CAD-Connected Composites FEA: A Game-Changer for Composites Design | GoEngineer. – URL: <https://www.goengineer.com/blog/intro-to-cad-connected-composites-fea> (дата обращения: 30.05.2025)
237. CATIA Reviews 2025. Verified Reviews, Pros & Cons | Capterra. – URL: <https://www.capterra.com/p/100453/CATIA/reviews/> (дата обращения: 30.05.2025)
238. CATIA Composites Design for Manufacturing (CPM) – HAYCAD INFOTECH – Engineering and business solutions. – URL: <https://www.haycad-infotech.bg/portfolio-en/catia-composites-design-for-manufacturing-cpm-en> (дата обращения: 30.05.2025)
239. Lightweight Engineering and Design driven by CATIA – TriMech Enterprise. – URL: <https://enterprise.trimech.com/lightweight-engineering-and-design-driven-by-catia/> (дата обращения: 04.06.2025)
240. Sky Eye: Unmanned Aircraft Systems Revolution | Customer Story – Dassault Systèmes. – URL: <https://www.3ds.com/insights/customer-stories/sky-eye-systems-unmanned-aircraft-systems> (дата обращения: 30.05.2025)

241. Digimat // Hexagon. – URL: <https://hexagon.com/products/digimat> (дата обращения: 30.05.2025)
242. The G2 on Digimat // G2 – 20.12.2023. – URL: <https://www.g2.com/products/digimat/reviews> (дата обращения: 30.05.2025)
243. Machine Learning Helps Evaluate Mechanical Performance of Composites – Engineering.com. – URL: <https://www.engineering.com/machine-learning-helps-evaluate-mechanical-performance-of-composites/> (дата обращения: 30.05.2025)
244. predictive maintenance solutions optimize system performance. – URL: <https://www.odysight.ai/our-technology/> (дата обращения: 30.05.2025)
245. Odysight.ai Inc. Announces Signing of Purchase Order Agreement Exceeding \$10 Million with International Defense Contractor | MarketScreener. – URL: <https://www.marketscreener.com/quote/stock/ODYSIGHT-AI-INC-120797747/news/Odysight-ai-Inc-Announces-Signing-of-Purchase-Order-Agreement-Exceeding-10-Million-with-Internatio-47802618/> (дата обращения: 30.05.2025)
246. Predictive Maintenance – Unmanned Aerial Vehicles // OdySight. – URL: <https://www.odysight.ai/industries-4-0/predictive-maintenance-unmanned-aerial-vehicles/> (дата обращения: 30.05.2025)
247. Advancing UAV technology and safety through digital twin simulation – Simcenter. – URL: <https://blogs.sw.siemens.com/simcenter/uav-digital-twin-simulation/> (дата обращения: 30.05.2025)
248. Virtual twins to revolutionise composite aerospace vehicle repairs // iLAUNCH – 23.11.2023. – URL: <https://ilaunch.space/media-release/virtual-twins-to-revolutionise-composite-aerospace-vehicle-repairs/> (дата обращения: 30.05.2025)
249. Moving toward portable, digitized composite part repair | CompositesWorld. – URL: <https://www.compositesworld.com/articles/moving-toward-portable-digitized-composite-part-repair> (дата обращения: 30.05.2025)
250. Утверждены «дорожные карты» // «Новое промышленное программное обеспечение» и «Новое общесистемное программное обеспечение». – URL: <http://government.ru/news/47353/> (дата обращения: 30.05.2025)
251. Правительство утвердило Стратегию развития беспилотной авиации до 2030 года. – URL: <http://government.ru/news/48875/> (дата обращения: 30.05.2025)
252. О реализации национального проекта «Беспилотные авиационные системы» в период до 2030 года / Минпромторг России, 2024. – URL: https://minpromtorg.gov.ru/storage/common/0_национальном_проекте_1.pdf (дата обращения: 30.05.2025)
253. Итоги деятельности в 2023 году структурных подразделений Экосистемы технологического развития СПбПУ – FEA.RU | CompMechLab – разработка и применение цифровых двойников (digital twin), цифровое проектирование, CAD/CAE/CAM/CAO/HPC. – URL: <https://fea.ru/news/8717> (дата обращения: 06.06.2025)
254. Передовая инженерная школа «Цифровой инжиниринг» СПбПУ – цифровые технологии и платформенные решения для промышленности. – URL: <https://pish.spbstu.ru/> (дата обращения: 06.06.2025)
255. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 07.11.2023 г. № 3113-р. – URL: <http://government.ru/docs/all/150406/> (дата обращения: 30.05.2025)
256. Боровков А., Бураков В., Мартынец Е., Рябов Ю., Щербина Л. Цифровая платформа по разработке и применению цифровых двойников (Digital Twins) CML-Bench® (часть 1) // САПР и

- графика. – 2023. – № 8. – С. 42–51.
257. Боровков А., Чишко С., Мартынец Е., Рябов Ю. Цифровая платформа по разработке и применению цифровых двойников «Digital Twins» CML-Bench®. Часть 5. САПР и графика. – 2024. – № 7. – С. 4–16 URL: <https://sapr.ru/article/26704> (дата обращения: 06.06.2025)
 258. Боровков А., Сачава Д., Князева О., Мартынец Е., Алексашкин А., Рябов Ю. Цифровая платформа по разработке и применению цифровых двойников «Digital Twins» CMLBench®. Часть 6. САПР и графика. – 2024. – № 8. – С. 12–24
 259. КОМПАС-3D: Композиты. Подробный анонс нового продукта. – URL: <https://ascon.ru/news/2024/11/14/kompas-3d-kompozity-podrobnyj-anons-novogo-produkta/> (дата обращения: 30.05.2025)
 260. Анализ прочности конструкций из композиционных материалов // НТЦ «АПМ». – URL: <https://apm.ru/analysis-of-strength-of-structures-made-of-composites> (дата обращения: 30.05.2025)
 261. Composite: расчет конструкций из композиционных материалов. – URL: <https://catalog.arppsoft.ru/product/6070334> (дата обращения: 30.05.2025)
 262. Fidesys Composite – FEA.RU | CompMechLab – разработка и применение цифровых двойников (digital twin), цифровое проектирование, CAD/CAE/CAM/CAO/HPC. – URL: <https://fea.ru/article/fidesys-composite> (дата обращения: 30.05.2025)
 263. Fidesys Composite. – URL: <https://www.cad-is.ru/catalog-item/fidesys-composite> (дата обращения: 30.05.2025)
 264. Автоматизированная система Локотерм | ЛОКУС. – URL: <https://www.locus.spb.ru/catalog1/thermography/lokoterm/> (дата обращения: 30.05.2025)
 265. В ЦАГИ создан комплекс технологий неразрушающего контроля композиционных материалов – Новости – Пресс-центр – ЦАГИ. – URL: <https://www.tsagi.ru/pressroom/news/6615/> (дата обращения: 30.05.2025)
 266. В ЦАГИ создан комплекс технологий неразрушающего контроля ПКМ «Авиация России» – 6.05.2024. – URL: <https://aviation21.ru/v-cagi-sozdan-kompleks-texnologij-nerazrushayushhego-kontrolya-pkm/> (дата обращения: 30.05.2025)
 267. В России разработали комплекс для обнаружения дефектов композитов в авиации. Публикации СМИ. Первый канал // 1tv.ru. – URL: <https://www.1tv.ru/publikacii/obzor-smi/v-rossii-razrabotali-kompleks-dlya-obnaruzheniya-defektov-kompozitov-v-aviacii> (дата обращения: 30.05.2025)
 268. Лёгкие и прочные детали для беспилотников создают из композитных материалов в ИРНИТУ // Иркутский Политех. – URL: <https://www.istu.edu/novosti/pub/72189> (дата обращения: 30.05.2025)
 269. Экосистема технологического развития «Передовые цифровые и производственные технологии» СПбПУ: итоги 2024 года – FEA.RU | CompMechLab – разработка и применение цифровых двойников (digital twin), цифровое проектирование, CAD/CAE/CAM/CAO/HPC. – URL: <https://fea.ru/news/9046> (дата обращения: 30.05.2025)
 270. Цифровой двойник помог создать методику поиска трещин в авиакompозитах – Наука – ТАСС. – URL: <https://nauka.tass.ru/nauka/22393929> (дата обращения: 30.05.2025)
 271. 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)
272. Bokhoeva L., Baldanov A., Chermoshentseva A. Optimal structure of multi-layer wing console of unmanned aerial vehicle with experimental validation // Vestnik Moskovskogo aviatsionnogo instituta. – 2020. – Vol. 27. – Issue 1. – P. 65–75. – ISSN 0869–6101. – DOI 10.34759/vst-2020-1-65-75.
 273. 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. (ISBN 978-5-7422-8571-7)
 274. 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. (ISBN 978-5-7422-8572-4)
 275. 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. (ISBN 978-5-7422-8573-1)
 276. Правительство утвердило Стратегию развития беспилотной авиации до 2030 года – 29.05.2025. – URL: <http://government.ru/news/48875/> (дата обращения: 29.05.2025)
 277. McKinsey technology trends outlook 2024 | McKinsey. – URL: <https://www.mckinsey.com/capabilities/mckinsey-digital/our-insights/the-top-trends-in-tech> (дата обращения: 30.05.2025)
 278. Tech Trends 2025 // Deloitte Insights. – URL: <https://www2.deloitte.com/us/en/insights/focus/tech-trends.html> (дата обращения: 30.05.2025)
 279. 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: 30.05.2025)
 280. AirHub® Portal. – URL: <https://portal.airspacelink.com/> (дата обращения: 30.05.2025)
 281. VOTIX | Drone Automation and Orchestration. – URL: <https://votix.com/> (дата обращения: 30.05.2025)
 282. Easy M. 3D Olympic Training Center. – URL: https://www.mapsmadeeasy.com/maps/public_3D/fd8859995dae42e59668cfedc0da9611/ (дата обращения: 30.05.2025)
 283. Optimus – Trusted Autonomous Drones // Airobotics. – URL: <https://www.airoboticsdrones.com/optimus/> (дата обращения: 30.05.2025)
 284. Drone Services // Draganfly. – URL: <https://draganfly.com/drone-services/> (дата обращения: 30.05.2025)
 285. On-Demand Drone Flights and Data | DroneDeploy. – URL: <https://www.dronedeploy.com/data-on-demand> (дата обращения: 30.05.2025)
 286. China Has a New Playbook to Counter Trump: 'Supply Chain Warfare' – The New York Times. – URL: <https://www.nytimes.com/2024/11/27/business/china-retaliation-skydio.html> (дата обращения: 30.05.2025)
 287. Stevenson A. et al. China Has a New Playbook to Counter Trump: 'Supply Chain Warfare' // The New York Times. 2024. – URL: <https://www.nytimes.com/2024/11/27/business/china-retaliation-skydio.html> (дата обращения: 30.05.2025)

288. Butterworth-Hayes P. As the worlds of telcos and drone companies merge, business opportunities multiply // Unmanned airspace – 12.02.2025. – URL: <https://www.unmannedairspace.info/uncategorized/as-the-worlds-of-telcos-and-drone-companies-merge-business-opportunities-multiply/> (дата обращения: 30.05.2025)
289. 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: 30.05.2025)
290. Next-Gen UAVs: Cutting-Edge Drone Innovations to Watch in 2025 | DSLRPROs – DSLRPros. – URL: <https://www.dslrpros.com/blogs/rescue-drones/next-gen-uavs-cutting-edge-drone-innovations-to-watch-in-2025> (дата обращения: 30.05.2025)
291. 2025 drone industry predictions – DRONELIFE. – URL: <https://dronelife.com/2025/02/07/2025-drone-industry-predictions-whats-coming-next-in-policy-tech-and-global-markets/> (дата обращения: 30.05.2025)
292. McNabb M. Drone Industry Funding Shifts: Military Applications Take Center Stage // DRONELIFE – 24.03.2025. – URL: <https://dronelife.com/2025/03/24/drone-industry-funding-shifts-military-applications-take-center-stage/> (дата обращения: 30.05.2025)
293. European Commission // Joint Research Centre. Research and innovation on drones in Europe: an assessment based on the Transport Research and Innovation Monitoring and Information System (TRIMIS) // LU: Publications Office, 2024. – URL: <https://data.europa.eu/doi/10.2760/28678/> (дата обращения: 30.05.2025)
294. Skydio Autonomy™ | Skydio. – URL: <https://www.skydio.com/skydio-autonomy> (дата обращения: 30.05.2025)
295. AeroVironment Introduces Puma VNS, a Visual-Based Navigation System That Enables GPS-Denied Navigation Across GPS-Contested Environments // AeroVironment, Inc. – URL: <https://www.avinc.com/resources/press-releases/view/aerovironment-introduces-puma-vns-a-visual-based-navigation-system-that-enables-gps-denied-navigation-across-gps-contested-environments> (дата обращения: 30.05.2025)
296. Asio Technologies unveils small navigation solution for UAS – GPS World. – URL: <https://www.gpsworld.com/asio-technologies-unveils-small-navigation-solution-for-uas/> (дата обращения: 30.05.2025)
297. Asio Technologies Ltd.. – URL: <https://asiotech.com/> (дата обращения: 30.05.2025)
298. Maxar Launches Raptor, a First-of-its-Kind Software that Unlocks Next-Gen GPS Resilience for Autonomous Systems | Maxar. – URL: <https://www.maxar.com/press-release-show> (дата обращения: 30.05.2025)
299. Northrop Grumman's New Airborne Navigation System Achieves Successful Flight Test| Northrop Grumman. – URL: <https://news.northropgrumman.com/navigation-systems/northrop-grumman-s-new-airborne-navigation-system-achieves-successful-flight-test> (дата обращения: 30.05.2025)
300. McNabb M. Shield AI, Sentient Vision Partner on New, Powerful Wide Area Search Tactical UAV // DRONELIFE – 15.08.2023. – URL: <https://dronelife.com/2023/08/14/shield-ai-sentient-vision-partner-on-new-powerful-wide-area-search-tactical-uav/> (дата обращения: 30.05.2025)
301. Gutierrez P. LiDAR Solution Provider Emesent Supporting US-Made Drones // Inside Unmanned Systems – 15.03.2024. – URL: <https://insideunmannedsystems.com/lidar-solution-provider-emesent-supporting-us-made-drones/> (дата обращения: 30.05.2025)

