ПОЛИТЕХ

ЦИФРОВОЙ ИНЖИНИРИНГ ПИШ СПбПУ

НЦМУ ПЕРЕДОВЫЕ ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

ПОЛИТЕХ

CML CompMechLab



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

Монография

ПОЛИТЕХ-ПРЕСС
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

Санкт-Петербург
2026

УДК 629.7.01:629.7.05-52:004.94:620.22
ББК 39.52-02:30.366:30.121
О-14

Рецензенты:
Заслуженный работник высшей школы Российской Федерации, доктор технических наук, профессор, профессор Высшей школы прикладной математики и вычислительной физики, профессор Высшей школы передовых цифровых технологий
Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого
Ю. Я. Болдырев
Директор Департамента цифровых технологий
Министерства промышленности и торговли Российской Федерации
В. С. Дождёв
Начальник отдела государственного оборонного заказа
и военно-технического сотрудничества Управления беспилотных систем и робототехники
Министерства промышленности и торговли Российской Федерации
Н. И. Ибрагимов
Заместитель генерального директора Федерального центра беспилотных авиационных систем
Д. С. Иванов

Авторы:
А. И. Боровков, И. И. Поняева, Е. П. Чхеидзе, А. А. Старостенко, П. С. Распопина, А. С. Голякевич, С. А. Чварков, М. Ю. Корчков, Н. М. Луковникова, И. Б. Андреев, А. О. Ольховик, П. А. Джелали

Обзор цифровых технологий обеспечения эксплуатации композитных и гибридных конструкций БВС. Экспертно-аналитический доклад : монография / А. И. Боровков [и др.] ; под ред. А. И. Боровкова. – СПб. : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2026. – 304 с.

В отчете представлены результаты аналитического исследования рынка цифровых технологий обеспечения безопасной эксплуатации композитных и гибридных конструкций БВС по состоянию на конец 2025 и начало 2026 года. Рассмотрены текущее состояние рынка, ключевые отраслевые события в России и за рубежом, а также основные рыночные и технологические тенденции, включая расширение применения технологий искусственного интеллекта, повышение автономности беспилотных систем, операционной эффективности, развитие функций мониторинга и совершенствование обработки данных. Проанализированы барьеры и возможности развития отрасли в мире, а также особенности российского сегмента БВС в условиях системной государственной поддержки, реализации национального проекта «Беспилотные авиационные системы» и Стратегии развития беспилотной авиации Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2035 года, а также задач обеспечения технологического суверенитета и лидерства страны, локализации производства критических компонентов, развития испытательной инфраструктуры и подготовки высококвалифицированных специалистов. Рассмотрены вопросы применения композитных и гибридных конструкций БВС, а также роли композиционных материалов в обеспечении требуемых технических и эксплуатационных характеристик, включая снижение массогабаритных параметров и радиолокационной заметности, повышение маневренности и дальности полета БВС. Описаны цифровые решения, обеспечивающие проектирование и моделирование БВС. Проведен анализ подходов к численному моделированию динамических процессов ударного воздействия на композитные конструкции БВС и к оценке их несущей способности с учетом ударных повреждений. В качестве перспективных направлений развития отмечены гибридные численные методы, а также внедрение технологий машинного обучения и цифровых двойников.

Полученные в ходе подготовки экспертно-аналитического доклада результаты подкреплены данными отраслевых аналитических материалов, практического опыта инжиниринговых и производственных организаций отрасли БАС, а также результатами опроса экспертов и участников рынка Национальной технологической инициативы (НТИ) и отрасли БАС, проведенного Инфраструктурным центром «Технет» СПбПУ при поддержке АНО «Платформа НТИ» с 11 марта по 6 мая 2026 года.