302. ISS Aerospace Unveils The SENSUS L Multimodal Autonomous UAS « ISS Aerospace. – URL: <https://www.issaerospace.com/iss-aerospace-unveils-the-sensus-l-multimodal-autonomous-uas/> (дата обращения: 30.05.2025)
303. Immervision Launches UAV Low-Light Navigation Camera Module | Business Wire. – URL: <https://via.tt.se/pressmeddelande/3319019/immervision-launches-uav-low-light-navigation-camera-module?publisherId=259167> (дата обращения: 30.05.2025)
304. Ma M., Shen S., Huang Y. Enhancing UAV Visual Landing Recognition with YOLO's Object Detection by Onboard Edge Computing // Sensors (Basel, Switzerland). – 6.11.2023. – Vol. 23. – Issue 21. – Article 8999. – ISSN 1424-8220. – DOI 10.3390/s23218999.
305. Innominds announces availability of iDhi, a High Compute Edge AI Platform Powered by Qualcomm. – URL: <https://www.innominds.com/news/innominds-announces-availability-of-idhi-a-high-compute-edge-ai-platform-powered-by-qualcomm> (дата обращения: 30.05.2025)
306. New Reconfigurable Target Drone Series Released | UST. – URL: <https://www.unmannedsystemstechnology.com/2023/06/new-reconfigurable-target-drone-series-released/> (дата обращения: 30.05.2025)
307. By Modular Multi-Rotor Flies Up To Two Hours // Hackaday – 24.11.2024. – URL: <https://hackaday.com/2024/11/24/modular-multi-rotor-flies-up-to-two-hours/> (дата обращения: 30.05.2025)
308. WingXpand begins trials of its expandable wing UAV. – URL: <https://www.janes.com/osint-insights/defence-news/air/wingxpand-begins-trials-of-its-expandable-wing-uav> (дата обращения: 30.05.2025)
309. Firestorm Labs raises \$12.5M to 3D print warfare drones. – URL: <https://www.voxelmaters.com/firestorm-labs-raises-12-5m-to-3d-print-warfare-drones/> (дата обращения: 30.05.2025)
310. Firestorm Labs Secures a Contract with US Air Force for its Tempest 50 Drones and Swarm Drone Projects. – URL: <https://armyrecognition.com/news/aerospace-news/2025/firestorm-labs-secures-a-contract-with-us-air-force-for-its-tempest-50-drones-and-swarm-drone-projects> (дата обращения: 30.05.2025)
311. US Department of Defense selects six companies for next-gen VTOL drones. – URL: <https://armyrecognition.com/news/aerospace-news/2024/us-department-of-defense-selects-six-companies-for-next-gen-vtol-drones> (дата обращения: 30.05.2025)
312. Griffon Aerospace Valiant (prototype). – URL: <https://evtol.news/griffon-aerospace-valiant> (дата обращения: 30.05.2025)
313. ANCILLARY: Advanced airCRAFT Infrastructure-Less Launch And RecoverY | DARPA. – URL: <https://www.darpa.mil/research/programs/advanced-aircraft-infrastructure-less-launch-and-recovery> (дата обращения: 30.05.2025)
314. Boeing's Insitu advances its fuel cell technology; LH2 fueling // Green Car Congress. – URL: <https://www.greencarcongress.com/2021/03/20210322-insitu.html> (дата обращения: 30.05.2025)
315. Insitu Advances its Fuel Cell Strategy // Insitu. – URL: <https://www.insitu.com/news/insitu-advances-its-fuel-cell-strategy> (дата обращения: 30.05.2025)
316. Hydrogen Drones – Heven Drones. – URL: <https://hevendrones.com/hydrogen-drones/> (дата обращения: 30.05.2025)
317. Draganfuel – Ignite 70cc – Draganfly. – URL: <https://draganfly.com/draganfuel-ignite-70cc/> (дата

- обращения: 30.05.2025)
318. Commander 3XL Hybrid – Draganfly. – URL: <https://draganfly.com/commander-3xl-hybrid/> (дата обращения: 30.05.2025)
 319. Perimeter 8 UAS | Skyfront | Long endurance, hybrid gas-electric drones. – URL: <https://skyfront.com/perimeter-8> (дата обращения: 30.05.2025)
 320. Zephyr High Altitude Platform Station (HAPS) | UAS | Airbus – 1.10.2024. – URL: <https://www.airbus.com/en/products-services/defence/uas/zephyr> (дата обращения: 30.05.2025)
 321. AV Successfully Flight Tests New Solar-Powered Aircraft, Redefines Stratospheric Payload Capabilities // AeroVironment, Inc. – URL: <https://www.avinc.com/resources/press-releases/view/av-successfully-flight-tests-new-solar-powered-aircraft-redefines-stratospheric-payload-capabilities> (дата обращения: 30.05.2025)
 322. Draganfly Apex: Features and Configurations / Draganfly, 2025. – URL: <https://draganfly.com/wp-content/uploads/2025/01/DPRO-Product-Brochure-Compressed.pdf> (дата обращения: 30.05.2025)
 323. Insitu expands capabilities for Integrator UAS with new satellite control system – 12.11.2024. – URL: <https://defence-industry.eu/insitu-expands-capabilities-for-integrator-uas-with-new-satellite-control-system/> (дата обращения: 30.05.2025)
 324. Insitu Announces Proliferated-Low Earth Orbit Satellite Control for Integrator UAS with 2,000 Nautical Mile Range // Insitu. – URL: <https://www.insitu.com/news/insitu-announces-p-leo-sat-com-control> (дата обращения: 30.05.2025)
 325. Shield AI. – URL: <https://shield.ai/v-bat/> (дата обращения: 30.05.2025)
 326. G6-S: A device with external TSO antenna option and DO-160G Certification / Guardian Mobility // Guardian Mobility. – URL: <https://www.guardianmobility.com/product-service/g6-s/> (дата обращения: 30.05.2025)
 327. Unmanned Aviation – Industries Served | SKYTRAC. – URL: <http://www.skytrac.ca/industries/uav/> (дата обращения: 30.05.2025)
 328. Features | Icarus Drone Swarms. – URL: <https://www.icarusswarms.ai/technology> (дата обращения: 30.05.2025)
 329. Shield AI V-BAT Autonomy in Hostile Environments – DRONELIFE. – URL: <https://dronelife.com/2023/11/27/revolutionizing-defense-shield-ais-v-bat-teams-enable-autonomous-surveillance-in-hostile-environments/> (дата обращения: 30.05.2025)
 330. Shield AI unveils V-Bat Teams drone swarm tech, with eye to Replicator. – URL: <https://www.defensenews.com/unmanned/2023/10/10/shield-ai-unveils-v-bat-teams-drone-swarm-tech-with-eye-to-replicator/> (дата обращения: 30.05.2025)
 331. OFFensive Swarm-Enabled Tactics. – URL: <https://www.darpa.mil/research/programs/offensive-swarm-enabled-tactics> (дата обращения: 30.05.2025)
 332. OFFensive Swarm Enabled Tactics | Smart Information Flow Technologies. – URL: <https://www.sift.net/research/human-performance-and-ux-innovations/offset> (дата обращения: 30.05.2025)
 333. One person can supervise 'swarm' of 100 unmanned autonomous vehicles, OSU research shows | Newsroom | Oregon State University – 4.02.2024. – URL: <https://news.oregon-state.edu/news/one-person-can-supervise-%E2%80%98swarm%E2%80%99-100-unmanned-autonomous-vehicles-osu-research-shows> (дата обращения: 30.05.2025)
 334. Gremlins Program Demonstrates Airborne Recovery. – URL:

- <https://www.darpa.mil/news/2021/gremlins-airborne-recovery> (дата обращения: 30.05.2025)
335. Gremlins. – URL: <https://www.darpa.mil/research/programs/gremlins> (дата обращения: 30.05.2025)
 336. X-61A Gremlins Air Vehicle, United States of America // Airforce Technology. – URL: <https://www.airforce-technology.com/projects/x-61a-gremlins-air-vehicle/> (дата обращения: 30.05.2025)
 337. Cybersecurity Drones Made in USA | Parrot ANAFI USA. – URL: <https://www.parrot.com/en/drones/anafi-usa/cybersecurity> (дата обращения: 30.05.2025)
 338. Parrot ANAFI Ai | Professional Drone Camera | Cybersecurity by Design // Parrot. – URL: <https://www.parrot.com/en/drones/anafi-ai/technical-documentation/cybersecurity> (дата обращения: 30.05.2025)
 339. Green UAS | AUVSI. – URL: <https://www.auvsi.org/green-uas> (дата обращения: 30.05.2025)
 340. Repsold C. SkyGrid and SparkCognition Deploy First AI-Powered Cybersecurity System on Drones // SkyGrid – 19.01.2021. – URL: <https://www.skygrid.com/skygrid-and-sparkcognition-deploy-first-ai-powered-cybersecurity-system-on-drones/> (дата обращения: 30.05.2025)
 341. Skydio and Arris revolutionize drone design and manufacturing | 3dpbm. – URL: <https://www.voxelmatters.com/skydio-and-arris-revolutionize-drone-design-and-manufacturing-with-additive-molding/> (дата обращения: 30.05.2025)
 342. How Additive Manufacturing Is Accelerating Drone Production – AMFG. – URL: <https://amfg.ai/2024/05/31/how-additive-manufacturing-is-accelerating-drone-production/> (дата обращения: 30.05.2025)
 343. AMFG How Additive Manufacturing Is Accelerating Drone Production – AMFG – 31.05.2024. – URL: <https://amfg.ai/2024/05/31/how-additive-manufacturing-is-accelerating-drone-production/> (дата обращения: 30.05.2025)
 344. 3D Printing for UAV Industry. – URL: <https://www.windform.com/3d-printing-uav-drone-industry/> (дата обращения: 30.05.2025)
 345. Анализ технологий и технологических трендов в сфере БАС // АЭРОНЕКСТ. – URL: https://aeronext.aero/press_room/analytics/232480 (дата обращения: 30.05.2025)
 346. Российский рынок гражданских БПЛА: ключевые тренды, гид по производителям. – URL: https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Российский_рынок_гражданских_БПЛА:_ключевые_тренды,_гид_по_производителям (дата обращения: 30.05.2025)
 347. Утверждены приоритетные направления научно-технологического развития и перечень важнейших наукоёмких технологий // Президент России – 22.06.2024. – URL: <http://kremlin.ru/acts/news/74328> (дата обращения: 30.05.2025)
 348. Гендиректор «Флай дрон» сообщил о росте локализации производства БПЛА в РФ. – URL: <https://tass.ru/ekonomika/22343271> (дата обращения: 30.05.2025)
 349. Минобрнауки разработало программу развития инновационных компонентов для дронов. На нее уйдет 49 млрд рублей // TAdviser.ru. – URL: https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Перспективные_технологии_для_беспилотных_авиационных_систем (дата обращения: 30.05.2025)
 350. В России запущен федеральный проект «Перспективные технологии для беспилотников» // TAdviser.ru. – URL: [https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Перспективные_технологии_для_беспилотников_\(федеральный_проект\)](https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Перспективные_технологии_для_беспилотников_(федеральный_проект)) (дата обращения: 30.05.2025)
 351. В России разработана система цифрового зрения для беспилотников для осмотра объектов //

- Всеостройке.рф – 17.08.2023. – URL: <https://xn--b1agapfwapgc1.xn--p1ai/v-rossii-razrabotana-sistema-cifrovogo-zrenija-dlja-bespilotnikov-dlja-osmotra-obektov/> (дата обращения: 30.05.2025)
352. Механические 3D-лидары для установки в качестве полезной нагрузки на БПЛА. – URL: <https://www.npk-photonica.ru/info/news/23681/> (дата обращения: 30.05.2025)
353. В России запустили производство высокоточных навигационных модулей для беспилотных систем | vestnik-glonass.ru. – URL: <http://vestnik-glonass.ru/news/tech/v-rossii-zapustili-proizvodstvo-vysokotochnykh-navigatsionnykh-moduley-dlya-bespilotnykh-sistem/> (дата обращения: 30.05.2025)
354. В России создали алгоритм для построения маршрута беспилотников | ТРАНССТРОЙНЬЮС. – URL: <https://ts-news.ru/bespilotniki/v-rossii-sozdali-algoritm-dlya-postroeniya-marshruta-bespilotnikov> (дата обращения: 30.05.2025)
355. 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)
356. ZALA T-16-5G — БЛА для мониторинга до 100 км // ZALA — Беспилотные системы (БПЛА), беспилотные воздушные суда (БВС). – URL: <https://zala-aero.com/product/zala-t-16-5g/> (дата обращения: 30.05.2025)
357. МТС тестирует решение на базе edge computing для беспилотников и интеллектуальных систем электроснабжения и транспорта. – URL: <https://www.bfm.ru/news/502483> (дата обращения: 30.05.2025)
358. Роболёт. – URL: <https://xn--90auihbhq8h.xn--p1ai> (дата обращения: 30.05.2025)
359. Роболёт – воздушные винты и промышленные дроны. – URL: <https://pt.2035.university/project/robolet-promyslennye-drony> (дата обращения: 30.05.2025)
360. uDrone Перас. – URL: https://aerodyne.tech/udrone_pegas (дата обращения: 30.05.2025)
361. Универсальный дрон S-120/S-270 – Транспорт будущего // <https://tb-drone.ru/>. – URL: <https://tb-drone.ru/developments/universal-drone/> (дата обращения: 30.05.2025)
362. Летящие машины Тьюринга. – URL: <http://turingfm.com> (дата обращения: 30.05.2025)
363. ZALA T-16 VTOL конвертоплан вертикального взлета и посадки // ZALA — Беспилотные системы (БПЛА), беспилотные воздушные суда (БВС). – URL: <https://zala-aero.com/product/zala-t-16-vtol/> (дата обращения: 30.05.2025)
364. ООО «Оптиплайн Аэродинамика» // Фонд инфраструктурных и образовательных программ. – URL: <https://fiop.site/infrastrukturnye-proekty/startupy/optiplane/> (дата обращения: 30.05.2025)
365. В РФ создали беспилотный гибрид самолета и квадрокоптера с вертикальным взлетом и посадкой – Газета.Ru | Новости // Газета.Ru – 30.05.2025. – URL: <https://www.gazeta.ru/tech/news/2023/04/14/20205469.shtml> (дата обращения: 30.05.2025)
366. Первый элемент: БПЛА на водороде защитит стратегическую инфраструктуру | Статьи | Известия. – URL: <https://iz.ru/1747096/iuliia-leonova/pervyi-element-bpla-na-vodorode-zashchitit-strategicheskuiu-infrastrukturu> (дата обращения: 30.05.2025)
367. БАС самолетного типа «Птеро-Н2». – URL: <http://ptero.ru/ptero-h2.html> (дата обращения: 30.05.2025)
368. В России разработали первый в мире легкий беспилотник с гибридным двигателем – ТАСС. – URL: <https://tass.ru/armiya-i-opk/11153257> (дата обращения: 30.05.2025)