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

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

© Боровков А. И., научное редактирование, 2026
© Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2026

ISBN 978-5-7422-9533-4

ОГЛАВЛЕНИЕ

СПИСОК РИСУНКОВ 5

СПИСОК ТАБЛИЦ 10

СОКРАЩЕНИЯ И ОБОЗНАЧЕНИЯ 12

ВВЕДЕНИЕ 14

ГЛАВА 1. ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ КОМПОЗИТНЫХ И ГИБРИДНЫХ КОНСТРУКЦИЙ БВС 19

1.1. Специфика применения композитных и гибридных конструкций БВС 19

1.1.1. Ключевые направления применения композиционных и гибридных материалов в конструкциях БВС 21

1.1.2. Перспективы развития композиционных материалов и применения цифровых технологий в сфере БВС 29

1.1.3. Перспективные направления в сфере композиционных материалов для БВС 30

1.1.4. Практика применения композиционных и гибридных материалов в БВС и их компонентах зарубежного производства 45

1.1.5. Практика применения композиционных и гибридных материалов в БВС их компонентах российского производства 55

1.2. Текущее состояние рынка и ключевые события отрасли в мире 60

1.2.1. Структура и динамика развития мирового рынка БВС по состоянию на конец 2025 – начало 2026 года 60

1.2.2. Лидеры мирового рынка и ключевые предлагаемые решения 81

1.2.3. Ключевые события отрасли (кейсы), включая крупные проекты и достижения, в мире 94

1.3. Текущее состояние рынка и ключевые события отрасли в России 98

1.3.1. Структура и динамика развития российского рынка по состоянию на конец 2025 – начало 2026 года 98

1.3.2. Лидеры российского рынка и ключевые предлагаемые решения 107

1.3.3. Ключевые события отрасли (кейсы), включая крупные проекты и достижения, в России в 2025 году 132

ГЛАВА 2. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ КОМПОЗИТНЫХ И ГИБРИДНЫХ КОНСТРУКЦИЙ БВС 143

2.1. Основные тенденции развития отрасли по состоянию на конец 2025 года 143

2.1.1. Общемировые технологические тенденции 143

2.1.2. Тенденции развития отрасли в мире 145

2.1.2. Российская специфика адаптации к мировым тенденциям 158

2.2. Наиболее значимые барьеры, препятствующие развитию отрасли, и ключевые возможности для роста отрасли по состоянию на конец 2025 года 165

2.2.1. Ключевые барьеры и возможности развития отрасли в мире 165

2.2.2. Ключевые барьеры и возможности развития отрасли в России 176

ГЛАВА 3. АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К ЧИСЛЕННОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ УДАРНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА КОМПОЗИТНЫЕ КОНСТРУКЦИИ БВС И ОЦЕНКЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ С УЧЕТОМ УДАРНОГО ПОВРЕЖДЕНИЯ 189

ЗАКЛЮЧЕНИЕ 223

ПРИЛОЖЕНИЕ 1. ПЕРЕЧЕНЬ КЛЮЧЕВЫХ ИГРОКОВ РОССИЙСКОГО РЫНКА 226

ПРИЛОЖЕНИЕ 2. ПЕРЕЧЕНЬ КОМПАНИЙ, ПРОШЕДШИХ ОПРОС 247

ГЛОССАРИЙ 249

БИБЛИОГРАФИЯ 255

ИЗДАНИЯ ЭКОСИСТЕМЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ СПБПУ 294

ОБ ИНФРАСТРУКТУРНОМ ЦЕНТРЕ НТИ ПО НАПРАВЛЕНИЮ «ТЕХНЕТ» СПБПУ 303

СПИСОК РИСУНКОВ

Рисунок 1. Структура респондентов по категориям организаций, % 15

Рисунок 2. Структура ответов об основных направлениях деятельности компаний-респондентов в сфере БАС, % 16

Рисунок 3. Структура ответов о ключевых сегментах деятельности компаний-респондентов в сфере БАС, % 16

Рисунок 4. Структура ответов об уровне готовности ключевых решений компаний-респондентов, % 17

Рисунок 5. Структура ответов о географии деятельности компаний-респондентов в сфере БАС, % 17

Рисунок 6. Структура ответов о распределении респондентов в региональном разрезе, % 18

Рисунок 7. Развитие композиционных материалов и их использование в промышленности 20

Рисунок 8. Основные сегменты рынка композиционных материалов для БВС, % 27

Рисунок 9. Зависимость характеристик элементов конструкций БВС от свойств используемых композиционных материалов 28

Рисунок 10. Структура ответов о технологических и системных направлениях, которые будут определяющими для развития отрасли БАС до 2030 года, % 30

Рисунок 11. Проектирование и концептуализация облегченной решетчатой рамы БВС квадрокоптерного типа 33

Рисунок 12. Трудозатраты и стоимость внесения изменений на отдельных этапах жизненного цикла изделия 41

Рисунок 13. Методология проектирования БВС с использованием нейронных сетей 43

Рисунок 14. Использование компаниями методов моделирования в зависимости от уровня технологической зрелости, % компаний 43

Рисунок 15. Структура ответов о применении цифровых двойников изделий (по ГОСТ Р 57700.37-2021) в жизненном цикле БАС и их компонентов, % 44

Рисунок 16. Структура ответов об используемых материалах при разработке и производстве БВС и их компонентов, % 56

Рисунок 17. Структура ответов о доле композиционных материалов в общей конструкции БВС, % 57

Рисунок 18. Структура ответов о конструкционных решениях, применяемых в элементах БВС, % 57

Рисунок 19. Структура ответов об уровне применения аддитивных технологий при разработке и производстве БВС и их компонентов, % 58

Рисунок 20. Объем мирового рынка БВС в 2024–2030 гг., млрд долл.; CAGR в 2025–2030 гг., % (Droneii) 62

Рисунок 21. Структура ответов о текущем состоянии мирового рынка БАС, % 62

Рисунок 22. Экспертная оценка фактической и прогнозной динамики рынка БВС в течение следующих 12 месяцев в 2020–2025 годах; баллы, где 0 – существенное снижение рынка, 10 – значительный рост продаж 63

Рисунок 23. Объем инвестиций в коммерческий сегмент мирового рынка БВС в 2020–2025 гг., млрд долл.; CAGR в 2021–2024 гг., % 63

Рисунок 24. Инвестиционные приоритеты представителей мирового рынка БВС в 2023–2025 гг. на перспективу следующих 12 месяцев, доля респондентов, отметивших направление в качестве приоритетного, % 64

Рисунок 25. Инвестиционные приоритеты представителей мирового рынка БВС в 2025 г. на перспективу следующих 12 месяцев по отдельным сегментам, доля респондентов (представителей сегмента), отметивших направление в качестве приоритетного, % 65

Рисунок 26. Экспертная оценка фактической и прогнозной динамики сегментов рынка БВС в течение следующих 12 месяцев по состоянию на 2024 год; баллы, где 0 – существенное снижение рынка, 10 – значительный рост продаж 66

Рисунок 27. Экспертная оценка прогнозной динамики сегментов рынка БВС в течение следующих 12 месяцев по состоянию на 2025 год; баллы, где 0 – существенное снижение рынка, 10 – значительный рост продаж 67

Рисунок 28. Объем мирового рынка БВС в 2024–2030 гг., млрд долл.; CAGR в 2025–2030 гг., % (Grand View Research) 67

Рисунок 29. Объем мирового рынка БВС в 2024–2030 гг., млрд долл.; CAGR в 2025–2030 гг., % (мета-анализ АНО «ФЦ БАС») 68

Рисунок 30. Структура мирового рынка БВС в 2024–2025 гг. по назначению, % 68

Рисунок 31. Структура мирового рынка БВС в 2024–2030 гг. по назначению, млрд долл. 69

Рисунок 32. Структура инвестиций в коммерческий сегмент мирового рынка БВС в 2024–2025 гг. по назначению, % 70

Рисунок 33. Структура инвестиций в коммерческий сегмент мирового рынка БВС в 2024–2025 гг. по назначению, млрд долл. 70

Рисунок 34. Ключевые сегменты мирового рынка коммерческих БВС в 2025 году, % 71

Рисунок 35. Усредненная структура мирового рынка БВС по компонентам и назначению, % 71

Рисунок 36. Структура коммерческого сектора мирового рынка БВС в 2024–2030 гг. по отраслям, % 72

Рисунок 37. Структура коммерческого сектора мирового рынка БВС в 2024–2025 гг. по отраслям, млрд долл. 72