369. Пилигрим / ООО «Оптиплайн Аэродинамика». – URL: <https://aerodyne.tech/pilgrim> (дата обращения: 30.05.2025)
370. Стратосферные БПЛА: российские разработки атмосферных псевдоспутников» Авиация России – 26.12.2024. – URL: <https://aviation21.ru/stratosfernye-bpla-rossijskie-razrabotki-atmosfernykh-psevdosputnikov/> (дата обращения: 30.05.2025)
371. В России создали стратосферный беспилотник «Аргус» | Видео | Известия | 24.12.2024. – URL: <https://iz.ru/1812778/video/v-rossii-sozdali-stratosfernyi-bespilotnik-argus> (дата обращения: 30.05.2025)
372. Прототип первого российского атмосферного спутника «Сова» успешно завершил испытания (видео). – URL: <https://fpi.gov.ru/press/news/prototip-pervogo-rossiyskogo-atmosfernogo-sputnika-sova-uspeshno-zavershil-ispytaniya/> (дата обращения: 30.05.2025)
373. Российские стратосферные БПЛА Ла-251/252: «Аист», который мы упустили. – URL: <https://www.gosniipp.ru/ru/news/energetika/20241204/rossiiskie-stratosfernie-bpla-la-251252-aist-kotorii> (дата обращения: 30.05.2025)
374. Беспилотник Ла-252 «Аист» готов к испытаниям в стратосфере» Авиация России – 23.10.2017. – URL: <https://aviation21.ru/bespilotnik-la-252-aist-gotov-k-ispytaniyam-v-stratosfere/> (дата обращения: 30.05.2025)
375. Новые продукты Центра 5G МТС: автономные дроны, роботы-курьеры и онлайн-трансляции с AI. – URL: <https://startup.mts.ru/blog/article/36> (дата обращения: 30.05.2025)
376. Сколтех | Сколковский институт науки и технологий. – URL: <https://www.skoltech.ru/2022/12/skolteh-i-skolkovo-podklyuchili-bespilotniki-k-5g/> (дата обращения: 30.05.2025)
377. В России впервые реализовали технологию управления беспилотником через спутник. – URL: https://t.me/roscosmos_gk/14208 (дата обращения: 30.05.2025)
378. Рой дронов «Геоскан Пионер» | ГК «Геоскан». – URL: <https://www.geoscan.ru/ru/products/pioneer/drone-swarm> (дата обращения: 30.05.2025)
379. Автономная робототехника: Рой БПЛА / ООО «Автономная робототехника». – URL: <http://autonomous-robotics.ru> (дата обращения: 30.05.2025)
380. Венгрия решила выйти из МУС // РИА Новости – None. – URL: <https://ria.ru/20250403/vengriya-2009057509.html> (дата обращения: 30.05.2025)
381. Южный федеральный университет | Пресс-центр: Ученые ЮФУ придумали, как защитить беспилотники от удаленного взлома. – URL: <https://sfedu.ru/press-center/news/67086> (дата обращения: 30.05.2025)
382. A Self-Diagnosis Method for Detecting UAV Cyber Attacks Based on Analysis of Parameter Changes / E. Basan, A. Basan, A. Nekrasov, C. Fidge, J. Gamec, M. Gamcová // Sensors. – 13.01.2021. – Vol. 21. – Issue 2. – Article 509. – ISSN 1424-8220. – DOI 10.3390/s21020509.
383. Перспективная программа стандартизации в области беспилотных авиационных систем (БАС) на 2024 – 2032 гг. – URL: https://www.aviationunion.ru/upload/iblock/9ae/sp1zhgpt9ftoponsgr8298dgyupum4z7/Proekt_perspektivnoi_programmy_BAS_Aktualnaya.pdf (дата обращения: 30.05.2025)
384. В РФ разрабатывают ударный БПЛА из вторсырья для 3D-печати в зоне СВО | Аргументы и Факты. – URL: https://aif.ru/techno/technology/v_rf_razrabatyvayut_udarnyy_bpla_iz_vtorsyrya_dlya_3d-pechati_v_zone_svo (дата обращения: 30.05.2025)

385. В России создали 3D-принтер для промышленного производства дронов // ТАСС. – URL: <https://tass.ru/armiya-i-opk/18417193> (дата обращения: 30.05.2025)
386. Напечатать дрон / Сетевое издание «Армейский стандарт», 2024. – URL: <https://armystandard.ru/news/2024814101-kBzKB.html> (дата обращения: 30.05.2025)
387. БПЛА для аэрофотосъемки, геодезии и картографии. Завод по производству беспилотников. – URL: <https://omjet.ru/> (дата обращения: 29.05.2025)
388. Официальный сайт компании / АгроДронГруп. – URL: <https://agrodronegroup.ru/> (дата обращения: 30.05.2025)
389. БПЛА для охраны и безопасности, применение бвс для охраны загородных домов, использование дронов для охраны полей, участков, леса, охотугодий – купить в ZALA. – URL: <https://zala-aero.com/usage/security/> (дата обращения: 30.05.2025)
390. Аист / Авиационная энциклопедия «Уголок неба». – URL: <https://www.airwar.ru/enc/bpla/aist.html> (дата обращения: 30.05.2025)
391. Луч / Авиационная энциклопедия «Уголок неба». – URL: <https://www.airwar.ru/enc/bpla/luch.html> (дата обращения: 30.05.2025)
392. Типчак / Авиационная энциклопедия «Уголок неба». – URL: <https://www.airwar.ru/enc/bpla/tipchak.html> (дата обращения: 30.05.2025)
393. Защита растений / ООО «Птеро». – URL: <http://ptero.ru/uslugi/zashhita-rastenij.html> (дата обращения: 30.05.2025)
394. Универсальная платформа S-120/S-270 / ООО «Транспорт будущего». – URL: <https://tb-drone.ru/developments/universal-drone/> (дата обращения: 30.05.2025)
395. OG-003 | БАС ГЛОРИ ЭЙР| БПЛА самолетного типа. – URL: <https://basga.ru/og-003> (дата обращения: 30.05.2025)
396. OG-50 | GLORYAIR| БПЛА самолетного типа. – URL: <https://basga.ru/og-50> (дата обращения: 30.05.2025)
397. Дрон «Ворон», созданный в Петербурге, может оперативно расширять зону беспроводной связи // spbdnevnik.ru. – URL: <https://spbdnevnik.ru/news/2023-11-03/dron-voron-sozdanny-v-peterburge-mozhet-operativno-rasshiryat-zonu-besprovodnoy-svyazi> (дата обращения: 30.05.2025)
398. В России разработали дрон-конвертоплан «Настасья» – Российская газета. – URL: <https://rg.ru/2024/02/06/v-rossii-razrabotali-dron-konvertoplan-nastasia.html> (дата обращения: 30.05.2025)
399. Пионер Арена Мини // Geoscan // ГК «Геоскан». – URL: <https://www.geoscan.ru/ru/products/pioneer/arena-mini> (дата обращения: 30.05.2025)
400. Геоскан Симулятор | ГК «Геоскан». – URL: <https://www.geoscan.ru/ru/products/pioneer/simulator> (дата обращения: 30.05.2025)
401. Шоу дронов // Geoscan. – URL: <https://www.geoscan.ru/ru/show-drones> (дата обращения: 30.05.2025)
402. Лесные стражи: как создаются российские беспилотники для борьбы с природными пожарами // «Научная Россия» – электронное периодическое издание – 2.04.2025. – URL: <https://scientificrussia.ru/articles/lesnye-strazi-kak-sozdautsa-rossijskie-bespilotniki-dla-borby-s-prirodnymi-pozarami> (дата обращения: 30.05.2025)
403. В аварийно-спасательную службу Ямала поступит беспилотник | Национальные проекты РФ. – URL: <https://xn--80aapampemcchfmo7a3c9ehj.xn--p1ai/news/v-avariyno-spasatelnuyu>

- sluzhbu-yamala-postupit-bespiilotnik/ (дата обращения: 30.05.2025)
404. Спасатели-операторы БПЛА Морспасслужбы войдут в состав экипажей атомных ледоколов. Официальный сайт морской спасательной службы. Министерство транспорта Российской Федерации. Федеральное агентство морского и речного транспорта. – URL: <https://morspas.ru/press-center/news/spasateli-operator-bpla-morspassluzhby-voydut-v-sostav-ekipazhey-atomnykh-ledokolov/> (дата обращения: 30.05.2025)
 405. В Москве испытывают летающее такси. Мы на нем прокатились – ТАСС // ТАСС. – URL: <https://tass.ru/ekonomika/10771607> (дата обращения: 30.05.2025)
 406. Каким будет транспорт будущего и когда появится аэротакси – Ведомости. Промышленность. – URL: https://www.vedomosti.ru/industry/industrial_policy/articles/2024/08/14/1055863-upravlyayut-roboti-a-ne-chelovek-kakim-budet-transport-buduschego-i-kogda-poyavitsya-aerotaksi (дата обращения: 30.05.2025)
 407. Аэротакси S-700 – Транспорт будущего // <https://tb-drone.ru/>. – URL: <https://tb-drone.ru/developments/air-taxi/> (дата обращения: 30.05.2025)
 408. ElSight Releases 2023 Drone Market Survey Report // Unmanned Systems Technology. – URL: <https://www.unmannedsystemstechnology.com/feature/elsight-releases-2023-drone-market-survey-report/> (дата обращения: 30.05.2025)
 409. Global Drone Survey Results 2025 | Drone Industry Insights. – URL: <https://droneii.com/global-drone-survey-results-2024> (дата обращения: 30.05.2025)
 410. Zhang Y., Kamargianni M. A review on the factors influencing the adoption of new mobility technologies and services: autonomous vehicle, drone, micromobility and mobility as a service // *Transport Reviews*. – 4.05.2023. – Vol. 43. – Issue 3. – P. 407–429. – ISSN 0144-1647, 1464-5327. – DOI 10.1080/01441647.2022.2119297.
 411. DIVA Portal. A systematic literature review on drones' application in last-mile delivery. – URL: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1577765/FULLTEXT01.pdf> (дата обращения: 02.06.2025)
 412. Sarver M. Sorry for the Delay: How FAA Regulations in the U.S. are Stifling Innovation and Hindering the Growth of a Promising New Industry Based on Delivery Drones // *Journal of Air Law and Commerce*. – 2024. – Vol. 89. – Issue 3. – Article 537. – ISSN 0021-8642. – DOI 10.25172/jalc.89.3.7.
 413. Alamouri A., Lampert A., Gerke M. An Exploratory Investigation of UAS Regulations in Europe and the Impact on Effective Use and Economic Potential // *Drones*. – 16.07.2021. – Vol. 5. – Issue 3. – Article 63. – ISSN 2504-446X. – DOI 10.3390/drones5030063.
 414. Applying Drones to Current Societal and Industrial Challenges : Management and Industrial Engineering ;; ред. Diego Carou, Antonio Sartal, J. Paulo Davim. – Cham : Springer Nature Switzerland, 2024. – ISBN 978-3-031-55570-1.
 415. Legal, Economic and Cyber Security Framework Considerations for Drone Usage / M. Şcheau, M. Achim, L. Găbudeanu, I. Brici, A. Vilcea // *Applied Sciences*. – 6.05.2022. – Vol. 12. – Issue 9. – Article 4663. – ISSN 2076-3417. – DOI 10.3390/app12094663.
 416. Upadrasta V., Hamdan J., Leitner R., Kolrep H. Who Are the Stakeholders of Drone Use? Roles, Benefits, Risk Perceptions, and Solutions // *Human Interaction, Emerging Technologies and Future Systems V. T. 319.*; edit. Tareq Ahram, Redha Taiar. – Cham: Springer International Publishing, 2022. – ISBN 978-3-030-85539-0.
 417. The challenges of drone ATM integration. – URL:

- <https://globalairspaceradar.com/stories/opinion/the-challenges-of-drone-atm-integration/> (дата обращения: 02.06.2025)
418. Impediments to Construction Site Digitalisation Using Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) / A. Onososen, I. Musonda, D. Onatayo, M. Tjebane, A. Saka, R. Fagbenro // *Drones*. – 9.01.2023. – Vol. 7. – Issue 1. – Article 45. – ISSN 2504-446X. – DOI 10.3390/drones7010045.
 419. Aiyetan A., Das D. Use of Drones for construction in developing countries: barriers and strategic interventions // *International Journal of Construction Management*. – 10.12.2023. – Vol. 23. – Issue 16. – P. 2888-2897. – ISSN 1562-3599. 2331-2327. – DOI 10.1080/15623599.2022.2108026.
 420. Agricultural Drones in Africa: Exploring Adoption, Applications, and Barriers / P. -, G. -, J. -, J. -, I. -, S. - // *International Journal For Multidisciplinary Research*. – 6.11.2024. – Vol. 6. – Issue 6. – Article 28326. – ISSN 2582-2160. – DOI 10.36948/ijfmr.2024.v06i06.28326.
 421. Patro R., Chandra S., Patro J. Drone Integration in Last-Mile Delivery Operations // *International Journal of Supply Chain and Logistics*. – 13.10.2024. – Vol. 8. – Issue 2. – P. 109-122. – ISSN 2520-3983. – DOI 10.47941/ijscsl.2286.
 422. Unmanned Aerial Vehicles (UAVs): A Survey on Civil Applications and Key Research Challenges / H. Shakhathreh, A. Sawalmeh, A. Al-Fuqaha, Z. Dou, E. Almaita, I. Khalil, N. Othman, A. Khreishah, M. Guizani // *IEEE Access*. – 2019. – Vol. 7. – P. 48572-48634. – ISSN 2169-3536. – DOI 10.1109/ACCESS.2019.2909530.
 423. Akib Uz Zaman A., Abdelaty A., Jamal M. Limitations and Barriers Affecting the Applications of UAVs in Transportation Infrastructure Systems Assessment // *Construction Research Congress 2024* : – Des Moines, Iowa : American Society of Civil Engineers, 2024. – ISBN 978-0-7844-8526-2. – ISBN 10.1061/9780784485262.046.
 424. OECD. Case studies on agile regulatory governance to harness innovation. – URL: https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2022/08/case-studies-on-agile-regulatory-governance-to-harness-innovation_215b5fc5/0fa5e0e6-en.pdf (дата обращения: 02.06.2025)
 425. European Parliament. Regulating drones in the EU: State of play. – URL: [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/ATAG/2023/747907/EPRS_ATA\(2023\)747907_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/ATAG/2023/747907/EPRS_ATA(2023)747907_EN.pdf) (дата обращения: 02.06.2025)
 426. AAM-I28 Implementation Plan // Federal Aviation Administration (FAA). – URL: <https://www.faa.gov/sites/faa.gov/files/AAM-I28-Implementation-Plan.pdf> (дата обращения: 02.06.2025)
 427. Shifting Attention in Drone Regulation. – URL: <https://www.commercialuavnews.com/regulations/shifting-attention-in-drone-regulation> (дата обращения: 02.06.2025)
 428. Drones, Airspace, and the Sharing Economy | Mercatus Center – 11.07.2022. – URL: <https://www.mercatus.org/research/research-papers/drones-airspace-and-sharing-economy> (дата обращения: 02.06.2025)
 429. ERRIN. Policy Paper on Drones. – URL: <https://errin.eu/system/files/2024-04/POLICY%20PAPER%20ON%20DRONES.pdf> (дата обращения: 02.06.2025)
 430. UC Berkeley. Drones in Smart Cities: Overcoming Barriers through Air Traffic Control Research. – URL: http://unmanned.berkeley.edu/assets/papers/Aislan_REDUEAS15.pdf (дата обращения: 02.06.2025)
 431. PwC DPS Global UTM Report // PwC Central and Eastern Europe. – URL: <https://cee.pwc.com/pdf->