Рисунок 38. Структура коммерческого сектора мирового рынка БВС в 2025–2030 гг. по отраслям, млрд долл. 73

Рисунок 39. Ключевые направления применения БВС в мире в 2023–2025 гг., доля респондентов, отметивших направление в качестве ключевого, % 74

Рисунок 40. Структура мирового рынка БВС в 2020–2025 гг. по типам конструкции, % 75

Рисунок 41. Объем рынка БВС США в 2024–2030 гг., млрд долл.; CAGR в 2025–2030 гг., %.... 76

Рисунок 42. Доля США в общем объеме мирового рынка БВС в 2025–2030 гг. по данным международных консалтинговых организаций, % 76

Рисунок 43. Укрупненные отраслевые сегменты рынка БВС США по состоянию на 2025 год, число зарегистрированных платформ БВС, ед. 77

Рисунок 44. Ключевые направления применения БВС в США по состоянию на 2025 год, число зарегистрированных платформ БВС, ед. 77

Рисунок 45. Объем мирового рынка композиционных материалов авиационного и ракетно-космического назначения в 2024–2030 гг., млрд долл.; CAGR в 2025–2030 гг., % 79

Рисунок 46. Объем мирового рынка цифрового проектирования и моделирования композиционных материалов в 2025–2030 гг., млрд долл.; CAGR в 2025–2030 гг., % 80

Рисунок 47. Лидеры рынка БВС США по состоянию на 2025 год по числу предлагаемых платформ БВС в разрезе условных групп, ед. 81

Рисунок 48. ТОП-10 компаний – лидеров мирового рынка БВС по состоянию на конец 2025 года по рыночной капитализации, млрд долл. 84

Рисунок 49. Структура ответов по текущему состоянию развития отрасли БАС в Российской Федерации, % 99

Рисунок 50. Объем рынка БАС в Российской Федерации в 2024–2030 гг., млрд руб. 99

Рисунок 51. Объем рынка БАС в Российской Федерации (млрд долл.) и доля российского рынка в общем объеме мирового рынка БВС (%) в 2024–2030 гг. 100

Рисунок 52. Объем рынка БАС в России в 2025–2030 гг., млрд руб.; CAGR, % (сравнение прогнозных данных) 100

Рисунок 53. Структура российского рынка БАС в 2024–2025 гг. по назначению, % 101

Рисунок 54. Структура ответов о ключевых драйверах роста отрасли БАС до 2030 года, % 102

Рисунок 55. Ключевые направления применения БВС в России по состоянию на конец 2025 г., % 102

Рисунок 56. Структура ответов о наиболее перспективных сферах применения БАС до 2030 года, % 103

Рисунок 57. Структура гражданского сегмента рынка БВС в России в 2023 г. по отраслям, % .104

Рисунок 58. Ключевые типы конструкции БВС в России по состоянию на конец 2025 г., % 105

Рисунок 59. Объем рынка инженерного ПО и ПО для автоматизации управления

производством в Российской Федерации в 2024–2030 гг., млрд руб.; CAGR в 2025–2030 гг., % 106

Рисунок 60. Структура российских производителей беспилотных авиационных систем по состоянию на март 2025 г. в зависимости от размера предприятия, ед. 107

Рисунок 61. ТОП-10 субъектов России по числу малых и средних предприятий – производителей БАС и их компонентов по состоянию на февраль 2026 г., % 108

Рисунок 62. ТОП-10 субъектов России по числу предприятий – участников рынка БАС по состоянию на конец 2025 г., % 108

Рисунок 63. Структура предприятий – участников отрасли БАС по основному виду деятельности по состоянию на конец 2025 г., % 109

Рисунок 64. Количество зарегистрированных предприятий в 2020–2025 гг., ед.; CAGR в 2020–2024 гг., % 109

Рисунок 65. Доли лидеров рынка производства гражданских БВС в России в натуральном выражении по состоянию на 2023 г., % 113

Рисунок 66. Компании – лидеры по числу моделей БВС, представленных в каталоге «Аэронет 2035» по состоянию на 2025 год, ед. 114