- nf/PwC_DPS_Global_UTM_Report.pdf (дата обращения: 02.06.2025)
432. McNabb M. How U.S // China Tariffs Could Reshape the Drone Industry (It's Not What You Think). – URL: <https://dronelife.com/2025/04/04/how-u-s-china-tariffs-could-reshape-the-drone-industry/> (дата обращения: 30.05.2025)
 433. Joint Research Centre (European Commission). Research and Innovation on Drones in Europe. – URL: https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC137334/JRC137334_01.pdf (дата обращения: 03.06.2025)
 434. Unmanned Aerial Vehicles: Emerging Policy and Regulatory Issues. – URL: <https://www.austlii.edu.au/au/journals/JILawInfoSci/2012/35.pdf> (дата обращения: 02.06.2025)
 435. EU-OSHA. UNMANNED AERIAL VEHICLES. – URL: https://osha.europa.eu/sites/default/files/Unmanned-aerial-vehicles-and-OSH_en.pdf (дата обращения: 02.06.2025)
 436. Unmanned aerial vehicles (UAVs): practical aspects, applications, open challenges, security issues, and future trends / S. Mohsan, N. Othman, Y. Li, M. Alsharif, M. Khan // *Intelligent Service Robotics*. – Vol. 16. – Issue 1. – P. 109-137. – ISSN 1861-2776, 1861-2784. – DOI 10.1007/s11370-022-00452-4.
 437. Privacy by Design // European Union Aviation Safety Agency (EASA). – URL: <https://www.easa.europa.eu/en/domains/civil-drones/privacy/privacy-by-design> (дата обращения: 02.06.2025)
 438. Wang N., Mutzner N., Blanchet K. Societal acceptance of urban drones: A scoping literature review // *Technology in Society*. – Vol. 75. – Article 102377. – ISSN 0160791X. – DOI 10.1016/j.tech-soc.2023.102377.
 439. Requirements for Drone Operations to Minimise Community Noise Impact / C. Ramos-Romero, N. Green, S. Roberts, C. Clark, A. Torija // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. – 29.07.2022. – Vol. 19. – Issue 15. – Article 9299. – ISSN 1660-4601. – DOI 10.3390/ijerph19159299.
 440. How to make noisy drones a little less irritating – Research Outreach. – URL: <https://researchoutreach.org/articles/how-make-noisy-drones-little-less-irritating/> (дата обращения: 02.06.2025)
 441. US Drone Manufacturer Forecasts Need for Expansion. – URL: <https://www.cleverence.com/articles/business-blogs/us-drone-manufacturer-forecasts-need-for-expansion/> (дата обращения: 02.06.2025)
 442. Drone Job Market Update // Drone Industry Insights. – URL: <https://www.cleverence.com/articles/business-blogs/us-drone-manufacturer-forecasts-need-for-expansion/> (дата обращения: 30.05.2025)
 443. Skyports unveils first look at U.K. vertiport – Vertical Mag. – URL: <https://verticalmag.com/press-releases/skyports-unveils-first-look-at-u-k-vertiport/> (дата обращения: 02.06.2025)
 444. AtkinsRéalis reveals design of mobile drone landing pads – Build in Digital. – URL: <https://buildindigital.com/atkinsrealis-reveals-design-of-mobile-drone-landing-pads/> (дата обращения: 02.06.2025)
 445. Mugala S., Okello D., Serugunda J. Leveraging the Technology of Unmanned Aerial Vehicles for Developing Countries // *SAIEE Africa Research Journal*. – Vol. 111. – Issue 4. – P. 139-148. – ISSN 1991-1696. – DOI 10.23919/SAIEE.2020.9194383.
 446. GLOBAL ENERGY TRANSMISSION – Your Autonomous In-Flight Wireless Charging Solution for Drones. – URL: <https://getcorp.com/> (дата обращения: 02.06.2025)
 447. Dock for X10 | Skydio. – URL: <https://www.skydio.com/dock> (дата обращения: 02.06.2025)
 448. Enhancing BVLOS Drone Operations with SATCOM Technology. – URL:

- <https://www.elsight.com/blog/how-satcom-is-used-for-bvlos-drone-flights/> (дата обращения: 02.06.2025)
449. FinCrime. Preventive cybersecurity steps to enhance drone usage. – URL: <https://fin-crime.net/storage/app/uploads/public/61a/fac/aec/61afacaec0501697509054.pdf> (дата обращения: 02.06.2025)
 450. IJCNA. A Survey on Cybersecurity in Unmanned Aerial Vehicles. – URL: <https://www.ijcna.org/Manuscripts/IJCNA-2023-0-46.pdf> (дата обращения: 02.06.2025)
 451. CRC. Drones, Cyber Security and Critical Infrastructure. – URL: <https://cybersecuritycrc.org.au/sites/default/files/2024-05/Flight%20Critical.pdf> (дата обращения: 02.06.2025)
 452. Global State of Drones 2024: New Trends and Perspectives of the Commercial Drone Industry Based on a Direct Surveying of Global Drone Companies. – URL: <https://droneii.com/global-drone-survey-results-2024> (дата обращения: 30.05.2025)
 453. Гендиректор ассоциации «Аэронекст» рассказал о перспективах развития беспилотной авиации // Аэронекст // АЭРОНЕКСТ. – URL: https://aeronext.aero/press_room/interview/2025_02_10_gendirektor_assotsiatsii_aeronext_rasskazal_o (дата обращения: 02.06.2025)
 454. Эксперт: Необходим системный подход в формировании нормативной базы применения БПЛА. – URL: <http://vestnik-glonass.ru/news/tech/ekspert-neobkhodim-sistemnyy-podkhod-v-formirovanii-normativnoy-bazy-primeneniya-bpla/> (дата обращения: 02.06.2025)
 455. Нормативные условия, необходимые для развития беспилотной авиации и реализации Национального проекта 'БАС' // АЭРОНЕКСТ. – URL: https://aeronext.aero/press_room/analytics/052492 (дата обращения: 02.06.2025)
 456. Эксперт обозначил основные барьеры, препятствующие развитию БАС в России. – URL: <https://securityexp.ru/tpost/7dni1ledx1-ekspert-oboznachil-osnovnie-bareri-prepy> (дата обращения: 02.06.2025)
 457. Переориентация грузопотоков на Восток показала, что надо развивать транспортный коридор между Россией и Китаем // Транспорт России. – URL: <https://transportrussia.ru/razdely/vozdushnyj-transport/12033-pereorientatsiya-gruzopotokov-na-vostok-pokazala-chto-nado-razvivat-transportnyj-koridor-mezhdu-rossiej-i-kitaem.html> (дата обращения: 02.06.2025)
 458. Приказ Министерства транспорта Российской Федерации от 08.07.2024 № 236 "Об установлении зон полетов беспилотных воздушных судов" // Российская газета. – URL: <https://rg.ru/documents/2024/08/22/mintrans-prikaz236-site-dok.html> (дата обращения: 30.05.2025)
 459. Производство БПЛА в России // TAdviser // TAdviser.ru. – URL: https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Производство_БПЛА_в_России (дата обращения: 02.06.2025)
 460. Дронам предложат летать в «трубе». – URL: <https://transportrussia.ru/razdely/vozdushnyj-transport/12279-dronam-predlozhat-letat-v-trube.html> (дата обращения: 02.06.2025)
 461. Путин поручил создать в России новый класс воздушного пространства. Там разрешат летать БПЛА – CNews // CNews.ru. – URL: https://www.cnews.ru/news/top/2025-01-29_putin_poruchil_sozdat_novyi (дата обращения: 02.06.2025)
 462. Анализ рынка гражданских БПЛА: итоги, прогнозы, тренды. – URL: <https://www.novostiitkanala.ru/news/detail.php?ID=183878> (дата обращения: 02.06.2025)

463. НЕБОСВОД UTM. – URL: https://www.aeroscript.ru/nebosvod_utm (дата обращения: 02.06.2025)
464. Обзор рынка беспилотных авиационных систем в России // СберПро | Медиа. – URL: <https://sber.pro/publication/visshii-pilotazh-kak-regulirovat-i-razvivat-rinok-bas/> (дата обращения: 02.06.2025)
465. Систему идентификации дронов начнут тестировать в России в 2025 году // Ведомости // Ведомости – 22.03.2025. – URL: <https://www.vedomosti.ru/technology/articles/2025/03/22/1099579-sistemu-identifikatsii-dronov> (дата обращения: 02.06.2025)
466. Российская система опознавания «свой-чужой» «Пароль» стала общей для всех стран СНГ // Рамблер/новости – 12.11.2024. – URL: <https://news.rambler.ru/army/53734156-rossiyskaya-sistema-opoznaniya-svoy-chuzhoj-parol-stala-obshchey-dlya-vseh-stran-sng/> (дата обращения: 02.06.2025)
467. Парламентская газета. Закрытое небо: почему не работают экспериментальные правовые режимы для беспилотников – 2.06.2025. – URL: <https://www.pnp.ru/top/zakrytoe-nebo-pochemu-ne-rabotayut-eksperimentalnye-pravovye-rezhimy-dlya-bespilotnikov.html> (дата обращения: 02.06.2025)
468. TAdviser. «Госрегулирование рынка дронов в России.» // TAdviser.ru. – URL: https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Госрегулирование_рынка_дронов_в_России (дата обращения: 02.06.2025)
469. Защита от беспилотников. Почему гражданская ПВО должна дополнить военную? – Мнения ТАСС // ТАСС. – URL: <https://tass.ru/opinions/23495611> (дата обращения: 02.06.2025)
470. Систему идентификации дронов «свой-чужой» профинансируют из бюджета // Ведомости – 22.03.2025. – URL: <https://www.vedomosti.ru/technology/articles/2025/03/22/1099579-sistemu-identifikatsii-dronov> (дата обращения: 02.06.2025)
471. Гражданская противодронная оборона: новости, технологии, советы по защите от дронов и БПЛА. – URL: <https://www.rub-in.ru/news/grazhdanskaya-protivodronnaya-oborona/> (дата обращения: 02.06.2025)
472. Национальный проект Беспилотные авиационные системы | Официальный сайт. – URL: <https://xn--80aapampemcchfmo7a3c9ehj.xn--p1ai/new-projects/bespilotnye-aviatsionnye-sistemy/> (дата обращения: 02.06.2025)
473. Высший пилотаж: как регулировать и развивать рынок БАС. 2024. // СберПро | Медиа. – URL: <https://sber.pro/publication/visshii-pilotazh-kak-regulirovat-i-razvivat-rinok-bas/> (дата обращения: 02.06.2025)
474. Materials Informatics Market Size, Share, and Trends 2025 to 2034. – URL: <https://www.precedenceresearch.com/material-informatics-market> (дата обращения: 02.06.2025)
475. Materials Informatics Market Size, Share, Report 2025 to 2034. – URL: <https://www.cervicornconsulting.com/materials-informatics-market> (дата обращения: 02.06.2025)
476. Material Informatics Market by Material (Chemicals, Superalloys, Solid-state Electrolytes, Composites), Technique (Statistical Analysis, Genetic Algorithm), Application (Materials Discovery, Product Development) and Region – Global Forecast to 2030. – URL: <https://www.giiresearch.com/report/mama1671381-material-informatics-market-by-material-chemicals.html> (дата обращения: 02.06.2025)
477. Drones as a service // drone operations as a complete package. – URL:

- <https://droniq.de/en/drones-as-a-service/> (дата обращения: 02.06.2025)
478. Глава АЭРОНЕКСТ рассказал журналу Эксперт-Урал о влиянии санкций на разработку БАС в РФ // АЭРОНЕКСТ. – URL: https://aeronext.aero/press_room/news/102092 (дата обращения: 02.06.2025)
 479. Unmanned Aerial Systems // The Future of Aerial Technology 2025 // Aeronautics. – URL: <https://aeronautics-sys.com/unmanned-aerial-systems-the-future-of-aerial-technology/> (дата обращения: 02.06.2025)
 480. Harriss D., Sheh R., Geappen K. Autonomous Aerial Drones Connecting Public Safety: Opportunities and Challenges for the Future // NIST. – 2024. – DOI: 10.52202/075106-0002.
 481. Amendola J., Cenkeramaddi L., Jha A. Drone Landing and Reinforcement Learning: State-of-Art, Challenges and Opportunities // IEEE Open Journal of Intelligent Transportation Systems. – 2024. – Vol. 5. – P. 520-539. – ISSN 2687-7813. – DOI 10.1109/OJITS.2024.3444487.
 482. Prabu B., Malathy R., Taj M., Madhan N. Drone Networks and Monitoring Systems in Smart Cities // AI-Centric Smart City Ecosystems // AI-Centric Smart City Ecosystems. – CRC Press, 2022. – P. 123-148. – ISBN 978-1-00-325254-2.
 483. The Future of Autonomous UAVs: Innovations, Challenges, and Industry Impact | Aviation Pros. – URL: <https://www.aviationpros.com/aoa/article/55276630/the-future-of-autonomous-uavs-innovations-challenges-and-industry-impact> (дата обращения: 02.06.2025)
 484. Cybersecurity CRC. Drones, Cyber Security and Critical Infrastructure. – URL: <https://cybersecuritycrc.org.au/remote-assets/sites/default/files/2024-05/Flight%20Critical.pdf> (дата обращения: 02.06.2025)
 485. Papageorgiou A. Design Optimization of Unmanned Aerial Vehicles : A System of Systems Approach. Linköping Studies in Science and Technology. Dissertations. T. 2018 / – Linköping : Linköping University Electronic Press, 6.12.2019. – ISBN 978-91-7519-001-3. – URL: <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:liu:diva-161915> (дата обращения: 02.06.2025)
 486. The Role of Fuselages in Modern Aviation Advancements. – URL: <https://researchdive.com/blog/role-of-fuselages-in-modern-aviation-advancements> (дата обращения: 02.06.2025)
 487. Анализ рынка гражданских БПЛА: итоги, прогнозы, тренды | Sovmash.com. – URL: <https://www.sovmash.com/node/3842> (дата обращения: 02.06.2025)
 488. Staff B. The limits of energy storage technology // Bulletin of the Atomic Scientists. – URL: <https://thebulletin.org/2009/01/the-limits-of-energy-storage-technology/> (дата обращения: 30.05.2025)
 489. Energy Density in Unmanned Aerial Systems (UAS) | Amprius. – URL: <https://amprius.com/about/news-and-events/energy-density-uas/> (дата обращения: 02.06.2025)
 490. Early Detection of Battery Depletion Attack in 5G-based UAV Networks / M. Dey, C. Bhumika, H. Ankitha, B. Nethravathi, M. Patra // 2024 IEEE International Conference on Advanced Networks and Telecommunications Systems (ANTS). Guwahati, India: IEEE, 15.12.2024. – ISBN 9798350391725. – ISBN 10.1109/ANTS63515.2024.10898930.
 491. Exploring the Future of Drone Communication: 4 Trends and Innovations // Research Dive. – URL: <https://researchdive.com/blog/exploring-the-future-of-drone-communication-4-trends-and-innovations> (дата обращения: 02.06.2025)
 492. The Rise of Cyber Espionage: UAV and C-UAV Technologies as Targets. – URL: <https://www.resecurity.com/blog/article/the-rise-of-cyber-espionage-uav-and-c-uav-technologies-as-targets>

- (дата обращения: 02.06.2025)
493. Making drones more customizable // MIT News | Massachusetts Institute of Technology – 11.09.2014. – URL: <https://news.mit.edu/2014/customizable-drones-0911> (дата обращения: 02.06.2025)
 494. Print, Test, Deploy: The Portable Factory Bringing Instant Quality Control to the Frontlines // 3DPrint.com. – URL: <https://3dprint.com/316103/print-test-deploy-the-portable-factory-bringing-instant-quality-control-to-the-frontlines/> (дата обращения: 02.06.2025)
 495. Prediction of Printing Failure of a 3D Printed Drone Propeller using Fused Deposition Modeling // 3DEXPERIENCE, Dassault Systèmes. – URL: https://www.3ds.com/assets/invest/2024-01/2018-saoe-prediction_of_printing_failure_of_a_3d_printed_drone_propeller_using_fused_deposition_modeling.pdf (дата обращения: 02.06.2025)
 496. 3D Printing Technology for the Drone Industry – Eplus3D. – URL: <https://www.eplus3d.com/3d-printing-technology-for-the-drone-industry.html> (дата обращения: 02.06.2025)
 497. Global Commercial Drone Regulatory Framework Report 2024: Developments in Remote ID Rules in Different Drone Markets Present Opportunities for Growth – ResearchAndMarkets.com. – URL: <https://www.businesswire.com/news/home/20240618948424/en/Global-Commercial-Drone-Regulatory-Framework-Report-2024-Developments-in-Remote-ID-Rules-in-Different-Drone-Markets-Present-Opportunities-for-Growth---ResearchAndMarkets.com> (дата обращения: 02.06.2025)
 498. BVLOS rule-making Commercial Drone Alliance Calls for Action – DRONELIFE. – URL: <https://dronelife.com/2025/03/03/commercial-drone-alliance-urges-swift-action-on-bvlos-rule-making/> (дата обращения: 02.06.2025)
 499. Geofencing // vHive. – URL: <https://www.vhive.ai/glossary/geofencing/> (дата обращения: 02.06.2025)
 500. What is Geocaging? How This System Works on Drones // Umiles Group. – URL: <https://umilesgroup.com/en/what-is-geocaging-how-this-system-works-on-drones/> (дата обращения: 02.06.2025)
 501. The Drone Threat to Airports, and Ways to Counter It: A TSI Roundtable | Transport Security International Magazine. – URL: <https://tsi-mag.com/the-drone-threat-to-airports-and-ways-to-counter-it-a-tsi-roundtable/> (дата обращения: 02.06.2025)
 502. Connecting Emerging Aviation Startups with Capital// UAS Angel Network // DCN. – URL: <https://www.wyosmartcapital.org/uasci/uasanweb.nsf/pages/index.html> (дата обращения: 02.06.2025)
 503. About Drone Fund // Drone Fund. – URL: <https://dronefund.vc/en/about/> (дата обращения: 02.06.2025)
 504. <https://www.coherentmarketinsights.com> C. Drone Traffic Management Regulatory Challenges and Business Opportunities. – URL: <https://www.coherentmarketinsights.com> (дата обращения: 02.06.2025)
 505. USNDA Commends 'Countering Chinese Drones' Provisions in FY 2025 NDAA, Calls for Expanded Commitment from Congress Towards Rapidly and Responsibly Advancing the American Drone Industrial Base. – URL: <https://www.prnewswire.com/news-releases/usnda-commends-counter-ing-chinese-drones-provisions-in-fy-2025-ndaa-calls-for-expanded-commitment-from-congress-towards-rapidly-and-responsibly-advancing-the-american-drone-industrial-base-302326802.html> (дата обращения: 02.06.2025)

506. Unmanned Aerial Vehicles (UAV) Market: Trump-Era Tariffs Economic Impact // MarketsandMarkets. – URL: <https://www.marketsandmarkets.com/blog/AD/unmanned-aerial-vehicles-uav-market-trump-era-tariffs-economic-impact> (дата обращения: 02.06.2025)
507. European Commission. UAV systems for civilian applications. – URL: <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/13430/attachments/1/translations/en/renditions/native> (дата обращения: 02.06.2025)
508. Skywatch.AI Partners with Parazero: Drone Pilots Save Money on Insurance with Safety Systems – DRONELIFE. – URL: <https://dronelife.com/2019/12/05/skywatch-ai-partners-with-parazero-drone-pilots-save-money-on-insurance-with-safety-systems/> (дата обращения: 02.06.2025)
509. New Next-Generation Battery Technology Doubles Drone Flight Time // DroneLife. – URL: <https://dronelife.com/2025/01/24/new-next-generation-battery-technology-doubles-drone-flight-time/> (дата обращения: 02.06.2025)
510. Revolutionizing UK Farming: How Weather-Resistant Drones and Precision Agriculture Are Transforming Crop Management– URL: <https://farmonaut.com/united-kingdom/weather-resistant-drones-boost-uk-precision-farming> (дата обращения: 02.06.2025)
511. Weather resilience in autonomous drone systems – FreightAmigo. – URL: <https://www.freightamigo.com/blog/weather-resilience-in-autonomous-drone-systems/> (дата обращения: 02.06.2025)
512. Flyability's Smart Return-to-Home Ushers Elios 3 Toward Autonomous Inspections. – URL: <https://dronexl.co/2025/03/27/flyability-smart-return-to-home/> (дата обращения: 02.06.2025)
513. Overcoming 3 Key Barriers to Drone Program Creation – Consortiq. – URL: <https://consortiq.com/uas-resources/overcoming-3-key-barriers-to-drone-program-creation> (дата обращения: 02.06.2025)
514. MIT says its silent propellers can make your DJI drone less whiny. – URL: <https://dronedj.com/2023/01/27/low-noise-drone-propeller-quiet/> (дата обращения: 02.06.2025)
515. Low-Noise Multi-Agent Intelligent Navigation for Unmanned Aircraft Systems / Q. Tan, Y. Li, H. Bao, P. Zhou, H. Lo, S. Zhong, X. Zhang // 30th AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference (2024) : – Rome, Italy : American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2024. – ISBN 978-1-62410-720-7. – ISBN 10.2514/6.2024-3234.
516. Navigating the global UAV market's skills shortage | Commercial UAV News. – URL: <https://www.commercialuavnews.com/international/navigating-the-global-uav-market-s-skills-shortage> (дата обращения: 02.06.2025)
517. AV Industry Needs Strong Talent to Support Expansion // Commaris. – URL: <https://commaris.com/uav-industry-needs-strong-talent-to-support-expansion/> (дата обращения: 02.06.2025)
518. Immersive Visualization in Pilot Training: from Cockpit Panels to Drone Navigation / S. Livatino, G. Morana, Y. Iqbal, M. Mohamed, S. Hwang, P. Gainley, T. Nguyen, K. Williams, A. Zocco. – Rome, Italy: IEEE, 2022. – ISBN 10.1109/MetroXRINE54828.2022.9967530.
519. Drones, Airspace, and the Sharing Economy | Mercatus Center. – URL: <https://www.mercatus.org/research/research-papers/drones-airspace-and-sharing-economy> (дата обращения: 02.06.2025)
520. Skyports and Barr Gazetas Design Vertiports for Drones on London Rooftops // Dezeen // Dezeen. 2018. – URL: <https://www.dezeen.com/2018/08/23/skyports-barr-gazetas-london-rooftops->

- vertiports-drones-technology/ (дата обращения: 02.06.2025)
521. UAVs and the Future of Gasoline Stations. – URL: https://3laws.io/pages/UAVs_and_the_Future_of_Gasoline_Stations.html (дата обращения: 02.06.2025)
 522. Communications in Space–Air–Ground Integrated Networks: An Overview / K. Yang, Y. Wang, X. Gao, C. Shi, Y. Huang, H. Yuan, M. Shi // Space: Science & Technology. – Vol. 5. – Article 0199. – ISSN 2692-7659. – DOI 10.34133/space.0199.
 523. Skydio's Commitment to Drone Cybersecurity | FBI & CISA Aligned – 21.02.2024. – URL: <https://www.skydio.com/blog/Skydio-drone-security-aligned-with-fbi-cisa-uas-cybersecurity/> (дата обращения: 02.06.2025)
 524. Network and Distributed System Security Symposium (NDSS). – URL: <https://www.ndss-symposium.org/wp-content/uploads/2022-71-paper.pdf> (дата обращения: 02.06.2025)
 525. Tlili F., Ayed S., Chaari Fourati L. Exhaustive distributed intrusion detection system for UAVs attacks detection and security enforcement (E-DIDS) // Computers & Security. – Vol. 142. – Article 103878. – ISSN 01674048. – DOI 10.1016/j.cose.2024.103878.
 526. Green UAS // AUVSI. – URL: <https://www.auvsi.org/green-uas> (дата обращения: 02.06.2025)
 527. Архитектура рынка беспилотной авиации / Ассоциация «АЭРОНЕКСТ». – URL: https://aeronext.aero/press_room/analytics/232681 (дата обращения: 02.06.2025)
 528. Город беспилотников. Может ли Петербург стать полигоном для испытаний дронов. – URL: <https://tass.ru/v-strane/22392689> (дата обращения: 02.06.2025)
 529. О мерах поддержки национального проекта БАС Минпромторга России. – URL: https://minpromtorg.gov.ru/storage/common/Перечень_мер_поддержки_2.pdf (дата обращения: 02.06.2025)
 530. Перспективные технологии для беспилотников (федеральный проект). – URL: [https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Перспективные_технологии_для_беспилотников_\(федеральный_проект\)](https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Перспективные_технологии_для_беспилотников_(федеральный_проект)) (дата обращения: 02.06.2025)
 531. Автономность и «мозги»: эксперты рассказали, чего не хватает беспилотникам – Российская газета. – URL: <https://rg.ru/2023/09/21/avtonomnost-i-mozgi-eksperty-rasskazali-chego-ne-hvataet-bespilotnikam.html> (дата обращения: 02.06.2025)
 532. Комплексное исследование текущего состояния используемых технологий и технологических трендов в сфере БАС / Ассоциация «АЭРОНЕКСТ». – URL: https://aeronext.aero/press_room/analytics/232480 (дата обращения: 02.06.2025)
 533. Санкции не остановят перспективные разработки в России беспилотных авиационных систем. – URL: <https://expert-ural.com/articles/ekspert-sankcii-ne-ostanovyat-perspektivnie-razrabotki-v-rossii-bespilotnih-aviacionnih-sistem.html> (дата обращения: 02.06.2025)
 534. Китай с 1 сентября введет ограничения на экспорт определенного вида дронов и ряда их компонентов. Как это коснется России? – URL: <https://www.bfm.ru/news/530777> (дата обращения: 02.06.2025)
 535. Дроны на паузе. Что мешает развитию отечественного рынка БПЛА — Журнал «Агротехника и технологии» – Агроинвестор. – URL: <https://www.agroinvestor.ru/technologies/article/41748-drony-na-pauze-chto-meshaet-razvitiyu-otechestvennogo-rynka-bpla/> (дата обращения: 02.06.2025)
 536. Названы основные проблемы в области российских БПЛА. – URL: <https://mashnews.ru/nazvani-osnovnyie-problemyi-v-oblasti-rossijskix-bpla.html> (дата обращения: 02.06.2025)