Рисунок 67. Структура рынка инженерного ПО в России по оценкам на 2025 г., % 119

Рисунок 68. Выручка ТОП–3 ведущих российских разработчиков САПР в 2023–2025 гг., млрд руб. 121

Рисунок 69. Выручка прочих ведущих российских разработчиков САПР в 2023–2025 гг., млрд руб. 121

Рисунок 70. Ключевые глобальные технологические тенденции (размер пунсона – инвестиции в акционерный капитал по направлению в 2024 г., млрд долл.) 144

Рисунок 71. Структура ответов о технологических трендах, которые будут определяющими для развития БАС до 2030 года, % 150

Рисунок 72. Инвестиционные приоритеты представителей мирового рынка БВС в 2018–2025 гг. на перспективу следующих 12 месяцев: лидирующие направления, доля респондентов, отметивших направление в качестве приоритетного, % 151

Рисунок 73. Инвестиционные приоритеты представителей мирового рынка БВС в 2018–2025 гг. на перспективу следующих 12 месяцев: прочие направления, доля респондентов, отметивших направление в качестве приоритетного, % 151

Рисунок 74. Сопоставление объема инвестиций в коммерческий сегмент мирового рынка БВС в 2015–2025 гг. с этапами, выделяемыми в рамках модели развития технологий «Цикл хайпа» компании Gartner (Gartner Hype Cycle), а также с моделью диффузии инноваций Э.Роджерса, млрд долл. 153

Рисунок 75. Оценка ключевых барьеров мирового рынка БВС в 2023–2025 гг. 166

Рисунок 76. Структура ответов об основных барьерах развития отрасли БАС в мире, % 174

Рисунок 77. Регистрация предприятий в сфере БВС/БАС/БПЛА 177

Рисунок 78. Структура ответов о влиянии регуляторных изменений 2025–2026 гг. на отрасль БАС, % 178

Рисунок 79. Структура ответов о доле отечественного ПО в цифровом контуре компании, % 182

Рисунок 80. Структура ответов об основных барьерах перехода на отечественное ПО, % 182

Рисунок 81. Структура ответов об использовании компаниями-респондентами кооперационных механизмов развития, % 187

Рисунок 82. Структура ответов об участии компаний-респондентов в государственных инициативах в сфере БАС, % 187

Рисунок 83. Структура ответов об использовании компаниями-респондентами инфраструктуры научно-производственных центров (НПЦ) или центров коллективного пользования (ЦКП), % 188

Рисунок 84. Структура ответов о состоянии региональной инфраструктуры БАС, % 188

Рисунок 85. Структура ответов о применяемых методах контроля технического состояния композитных и гибридных конструкций БВС в эксплуатации, % 189

Рисунок 86. Структура ответов об использовании систем мониторинга технического состояния конструкций БВС, % 190

Рисунок 87. Структура ответов о применении методов прогнозирования остаточного ресурса конструкций БВС, % 190

Рисунок 88. Концепция цифрового двойника композиционного материала в контексте цифрового двойника изделия 191

Рисунок 89. Структура ответов об используемых классах ПО в жизненном цикле БВС и их компонентов (разработка, производство, эксплуатация), % 209

Рисунок 90. Итеративный процесс валидации математической модели материала 219

Рисунок 91. Цифровой (виртуальный) испытательный полигон «Композиционные материалы» на цифровой платформе по разработке и применению цифровых двойников CML-Bench® 220

СПИСОК ТАБЛИЦ

Таблица 1. Распространенные типы композиционных материалов, используемые в конструкциях БВС 22

Таблица 2. Сравнительные характеристики различных типов датчиков, используемых в решениях по мониторингу состояния конструкций (SHM) в авиационной и ракетно-космической отрасли 37

Таблица 3. Применение композиционных и гибридных материалов в БВС их компонентах производства западных стран и стран НАТО 47

Таблица 4. Применение композиционных и гибридных материалов в БВС их компонентах российского производства 60

Таблица 5. Оценки и прогнозы объема мирового рынка БВС в 2024-2030 гг. 61

Таблица 6. Оценки и прогнозы объема рынка БВС в США 2024-2030 гг. 75

Таблица 7. Оценки и прогнозы объема мирового рынка композиционных материалов авиационного и ракетно-космического назначения в 2024-2030 гг 78