537. Инспекции с БПЛА в различных отраслях // AEROMOTUS. – URL: <https://aeromotus.ru/inspekcii-s-bpla-v-razlichnyh-otraslyah/> (дата обращения: 02.06.2025)
538. Проблемы безопасности с батареями для дронов-battery-knowledge | Large Power. – URL: <https://ru.large.net/news/9au43qk.html> (дата обращения: 02.06.2025)
539. Главное о безопасности дронов / АО «Лаборатория Касперского». – URL: <https://www.kaspersky.ru/resource-center/threats/can-drones-be-hacked> (дата обращения: 02.06.2025)
540. Национальная промышленность и 3D-печать: как развивается рынок аддитивных технологий в России | Компьютерра. – URL: <https://www.computerra.ru/310980/natsionalnaya-promyshlennost-i-3d-pechat-kak-razvivaetsya-rynok-additivnyh-tehnologij-v-rossii/> (дата обращения: 02.06.2025)
541. Перспективная программа стандартизации в области беспилотных авиационных систем (БАС) на период 2024 – 2032 гг. – URL: <https://nti2035.ru/upload/ППС%20в%20области%20БАС.pdf> (дата обращения: 02.06.2025)
542. Аналитический отчет по результатам исследования российского гражданского рынка беспилотных авиационных систем в 2024 году. – URL: https://aeronext.aero/UserFiles/ContentFiles/2024_ОТЧЕТ_АНАЛИТИКА_РЫНКА_БАС_638732265095212074.pdf (дата обращения: 02.06.2025)
543. Беспилотники: новые вызовы транспортной безопасности. – URL: <https://www.secuteck.ru/articles/bespilotniki-novye-vyzovy-transportnoj-bezopasnosti> (дата обращения: 02.06.2025)
544. В России призвали упростить законодательное регулирование использования коммерческих БПЛА — РТ на русском. – URL: <https://russian.rt.com/russia/news/1102728-bpla-uregulirovanie-rossiya> (дата обращения: 02.06.2025)
545. Беспилотник С-76: ОАК готовится к серийному производству // РТ на русском. – URL: <https://cdn.vimeo.tv/embed/?vid=dd72b902330e1a28f91a> (дата обращения: 04.06.2025)
546. Производство комплектующих для дронов в России локализовано только на 40%, а цены в разы выше китайских – CNews // CNews.ru. – URL: https://www.cnews.ru/news/top/2024-11-02_proizvodstvo_komplektuyushchih (дата обращения: 02.06.2025)
547. Производители беспилотников получают особый статус // Центр локализации технологий. 2023.– URL: <https://loc-tech.ru/novosti/proizvoditeli-bespilotnikov-poluchayut-osobyj-status/> (дата обращения: 03.06.2025)
548. Ведущие вузы увеличили набор на программы по беспилотникам — РБК. – URL: <https://www.rbc.ru/society/12/09/2024/66df0cf39a79473bf6a93045> (дата обращения: 04.06.2025)
549. Власти хотят создать в России международный дрон-хаб для доставки грузов в Китай – CNews. – URL: https://www.cnews.ru/news/top/2025-02-26_v_rossii_planiruet_sozdat (дата обращения: 04.06.2025)
550. «Глонасс» планирует включить гибридную связь с дронами в ЭПР – Ведомости. – URL: <https://www.vedomosti.ru/technology/articles/2024/07/18/1050695-glonass-planiruet-vklyuchit-gibridnuyu-svyaz-s-dronami> (дата обращения: 04.06.2025)
551. В России реализована технология управления БПЛА через спутник – CNews // CNews.ru. – URL: https://www.cnews.ru/news/top/2024-07-18_v_rosaviatsii_rasskazali (дата обращения: 04.06.2025)

552. Clouds or clear skies? Prospects for future air mobility. – URL: <https://www.mckinsey.com/industries/aerospace-and-defense/our-insights/future-air-mobility-blog/clouds-or-clear-skies-prospects-for-future-air-mobility> (дата обращения: 03.06.2025)
553. Amazon Prime Air gets FAA approval for extended BVLOS drone deliveries – The Robot Report. – URL: <https://www.therobotreport.com/amazon-prime-air-gets-faa-approval-extended-bvlos-drone-deliveries/> (дата обращения: 03.06.2025)
554. SESAR Joint Undertaking | Uspace4UAM. – URL: <https://www.sesarju.eu/projects/Uspace4UAM> (дата обращения: 03.06.2025)
555. U-ELCOM // SESAR Joint Undertaking. – URL: <https://www.sesarju.eu/projects/U-ELCOM> (дата обращения: 03.06.2025)
556. CORUS-XUAM // SESAR Joint Undertaking. – URL: <https://www.sesarju.eu/projects/CORUSXUAM> (дата обращения: 03.06.2025)
557. Commercial drone deliveries are demonstrating continued momentum in 2023. – URL: <https://www.mckinsey.com/industries/aerospace-and-defense/our-insights/future-air-mobility-blog/commercial-drone-deliveries-are-demonstrating-continued-momentum-in-2023> (дата обращения: 03.06.2025)
558. McNabb M. Zipline Will Reach One Millionth Drone Delivery Milestone Today: Announces New Service Partners in the U.S. // DRONELIFE. 2024.– URL: <https://dronelife.com/2024/04/19/zipline-will-reach-one-millionth-drone-delivery-milestone-today-announces-new-service-partners-in-the-u-s/> (дата обращения: 03.06.2025)
559. Times S. Zipline commissions new distribution centre in Nigeria – 12.02.2025. – URL: <https://www.stattimes.com/drones/zipline-commissions-new-distribution-centre-in-nigeria-1354476> (дата обращения: 03.06.2025)
560. Gain V. Wing to deliver medical supplies to south Dublin hospitals // Silicon Republic. 2024. – URL: <https://www.siliconrepublic.com/machines/wing-drone-delivery-dublin-hospitals-medical-supplies-devices-blackrock-st-vincent> (дата обращения: 02.06.2025)
561. Wing to launch early access air delivery program in Finland in June. – URL: <https://wing.com/news/wing-to-launch-early-access-air> (дата обращения: 03.06.2025)
562. World's first cargo drone airline prepares for take-off // CORDIS | European Commission. – URL: <https://cordis.europa.eu/article/id/457225-world-s-first-cargo-drone-airline-prepares-for-take-off> (дата обращения: 03.06.2025)
563. Solving the “last-meter” challenge in drone delivery. – URL: <https://www.mckinsey.com/industries/aerospace-and-defense/our-insights/future-air-mobility-blog/solving-the-last-meter-challenge-in-drone-delivery> (дата обращения: 03.06.2025)
564. French postal service adds new route for drone deliveries // Revolution.aero. – URL: <https://www.revolution.aero/news/2024/04/03/french-postal-service-adds-new-route-for-drone-deliveries/> (дата обращения: 02.06.2025)
565. DRONES4SAFETY: Autonomous self-charging drones can increase transport safety in Europe – European Commission. – URL: https://cinea.ec.europa.eu/featured-projects/drones4safety-autonomous-self-charging-drones-can-increase-transport-safety-europe_en (дата обращения: 03.06.2025)
566. Unmanned Aerial Vehicle Vertical Applications' Trials Leveraging Advanced 5G Facilities | 5G!Drones | Projekt | Fact Sheet | H2020 | CORDIS | European Commission. – URL: <https://cordis.europa.eu/project/id/857031> (дата обращения: 03.06.2025)

567. PJ01 Wave 2 Enhanced Arrivals and Departures | PJ01-W2 EAD | Projekt | Fact Sheet | H2020 // CORDIS | European Commission. – URL: <https://cordis.europa.eu/project/id/872085> (дата обращения: 03.06.2025)
568. PJ34-W3 AURA “ATM U-SPACE INTERFACE” | PJ34-W3 AURA | Projekt | Fact Sheet | H2020 // CORDIS | European Commission. – URL: <https://cordis.europa.eu/project/id/101017521> (дата обращения: 03.06.2025)
569. Title: Holistic Approach for Providing Spatial & Transport Planning Tools and Evidence to Metropolitan and Regional Authorities to Lead a Sustainable Transition to a New Mobility Era | HARMONY | Projekt | Fact Sheet | H2020 // CORDIS | European Commission. – URL: <https://cordis.europa.eu/project/id/815269> (дата обращения: 03.06.2025)
570. Semi-autonomous border surveillance platform combining next generation unmanned aerial vehicles with ultra-high-resolution multi-sensor surveillance payload | BorderUAS | Projekt | Fact Sheet | H2020 // CORDIS | European Commission. – URL: <https://cordis.europa.eu/project/id/883272> (дата обращения: 03.06.2025)
571. CONCEPT OF OPERATIONS FOR EUROPEAN U-SPACE SERVICES – EXTENSION FOR URBAN AIR MOBILITY | CORUS-XUAM | Projekt | Fact Sheet | H2020 // CORDIS | European Commission. – URL: <https://cordis.europa.eu/project/id/101017682> (дата обращения: 03.06.2025)
572. Creating the 21st century spatial ecosystem | FF2020 | Projekt | Fact Sheet | H2020 // CORDIS | European Commission. – URL: <https://cordis.europa.eu/project/id/101006828> (дата обращения: 03.06.2025)
573. sAfe Urban aiR mObility for euRopeAn citizens. | AURORA | Projekt | Fact Sheet | H2020 // CORDIS | European Commission. – URL: <https://cordis.europa.eu/project/id/101007134> (дата обращения: 03.06.2025)
574. Enabling sustainable AiR MObility in URrban contexts via emergency and medical services | AiR-MOUR | Projekt | Fact Sheet | H2020 // CORDIS | European Commission. – URL: <https://cordis.europa.eu/project/id/101006601> (дата обращения: 03.06.2025)
575. GOF2.0 Integrated Urban Airspace VLD | GOF2.0 | Projekt | Fact Sheet | H2020 // CORDIS | European Commission. – URL: <https://cordis.europa.eu/project/id/101017689> (дата обращения: 03.06.2025)
576. UNMANNED TRAFFIC MANAGEMENT 4D PATH PLANNING TECHNOLOGIES FOR DRONE SWARM TO ENHANCE SAFETY AND SECURITY IN TRANSPORT | LABYRINTH | Projekt | Fact Sheet | H2020 // CORDIS | European Commission. – URL: <https://cordis.europa.eu/project/id/861696> (дата обращения: 03.06.2025)
577. U-space for UAM | Uspace4UAM | Projekt | Fact Sheet | H2020 // CORDIS | European Commission. – URL: <https://cordis.europa.eu/project/id/101017643> (дата обращения: 03.06.2025)
578. ORCHESTRA will Coordinate and synchronise the traffic management of all transport modes. – URL: <https://orchestra2020.eu/> (дата обращения: 03.06.2025)
579. Towards a more automated and optimised maintenance, renewal and upgrade of roads by means of robotised technologies and intelligent decision support tools | H2020 // CORDIS | European Commission. – URL: <https://cordis.europa.eu/project/id/955269/reporting> (дата обращения: 03.06.2025)
580. Risk-aware Automated Port Inspection Drone(s) | RAPID | Projekt | Fact Sheet | H2020 // CORDIS | European Commission. – URL: <https://cordis.europa.eu/project/id/861211> (дата обращения: 03.06.2025)

581. RESilient transport InfraSTructure to extreme events – TRIMIS. – URL: <http://trimis.ec.europa.eu/project/resilient-transport-infrastructure-extreme-events> (дата обращения: 03.06.2025)
582. Air Mobility Urban – Large Experimental Demonstrations | AMU-LED | Projekt | Fact Sheet | H2020 // CORDIS | European Commission. – URL: <https://cordis.europa.eu/project/id/101017702> (дата обращения: 03.06.2025)
583. Tactical Instrumental Deconfliction And in flight Resolution | TINDAiR | Projekt | Fact Sheet | H2020 // CORDIS | European Commission. – URL: <https://cordis.europa.eu/project/id/101017677> (дата обращения: 03.06.2025)
584. 5 services of Drones for increased airports and waterways safety and security. | 5D-AeroSafe | Projekt | Fact Sheet | H2020 // CORDIS | European Commission. – URL: <https://cordis.europa.eu/project/id/861635> (дата обращения: 03.06.2025)
585. Inspection Drones for Ensuring Safety in Transport Infrastructures | Drones4Safety | Projekt | Fact Sheet | H2020 // CORDIS | European Commission. – URL: <https://cordis.europa.eu/project/id/861111> (дата обращения: 03.06.2025)
586. Operational Platform managing a fleet of semi-autonomous drones exploiting GNSS high Accuracy and Authentication to improve Security & Safety in port areas | PASSport | Projekt | Fact Sheet | H2020 // CORDIS | European Commission. – URL: <https://cordis.europa.eu/project/id/101004234> (дата обращения: 03.06.2025)
587. The first European cargo drone airline | Dronamics | Projekt | Fact Sheet | HORIZON // CORDIS | European Commission. – URL: <https://cordis.europa.eu/project/id/190132011> (дата обращения: 03.06.2025)
588. Innovative fuel cell propulsion technology enabling long endurance for small UAVs | UAVEndure II | Projekt | Fact Sheet | H2020 // CORDIS | European Commission. – URL: <https://cordis.europa.eu/project/id/859655> (дата обращения: 03.06.2025)
589. WingtraOne, the leading VTOL (Vertical Take-Off and Landing) drone for mapping and surveying, uniquely combining long range, heavy payloads and ease of use | WingtraOne | Projekt | Fact Sheet | H2020 // CORDIS | European Commission. – URL: <https://cordis.europa.eu/project/id/967019> (дата обращения: 03.06.2025)
590. GPS-free, beyond the visual line of sight navigation for logistics drones in urban environments | AUTOFLY | Projekt | Fact Sheet | HORIZON // CORDIS | European Commission. – URL: <https://cordis.europa.eu/project/id/190185259> (дата обращения: 03.06.2025)
591. RAILWAY DIGITALISATION USING DRONES | RADIUS | Projekt | Fact Sheet | H2020 // CORDIS | European Commission. – URL: <https://cordis.europa.eu/project/id/101004192> (дата обращения: 03.06.2025)
592. SAFE AND FLEXIBLE INTEGRATION OF ADVANCED U-SPACE SERVICES FOCUSING ON MEDICAL AIR MOBILITY | SAFIR-Med | Projekt | Fact Sheet | H2020 // CORDIS | European Commission. – URL: <https://cordis.europa.eu/project/id/101017701> (дата обращения: 03.06.2025)
593. Drones and Egnss for LOw aiRspacE urbAN mobility | DELOREAN | Projekt | Fact Sheet | H2020 // CORDIS | European Commission. – URL: <https://cordis.europa.eu/project/id/870251> (дата обращения: 03.06.2025)
594. System of Systems Integration Technology and Experimentation (SoSITE). – URL: <https://www.darpa.mil/research/programs/system-of-systems-integration-technology-and-experimentation> (дата обращения: 03.06.2025)