Таблица 8. Оценки и прогнозы объема мирового рынка цифрового проектирования и моделирования композиционных материалов в 2024-2030 гг 80

Таблица 9. ТОП-10 компаний – лидеров мирового рынка БВС по состоянию на конец 2025 года по рыночной капитализации: основные характеристики и ключевые решения 85

Таблица 10. Компании – лидеры мирового рынка цифрового проектирования и моделирования композиционных материалов по состоянию на конец 2025 года: основные характеристики и ключевые решения 90

Таблица 11. Ключевые события отрасли (кейсы), включая крупные проекты и достижения, в мире в 2025 году 94

Таблица 12. Ключевые отраслевые мероприятия в мире в 2025 году 96

Таблица 13. ТОП-5 компаний – лидеров российского рынка БВС: основные характеристики и ключевые решения 116

Таблица 14. Ведущие российские компании, в портфель которых входят специализированные решения для моделирования и анализа композиционных материалов и изделий из них 123

Таблица 15. Ключевые события отрасли (кейсы), включая крупные проекты и достижения, в России 132

Таблица 16. Ключевые отраслевые мероприятия в России в 2025 году 138

Таблица 17. Ключевые технологические тенденции, решения и примеры их реализации на мировом рынке 146

Таблица 18. Компании – лидеры мирового рынка цифрового проектирования и

моделирования композиционных материалов по состоянию на конец 2025 года: слияния и поглощения 155

Таблица 19. Ключевые технологические тенденции, решения и примеры их реализации на российском рынке 159

Таблица 20. Обзор некоторых публикаций по теме технологий цифрового моделирования ударных повреждений в композиционных материалах и остаточной прочности композитных конструкций в контексте беспилотных систем 195

Таблица 21. Сравнение основных инструментов моделирования ударных воздействий и оценки остаточной прочности композитных конструкций в мире 210

Таблица 22. Сведения об обновлениях функциональных возможностей зарубежных систем инженерного анализа, вошедших в релизы 2025-2026 гг. 212

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]	-
ВИП	Цифровой (виртуальный) испытательный полигон	-
ВИС	Цифровой (виртуальный) испытательный стенд	-
ГНСС	Глобальная навигационная спутниковая система	-
ЕИС ПИВП	Единая интегрированная система планирования использования воздушного пространства	-
ЕС ОрВД	Единая система организации воздушного движения Российской Федерации	-
ИИ	Искусственный интеллект	-
МО	Машинное обучение	-
НИОКР	Научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы	-
НК	Неразрушающий контроль	-
НПЦ	Научно-производственный центр	-
ПКМ	Полимерный композиционный материал	-
ПО	Программное обеспечение	-
ТОиР	Техническое обслуживание и ремонт	-
ТЭК	Топливно-энергетический комплекс	-
ЧПУ	Числовое программное управление	-
ЭПР	Экспериментальный правовой режим	-
BVLOS	Beyond Visual Line Of Sight	Эксплуатация беспилотного воздушного судна вне прямой видимости (за пределами прямой видимости) [1]

Аббревиатура	Расшифровка	Перевод на русский язык
CAD	Computer-Aided Design	Средства автоматизированного проектирования [2], системы автоматизированного проектирования (САПР) [3]
CAE	Computer-Aided Engineering	Средства инженерного анализа [2], системы инженерного анализа и проектирования [3]
CAM	Computer-Aided Manufacturing	Средства управления оборудованием с числовым программным управлением [2], системы автоматизации изготовления / производства [3]
DaaS	Drone-as-a-Service	Дрон как услуга
eVTOL	Electric Vertical Take-Off and Landing	Электрический БВС вертикального взлета и посадки
GPS	Global Positioning System	Спутниковая система навигации [3]
HALE	High Altitude Long Endurance	Высотные БВС большой продолжительности полета [4]
IoT	Internet of Things	Интернет вещей
LALE	Low Altitude, Long Endurance	Маловысотные БПЛА большой продолжительности полета
MALE	Medium-Altitude Long-Endurance	Средневысотные БПЛА большой продолжительности полета [4]
PDM	Product Data Management	Средства управления инженерными данными об изделии [2,3], системы управления данными об изделии [3]
PLM	Product Lifecycle Management	Средства управления жизненным циклом изделия [2,3], системы управления жизненным циклом изделия [3]
SPDM	Simulation Processes and Data Management	Средства управления процессами и данными компьютерного моделирования [2,3]
VTOL	Vertical Take-Off and Landing	БВС вертикального взлета и посадки

ВВЕДЕНИЕ

Экспертно-аналитический доклад посвящен комплексному анализу рынка цифровых технологий обеспечения безопасной эксплуатации композитных и гибридных конструкций беспилотных воздушных судов (далее – БВС) по состоянию на конец 2025 года. Актуальность настоящего доклада подтверждается сохраняющейся высокой динамикой развития российской отрасли беспилотных авиационных систем (далее – БАС), в рамках которой приоритетное значение приобретают задачи обеспечения технологического суверенитета и лидерства, локализации производства критических компонентов, развития испытательной инфраструктуры и расширения применения технологий цифрового проектирования и моделирования БВС.

В Российской Федерации по состоянию на конец 2025 года реализуется системная государственная поддержка развития отрасли БАС, в частности, в рамках национального проекта технологического лидерства «Беспилотные авиационные системы» [5], а также Стратегии развития беспилотной авиации до 2030 года и на перспективу до 2035 года [6].

Ключевые направления дальнейшего развития отрасли определены перечнем поручений Президента Российской Федерации по итогам совещаний по вопросам развития БАС утверждены перечни поручений (март 2025 года и февраль 2026 года). Данные поручения направлены на расширение сфер применения беспилотных систем, совершенствование связи и инфраструктуры, развитие нормативно-правового регулирования производства и эксплуатации беспилотных систем, повышение уровня локализации, стимулирование выпуска отечественных комплектующих и формирование системы подготовки высококвалифицированных профильных специалистов [7,8].

Существенное влияние на развитие отрасли БАС оказывает применение композиционных материалов, позволяющих регулировать технические и эксплуатационные характеристики изделий за счет варьирования состава и структуры материала. Это подтверждает устойчивый рост интереса к композиционным материалам как со стороны промышленности, так и со стороны научного сообщества. Одним из ключевых факторов роста спроса на такие материалы в сфере БВС как в России, так и за рубежом остается необходимость снижения массогабаритных характеристик и радиолокационной заметности беспилотных систем гражданского и специального назначения, а также повышения их маневренности и дальности полета.

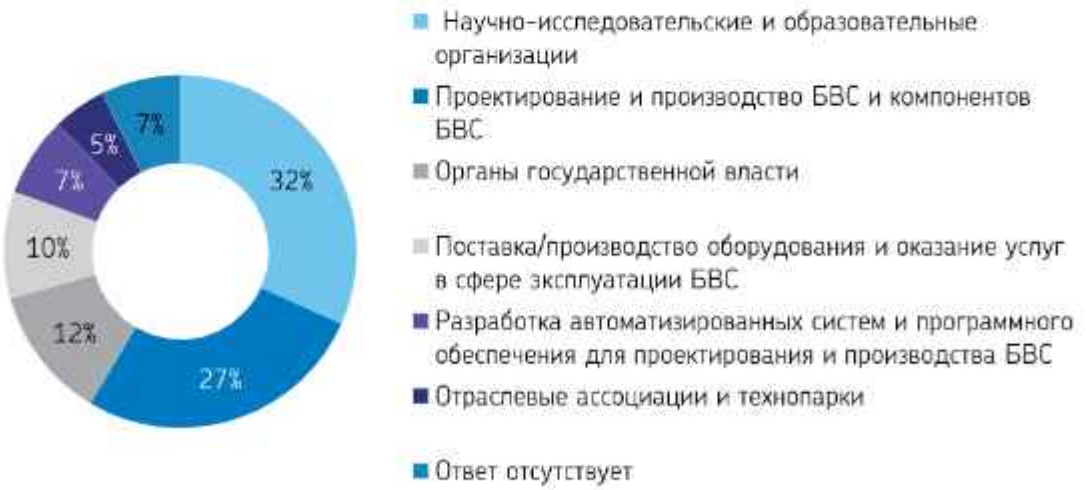
В условиях усиливающейся конкуренции и высоких требований к авиационной технике, рынок проектирования и производства БВС сталкивается с задачами, которые требуют поиска инновационных решений для повышения устойчивости к внешним воздействиям и обеспечения высоких эксплуатационных характеристик. В этих условиях возрастает значение цифровых технологий, используемых при цифровом проектировании, моделировании и обеспечении безопасной эксплуатации композитных и гибридных конструкций БВС. Особенно значимо их использование для создания композитных и гибридных конструкций беспилотных систем, которые должны отвечать современным требованиям по прочности, легкости и долговечности, а также обеспечивать высокую адаптивность к изменяющимся условиям эксплуатации.