595. WINGCOPTER LAST MILE DELIVERY (IEU GT). – URL: <https://www.eib.org/en/projects/pipelines/all/20210773> (дата обращения: 03.06.2025)
596. U-ELCOM / EUROCONTROL Innovation Hub. – URL: <https://www.eurocontrol.int/project/u-elcome> (дата обращения: 03.06.2025)
597. EUropean Key solutions for vertiports and UAM | EUREKA | Projekt | Fact Sheet | HORIZON | CORDIS | European Commission. – URL: <https://cordis.europa.eu/project/id/101114799> (дата обращения: 03.06.2025)
598. u-Space sePAraTIOon management // CORDIS // CORDIS | European Commission. – URL: <https://cordis.europa.eu/project/id/101114674> (дата обращения: 03.06.2025)
599. European Commission. ATM-Uospace Interface and Airspace Reconfiguration Service (ENSURE). – URL: <https://sesar.eu/projects/ensure> (дата обращения: 03.06.2025)
600. SESAR Joint Undertaking | BeNe U-space Reference Design Implementation (BURDI). – URL: <https://www.sesarju.eu/projects/BURDI> (дата обращения: 03.06.2025)
601. European Commission. OperA (Operate Anywhere). – URL: <https://cordis.europa.eu/project/id/101114694> (дата обращения: 03.06.2025)
602. Obtain flight mission readiness, enabling rapid intervention for healthcare and critical infrastructure, leveraging all value chain actors and U-Space services. | SAFIR-Ready | Projekt | Fact Sheet | HORIZON // CORDIS | European Commission. – URL: <https://cordis.europa.eu/project/id/101114855> (дата обращения: 03.06.2025)
603. EALU-AER: Enhanced Automation for U-Space/ATM integration. – URL: <https://www.sesarju.eu/projects/EALU-AER> (дата обращения: 03.06.2025)
604. Innovations and Capacity building in Agricultural Environmental and Rural Uav Services | ICAERUS | Projekt | Fact Sheet | HORIZON | CORDIS | European Commission. – URL: <https://cordis.europa.eu/project/id/101060643> (дата обращения: 03.06.2025)
605. Dlgital comPETitive next Generation Aviation technologies for SUStainable business models, products and services. | Di-PEGASUS | Projekt | Fact Sheet | HORIZON // CORDIS | European Commission. – URL: <https://cordis.europa.eu/project/id/101096000> (дата обращения: 03.06.2025)
606. Reducing Environmental Footprint through transformative Multi-scale Aviation Planning (REF-MAP) // CORDIS | European Commission. – URL: <https://cordis.europa.eu/project/id/101096698> (дата обращения: 03.06.2025)
607. Preparing cities for sustainable Urban Air Mobility – Project CITYAM // Interreg Baltic Sea Region. – URL: <https://interreg-baltic.eu/project/cityam/> (дата обращения: 02.06.2025)
608. Certified E-GNSS Remote Tracking of Drone and Aircraft FLIGHTs | CERTIFLIGHT | Projekt | Fact Sheet | HORIZON // CORDIS | European Commission. – URL: <https://cordis.europa.eu/project/id/101082484> (дата обращения: 03.06.2025)
609. Measuring U-Space Social and Environmental Impact (MUSE) // CORDIS | European Commission. – URL: <https://cordis.europa.eu/project/id/101114858> (дата обращения: 03.06.2025)
610. Impact and capacity Assessment Framework for U-space Societal Acceptance | ImAFUSA | Projekt | Fact Sheet | HORIZON // CORDIS | European Commission. – URL: <https://cordis.europa.eu/project/id/101114776> (дата обращения: 03.06.2025)
611. European Artificial Intelligence and Robotics Testing and Experimentation Facility for Smart and Sustainable Cities and Communities (CitCom.ai). – URL: <https://ec.europa.eu/info/funding-tenders/opportunities/portal/screen/how-to-participate/org-details/999999999/project/101100728/program/43152860/details> (дата обращения: 03.06.2025)

612. By 2030, it is planned to create a prototype of a new hypersonic strike and reconnaissance aircraft DARPA Next RS. – URL: <https://en.topwar.ru/259867-k-2030-godu-planiruetsja-sozdat-prototip-novogo-giperzvukovogo-udarno-razvedyvatelnogo-samoleta-darpa-next-rs.html> (дата обращения: 03.06.2025)
613. Перспективные технологии для БАС | Национальный проект Беспилотные авиационные системы. – URL: <https://xn--80aapampemcchfmo7a3c9ehj.xn--p1ai/new-projects/bespilotnye-aviatsionnye-sistemy/tekhnologii/> (дата обращения: 03.06.2025)
614. Перспективные НИОКР БАС. – URL: <https://nti.fund/support/niokrbas> (дата обращения: 03.06.2025)
615. Технологические конкурсы UP GREAT. – URL: <https://upgreat.one/> (дата обращения: 03.06.2025)
616. Разработка, стандартизация и серийное производство БАС и комплектующих | Национальный проект Беспилотные авиационные системы. – URL: <https://xn--80aapampemcchfmo7a3c9ehj.xn--p1ai/new-projects/bespilotnye-aviatsionnye-sistemy/proizvodstvo/> (дата обращения: 03.06.2025)
617. Меры поддержки резидентов НПЦ. – URL: <https://nti.fund/support/bas> (дата обращения: 03.06.2025)
618. Итоги 2023 года для рынка беспилотной авиации // АЭРОНЕКСТ. – URL: https://aeronext.aero/press_room/analytics/292482 (дата обращения: 03.06.2025)
619. НПЦ в области развития технологий БАС / Аэронет. – URL: <https://xn--2035-43d4a7chrx0j.xn--p1ai/crdm> (дата обращения: 03.06.2025)
620. Пересборка нацпроекта, федеральный закон и амбициозный маршрут для БВС: итоги форума АЭРОНЕКСТ 2024. // АЭРОНЕКСТ. – URL: https://aeronext.aero/press_room/news/092659 (дата обращения: 03.06.2025)
621. Волошин В.А. ЭПР как драйвер развития отрасли беспилотной авиации / Материалы форума АЭРОНЕКСТ 2024. – URL: aeronext.aero/UserFiles/ContentFiles/Волошин%20В.А._ЭПР_638693338318845896.pdf (дата обращения: 03.06.2025)
622. «Цифровое небо» будет создано в России для безопасного применения гражданских авиабеспилотников. – URL: <https://mintrans.gov.ru/press-center/branch-news/3322> (дата обращения: 03.06.2025)
623. Цифровое небо России: где начинается и где заканчивается // Росконгресс. – URL: <https://roscongress.org/materials/tsifrovoe-nebo-rossii-gde-nachinaetsya-i-gde-zakanchivaetsya/> (дата обращения: 03.06.2025)
624. Исследование возможности создания типоряда БАС на основе унифицированных комплектующих российского изготовления: аналитический отчет / Ассоциация «АЭРОНЕКСТ». – URL: aeronext.aero/UserFiles/ContentFiles/2023-6-23_15-37-17_Отчет_АНАЛИТИКА_Типоряд_БАС__18.pdf (дата обращения: 03.06.2025)
625. Технологический конкурс UP GREAT. – URL: <https://rescue.upgreat.one/> (дата обращения: 03.06.2025)
626. НТИ Up Great «Аэрологистика» / Технологические конкурсы Up Great. – URL: <https://aero.upgreat.one/> (дата обращения: 03.06.2025)
627. Бабинцев Г.В., Технологический конкурс «Аэрологистика»: достижения и выводы: презентация проекта / Материалы форума АЭРОНЕКСТ 2024. – URL:

- aeronext.aero/UserFiles/ContentFiles/Бабинцев%20Г.В._Аэрологи-стика%202.0_638693342704871507.pdf (дата обращения: 03.06.2025)
628. Новый резидент ОЭЗ «Технополис Москва» запустил производство литийионных батарей. – URL: http://www.ruscable.ru/news/2024/10/17/Novyj_rezident_OEZ_Tehnopolis_Moskva_zapustil_pr/ (дата обращения: 03.06.2025)
 629. БПЛА серии «Одуванчик» дошли до производства // Военное обозрение – 3.10.2024. – URL: <https://topwar.ru/251246-bpla-serii-oduvanchik-doshli-do-proizvodstva.html> (дата обращения: 03.06.2025)
 630. Собрать «Одуванчики»: в серию запустили БПЛА для охраны стратегических объектов // Известия – 1.10.2024. – URL: <https://iz.ru/1767149/iuliia-leonova-bogdan-stepovoi/sobrat-oduvanchiki-v-seriiu-zapustili-bpla-dlia-okhrany-strategicheskikh-obektov> (дата обращения: 03.06.2025)
 631. Холдинг Т1 организовал производство агродронов для сельского хозяйства | Пресс-центр Холдинга Т1. – URL: <https://t1.ru/news/item/kholding-t1-organizoval-proizvodstvo-agrodronov-dlya-selskogo-khozyaystva/> (дата обращения: 03.06.2025)
 632. Автономный поиск / Технологические конкурсы Up Great. – URL: <https://vision.upgreat.one/> (дата обращения: 03.06.2025)
 633. Отрасли применения: авиастроение, | ЮМАТЕКС. – URL: <https://umatex.com/applications/aircraft/> (дата обращения: 26.05.2025)
 634. Семейство БПЛА «Снегирь» | Центр НТИ СПбПУ «Новые производственные технологии». – URL: https://nticenter.spbstu.ru/nti_projects/151 (дата обращения: 30.05.2025)
 635. Программный комплекс Digimat. – URL: <https://compositeworld.ru/articles/tech/id60213ba46f331564116760bf> (дата обращения: 27.05.2025)
 636. Voyiadjis G., Kattan P., Voyiadjis G., Kattan P. Advances in Damage Mechanics: Metals and Metal Matrix Composites // Advances in Damage Mechanics: Metals and Metal Matrix Composites: edit. G. Z. Voyiadjis, P. I. Kattan. – Oxford: Elsevier, 1999. – ISBN 978-0-08-043601-2.
 637. Pandey V., Kuthe N., Mahajan P., Mishnaevsky L. Continuum damage mechanics based computational framework for prediction of the lifetime and degradation of wind turbine coatings with defects // Engineering Failure Analysis. – 1.12.2023. – Vol. 154. – Article 107641. – ISSN 1350-6307. – DOI 10.1016/j.engfailanal.2023.107641.
 638. Digital twins of composite materials / D. Ozhgibesova, A. Borovkov, V. Shtegman, D. Zainullina, S. Asanidze, M. Shulga // XIII International Conference NAVY AND SHIPBUILDING NOWADAYS NSN'2024 PROCEEDINGS Conference theme Construction materials. Strength and structural mechanics : – Saint-Petersburg : IKP «NP-PRINT», 2024.
 639. Димитриенко Ю. И., Соколов А. П. Многомасштабное моделирование упругих композиционных материалов // Математическое моделирование – 2012. – Т. 24. – №. 5. – С. 3–20.
 640. Грищенко А.И., Игнатович И.А., Петросян О.Л. Оптимизация микроструктуры композиционных материалов с учетом ограничений на их свойства // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Физико-математические науки. – 2023. – Т. 16. – №. 3. – С. 73–86. DOI 10.18721/JPM.16307.
 641. Белов Д.А. Гомогенизация и гетерогенизация однонаправленных упругих волокнистых композитов [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 01.02.06 / Д.А. Белов. – СПб: СПбПУ, 2009. – 18 с.

642. Соколов А.П., Першин А.Ю., Козов А.В., Кириллов Н.Д. Гомогенизация многоуровневых многокомпонентных гетерогенных структур для определения физико-механических характеристик композиционных материалов // *Физическая мезомеханика*. – 2018. – Т. 21. – №. 5. – С. 90–107.
643. Shahapure N., Shinde D., Kelkar A. Atomistic modeling and molecular dynamic simulation of polymer nanocomposites for thermal and mechanical property characterization: A review // *AIMS Materials Science*. – 2023. – Vol. 10. – Issue 2. – P. 249–287. – ISSN 2372-0484. – DOI 10.3934/matensci.2023014.
644. LLorca J., González C., Molina-Aldareguía J., López C. Multiscale Modeling of Composites: Toward Virtual Testing ... and Beyond // *JOM*. – Vol. 65. – Issue 2. – P. 215–225. – ISSN 1047-4838, 1543-1851. – DOI 10.1007/s11837-012-0509-8.
645. Oñate E., Owen R. Computational Plasticity. Computational Methods in Applied Sciences. – Dordrecht: Springer Netherlands, 2007. – 7. – 268 p. – ISBN 978-1-4020-6576-7.
646. A Multiscale Modelling Approach for Estimating the Effect of Defects in Unidirectional Carbon Fiber Reinforced Polymer Composites / K. Antin, A. Laukkanen, T. Andersson, D. Smyl, P. Vilaça // *Materials*. – 12.06.2019. – Vol. 12. – Issue 12. – Article 1885. – ISSN 1996-1944. – DOI 10.3390/ma12121885.
647. Гриневич Д. В., Яковлев Н. О., Славин А. В. Критерии разрушения полимерных композиционных материалов (обзор) // *Труды ВИАМ*. – 2019. – Вып. 7 (79). – С. 92–111. – ISSN 2307-6046.
648. Stowell E., Liu T. On the mechanical behaviour of fibre-reinforced crystalline materials // *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*. – Vol. 9. – Issue 4. – P. 242–260. – ISSN 00225096. – DOI 10.1016/0022-5096(61)90003-5.
649. Kelly A., Davies G. THE PRINCIPLES OF THE FIBRE REINFORCEMENT OF METALS // *Metallurgical Reviews*. – Vol. 10. – Issue 1. – P. 1–77. – ISSN 0076-6690. – DOI 10.1179/mtlr.1965.10.1.1.
650. Abrate S. Criteria for Yielding or Failure of Cellular Materials // *Journal of Sandwich Structures & Materials*. – Vol. 10. – Issue 1. – P. 5–51. – ISSN 1099-6362, 1530-7972. – DOI 10.1177/1099636207070997.
651. Azzi V., Tsai S. Anisotropic strength of composites: Investigation aimed at developing a theory applicable to laminated as well as unidirectional composites, employing simple material properties derived from unidirectional specimens alone // *Experimental Mechanics*. – Vol. 5. – Issue 9. – P. 283–288. – ISSN 0014-4851, 1741-2765. – DOI 10.1007/BF02326292.
652. Yamada S., Sun C. Analysis of Laminate Strength and Its Distribution // *Journal of Composite Materials*. – Vol. 12. – Issue 3. – P. 275–284. – ISSN 0021-9983, 1530-793X. – DOI 10.1177/002199837801200305.
653. Tsai S., Wu E. A General Theory of Strength for Anisotropic Materials // *Journal of Composite Materials*. – Vol. 5. – Issue 1. – P. 58–80. – ISSN 0021-9983, 1530-793X. – DOI 10.1177/002199837100500106.
654. Hoffman O. The Brittle Strength of Orthotropic Materials // *Journal of Composite Materials*. – Vol. 1. – Issue 2. – P. 200–206. – ISSN 0021-9983, 1530-793X. – DOI 10.1177/002199836700100210.
655. Cowin S. Fabric dependence of an anisotropic strength criterion // *Mechanics of Materials*. – Vol. 5. – Issue 3. – P. 251–260. – ISSN 01676636. – DOI 10.1016/0167-6636(86)90022-0.
656. Mascia N., Simoni R. Analysis of failure criteria applied to wood // *Engineering Failure Analysis*. –

- Vol. 35. – P. 703–712. – ISSN 13506307. – DOI 10.1016/j.engfailanal.2013.07.001.
657. Spencer B., Hull D. Effect of winding angle on the failure of filament wound pipe // *Composites*. – Vol. 9. – Issue 4. – P. 263–271. – ISSN 00104361. – DOI 10.1016/0010-4361(78)90180-5.
 658. Hashin Z., Rotem A. A Fatigue Failure Criterion for Fiber Reinforced Materials // *Journal of Composite Materials*. – Vol. 7. – Issue 4. – P. 448–464. – ISSN 0021-9983, 1530-793X. – DOI 10.1177/002199837300700404.
 659. Puck A., Schürmann H. Failure analysis of FRP laminates by means of physically based phenomenological models // *Composites Science and Technology*. – Vol. 62. – Issue 12–13. – P. 1633–1662. – ISSN 02663538. – DOI 10.1016/S0266-3538(01)00208-1.
 660. Martin K. *Analysis of Failure in Fiber Polymer Laminates: The Theory of Alfred Puck*. – Berlin: Springer Berlin Heidelberg. – 2008. – 205 p. – ISBN 978-3-540-75764-1.
 661. Puck A. Festigkeitsberechnung an Glasfaser/Kunststoff-Laminaten bei zusammengesetzter Beanspruchung // *Kunststoffe*. 1969. Vol. 59. No. 11. P. 780–787. – URL: https://alfredpuck.de/download/Puck-Deuschle_Progress_in_the_Puck_Failure_Theory_for_Fibre_Reinforced_Composites-Analytical_solutions_for_3D-stress.pdf (дата обращения: 04.06.2025)
 662. ГОСТ 33495-2015 | НАЦИОНАЛЬНЫЕ СТАНДАРТЫ. – URL: <https://protect.gost.ru/document1.aspx?control=31&baseC=6&page=4&month=2&year=2016&search=&id=202127> (дата обращения: 29.05.2025)
 663. Вильдеман В. Э., Соколкин Ю. В., Ташкинов А. А. *Механика неупругого деформирования и разрушения композиционных материалов*. – М.: Наука, 1997. – 288 с. – ISBN 978-5-02-015078-2.
 664. Azerbaijan Technical University, Hasanov S.H. MODELING OF CRACKS NUCLEATION IN FIBER COMPOSITE UNDER BENDING // *Struct. Mech. Eng. Const. Build*. 2018. Vol. 14, № 3. P. 248–257.
 665. Елизаров, С. В. *Композиционные материалы, их механико-структурный анализ и некоторые новые области применения: доктор технических наук* // Санкт-Петербург. – 2000. – С. 313.
 666. Влияние основных типов дефектов в монолитных образцах из ПКМ, выявляемых с использованием ультразвукового контроля, на прочностные характеристики материала / М. В. Григорьев [и др.] // *Сварка и диагностика*. – 2015. – № 6. – С. 11–14.
 667. Комплексное исследование дефектов в композиционных материалах с применением хрупких тензопокрывтий и акустической эмиссии / Ю. Г. Матвиенко [и др.] // *Заводская лаборатория. Диагностика материалов*. – 2014. – 80, № 1. – С. 46–50.
 668. Мурашов, В. В. Контроль изделий из ПКМ и многослойных клееных конструкций ультразвуковыми методами отражения / В. В. Мурашов, А. С. Генералов // *Авиационные материалы и технологии*. – – 2017. – 46, № 1. С. 69–74.
 669. Аннин Б. Д., Каламкаргов А. Л., Колпаков А. Г., Партон В. З.. *Расчет и проектирование композиционных материалов и элементов конструкций*; ред. Отв. ред. Ю. С. Уржумцев, None None. – РАН. Сиб. отд-ние. Ин-т гидродинамики им. М. А. Лаврентьева. – Новосибирск : Наука, 1993. – 256 с. – ISBN 978-5-02-029918-4.
 670. Димитриенко Ю. И., Соколов А. П. Многмасштабное моделирование упругих композиционных материалов // *Математическое моделирование*. – 2012. – Т. 24. – №. 5. – С. 3–20.
 671. Димитриенко Ю. И. *Механика сплошной среды: учеб. пособие в 4 т. Т. 2 : Универсальные законы механики и электродинамики сплошных сред*. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана,

2011. – 559с.
672. Численное моделирование и экспериментальное исследование деформирования упругопластических пластин при смятии / Дмитриенко Ю. И, Губарева Е. А, Сборщиков С. В, Ерасов В.С, Яковлев Н.О // Математическое моделирование и численные методы. – 2015. – Вып. 1 (5). – С. 67–82. – ISSN 2309–3684.
 673. Davila C., Jaunky N., Goswami S. Failure Criteria for FRP Laminates in Plane Stress // 44th AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics, and Materials Conference / Norfolk, Virginia : American Institute of Aeronautics and Astronautics, 7.04.2003. – ISBN 978–1–62410–100–7. – ISBN 10.2514/6.2003–1991.
 674. Pinho S.T. et al. Failure Models and Criteria for FRP Under In-Plane or Three-Dimensional Stress States Including Shear Non-Linearity – NASA/TM–2005–213530. 2005.
 675. De Borst R. Numerical aspects of cohesive-zone models // Engineering Fracture Mechanics. – Vol. 70. – Issue 14. – P. 1743–1757. – ISSN 00137944. – DOI 10.1016/S0013-7944(03)00122-X.
 676. LS-DYNA. KEYWORD USER'S MANUAL. VOL 2. MATERIAL MODELS.R:14079. – URL: www.dynasupport.com/manuals/ls-dynamaterials/ls-dyna-manual-r-7.0-vol-ii (дата обращения: 02.06.2025)
 677. Yang Q., Cox B. Cohesive models for damage evolution in laminated composites //International Journal of Fracture. – 2005. – Vol. 133 (2). – P. 107–137. DOI: 10.1007/s10704-005-4729-6.
 678. Furrer D., Dimiduk D., Ward C. Evolution of Model-Based Materials Definitions // Integrating Materials and Manufacturing Innovation. – 2024. – Issue 13. – P. 474–487.
 679. Jurczyk T. Complex Modelling Platform based on Digital Material Representation // Complex Systems Concurrent Engineering. – 2007. – P. 1–8.
 680. Боровков А., Бураков В., Мартынец Е., Рябов Ю., Щербина Л. Цифровая платформа по разработке и применению цифровых двойников (Digital Twins) CML-Bench® (часть 1) // САПР и графика. – 2023. – № 8. – С. 42–51.
 681. Компания Кронштадт | Беспилотные летательные аппараты. – URL: <https://kronshtadt.ru/> (дата обращения: 27.06.2025)
 682. Группа компаний «Калашников» // Группа компаний «Калашников». – URL: <https://kalashnikovgroup.ru/> (дата обращения: 27.06.2025)
 683. Объединенная авиастроительная корпорация (ОАК). – URL: <https://www.uacrussia.ru/ru/> (дата обращения: 27.06.2025)
 684. ОАК раскрыла детали развития «гражданского беспилотья» — РБК. – URL: <https://www.rbc.ru/business/19/06/2025/685307149a79477cbaa84427> (дата обращения: 27.06.2025)
 685. Кузнецов, И.С. Народный ОПК как особая форма хозяйствования / И.С. Кузнецов // Вестник Томского государственного университета. Экономика. – № 68. – 2024. – С. 321–336. – DOI 10.17223/19988648/68/17.
 686. Более 70% производителей беспилотников в России относятся к малому и среднему бизнесу – CNews // CNews.ru. – URL: https://www.cnews.ru/news/line/2025-03-26_bolee_70_proizvoditelej_bespilotnikov (дата обращения: 27.06.2025)
 687. AeroVironment to Acquire BlueHalo Establishing Next-Generation Defense Technology Company | BlueHalo. – URL: <https://bluehalo.com/aerovironment-to-acquire-bluehalo/> (дата обращения: 27.06.2025)
 688. AeroVironment and BlueHalo Complete Transaction — Creating A Global Defense Technology. –

- URL: <https://www.avinc.com/resources/press-releases/view/aerovironment-and-bluehalo-complete-transaction-creating-a-global-defense-technology> (дата обращения: 27.06.2025)
689. Ondas completes \$15.2m acquisition of Israeli drone company Airobotics. – URL: <https://www.rcr-wireless.com/20230124/internet-of-things/ondas-completes-15-2m-acquisition-of-israeli-drone-company-airobotics> (дата обращения: 27.06.2025)
690. Swiss ImmersionRC and Croatia's Orqa Merge to Create EU-Based drone Powerhouse – Orqa. – URL: <https://orqafpv.com/news-details/swiss-immersionrc-and-croatias-orqa-merge-to-create-eu-based-drone-powerhouse> (дата обращения: 27.06.2025)
691. Track Every Phase of your Project with DroneDeploy and Avvir. – URL: <https://www.dronedeploy.com/blog/avvir-dronedeploy-integration> (дата обращения: 27.06.2025)
692. Итоги 2023 года для рынка беспилотной авиации // АЭРОНЕКСТ. – URL: https://aeronext.aero/press_room/analytics/292482 (дата обращения: 27.06.2025)
693. В Самаре создадут единую экосистему безопасности для беспилотников РФ // Коммерсантъ – 12.12.2023. – URL: <https://www.kommersant.ru/doc/6395646> (дата обращения: 27.06.2025)
694. «Калашников» и «Ушкуйник» создают совместное предприятие в Великом Новгороде. – URL: https://kalashnikovgroup.ru/news/kalashnikov-_i_-ushkuynik-_sozdayut_sovmestnoe_predpriyatie_v_velikom_novgorode (дата обращения: 27.06.2025)
695. AeroVironment 2025 Summer Internship – Electrical Engineering // Triple V. – URL: <https://www.triple3v.org/resource-database/aerovironment-2025-summer-internship-electrical-engineering> (дата обращения: 27.06.2025)
696. AeroVironment: 2025 Summer Internship – Machine Learning Engineer | WayUp. – URL: <https://www.wayup.com/i-Airlines-Aviation-j-2025-Summer-Internship-Machine-Learning-Engineer-AeroVironment-233536681111835/> (дата обращения: 27.06.2025)
697. Internships at AV. – URL: <https://www.avinc.com/careers/internships> (дата обращения: 27.06.2025)
698. DroneTalks: Global hub for drone industry education – 31.08.2020. – URL: <https://dronetalks.online/about-dronetalks/> (дата обращения: 27.06.2025)
699. Openedu.ru. – URL: <https://openedu.ru/course/spbstu/POLYCMAT/> (дата обращения: 27.06.2025)
700. Дронофлот // Telegram. – URL: <https://t.me/dronostroenie/1203> (дата обращения: 27.06.2025)
701. Bloodworth D. Skapa by Saab Lands in Point Loma // San Diego Business Journal – 17.05.2024. – URL: <https://www.sdbj.com/defense/skapa-by-saab-lands-in-point-loma/> (дата обращения: 27.06.2025)
702. АЭРОЛОГИСТИКА – Технологический конкурс UP GREAT. – URL: <https://aero.upgreat.one/> (дата обращения: 27.06.2025)
703. Экстренный поиск – Технологический конкурс UP GREAT. – URL: <https://rescue.upgreat.one/> (дата обращения: 27.06.2025)
704. Автономный поиск – Технологический конкурс UP GREAT. – URL: <https://vision.upgreat.one/> (дата обращения: 27.06.2025)
705. Технологический конкурс // UP GREAT. URL: <https://rescue.upgreat.one/> – URL: (дата обращения: 02.06.2025)
706. Приложение – «Международная платформа развития навыков и профессий». – URL: <https://fci.eabr.org/projects/international-skills-development-platform-and-professions/> (дата

обращения: 27.06.2025)

707. Международная платформа развития навыков и профессий. – URL: <https://inpdp.org/en/> (дата обращения: 02.06.2025)
708. Дронопорт ЭПИ. – URL: <https://droneports.ru> (дата обращения: 27.06.2025)
709. ООО «Русдропоорт» // sezinopolis. – URL: <https://sezinnopolis.ru/residents/ooo-rusdronoport/> (дата обращения: 27.06.2025)
710. Официальный сайт НИЯУ МИФИ. – URL: <https://mephi.ru/> (дата обращения: 27.06.2025)
711. About. – URL: <http://skyris.pro/about> (дата обращения: 27.06.2025)
712. VR Concept. – URL: <https://vrconcept.net> (дата обращения: 27.06.2025)
713. DRONESHUB | эффективные беспилотные технологии. – URL: <https://robot-control.ru/tpost/y7uos4o9u1-ooo-dronshab> (дата обращения: 02.06.2025)
714. ООО «Дронсхаб». – URL: <https://robot-control.ru/tpost/y7uos4o9u1-ooo-dronshab> (дата обращения: 27.06.2025)
715. В Москве открыли Центр коллективного пользования Федерального центра беспилотных авиационных систем — Собянин // Сайт Москвы – 23.11.2023. – URL: <https://www.mos.ru/mayor/themes/10391050/> (дата обращения: 27.06.2025)

ИЗДАНИЯ ЭКОСИСТЕМЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ СПБЛУ



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.



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



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



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





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



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



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



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





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



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



Перспективы и сценарии развития новых материалов в рамках направления «Технет» НТИ в 2023 году. Экспертно-аналитический доклад: монография / А.И. Боровков, Л.А. Щербина, Е.Р. Мартынец, Ю.А. Рябов, К.В. Кукушкин, Н.И. Прытков, А.М. Трапезникова, О.В. Толочко, И.А. 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 (САМ-систем). Экспертно-аналитический доклад (по состоянию на март 2024 года): монография / А.И. Боровков, О.И. Рождественский, Е.И. Павлова [и др.] – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2024. – 188 с.



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



Направления и формы сотрудничества отечественных разработчиков промышленного 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.

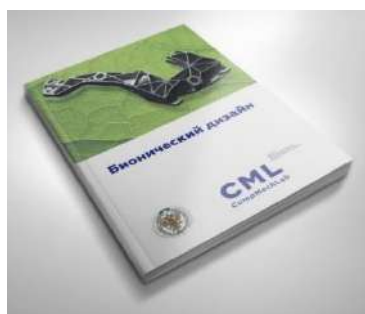


Передовые производственные технологии: возможности для России. Экспертно-аналитический доклад: монография / А.И. Боровков, К.В. Кукушкин, А.А. Корчевская, А.Т. Хуторцова, Л.А. Щербина, Ю.А. Рябов, С.В. Салкуцан, Е.О. Касяненко, И.С. Метревели, К.О. Вишневский, Ю.В. Туровец, М.С. Липецкая, Д.В. Санатов, 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 ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ КОМПОЗИТНЫХ И ГИБРИДНЫХ КОНСТРУКЦИЙ БВС

ЭКСПЕРТНО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ДОКЛАД