В рамках исследования международного опыта в докладе рассматриваются страны и регионы, являющиеся значимыми участниками мирового рынка БВС и реализующие проекты в области разработки и производства БВС с применением композиционных и гибридных материалов, а также

цифровых технологий обеспечения эксплуатации соответствующих конструкций. Выбор стран осуществлялся с учетом наличия компаний – лидеров рынка БВС, значимых технологических проектов и отраслевых практик, позволяющих выявить достижения, актуальные тенденции и барьеры развития рассматриваемой области. В число рассмотренных стран и региональных объединений вошли Россия, США, Китай, государства Европейского союза (в том числе Франция, Германия, Польша, Чехия, Нидерланды и Швеция), Турция, Канада, Австралия, Израиль, Индия, Япония, Руанда и другие страны, представленные в анализируемых отраслевых материалах и кейсах.

В дополнение к анализу международного и отраслевого опыта в рамках текущего исследования Инфраструктурным центром «Технет» СПбПУ при поддержке АНО «Платформа НТИ» с 11 марта по 6 мая 2026 года проведен опрос организаций-участников рынка НТИ и формируемой отрасли БАС в России. Опрос осуществлялся в целях сбора и систематизации информации для анализа фактического состояния и перспектив развития рынка БВС, основных тенденций, барьеров (в т.ч. технологических) и возможностей для роста отрасли БАС, а также ключевых процессов и значимых отраслевых событиях. Опрос был направлен 245 ключевым представителям отрасли БАС в России (полный перечень представлен в Приложении № 1). Ответы были получены от 41 респондента, включая представителей АО «Национальный центр вертолетостроения им. М.Л. Миля и Н.И. Камова» (АО «Вертолеты России», Госкорпорация «Ростех»), ПАО «Компания «Сухой» «ОКБ Сухого» (ПАО «ОАК», Госкорпорация «Ростех»), АО «Уральское проектно-конструкторское бюро «Деталь» (АО «Корпорация «Тактическое ракетное вооружение»), ООО «Конструкторское бюро А. Кеменова», АНО «НПЦ БАС «Туладрон», АО «Технопарк Санкт-Петербурга», ООО «СТЦ», ООО «Флайтус», ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева», ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный технический университет» и др. Распределение компаний-респондентов приведено на рисунке 1.

Рисунок 1. Структура респондентов по категориям организаций, %



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по результатам опроса, 2026

Основными направлениями деятельности компаний-респондентов являются разработка и эксплуатация БВС / БАС, а также научно-исследовательская деятельность (рисунок 2, допускался множественный выбор ответов). Категория «Другое» включает такие направления работы, как

разработка и производство электронной компонентной базы (ЭКБ) и СВЧ-модулей для БВС/БАС, контроль и надзор в области охраны окружающей среды и лесных отношений, деятельность в рамках научно-производственных центров (далее – НПЦ) БАС.

Рисунок 2. Структура ответов об основных направлениях деятельности компаний-респондентов в сфере БАС, %



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по результатам опроса, 2026

Ключевыми сегментами деятельности компаний-респондентов являются разработка компонентов (двигатели, бортовое радиоэлектронное оборудование (БРЭО) и др.), разработка и эксплуатация легких БВС менее 30 кг, сервисы и эксплуатация БВС / БАС. Также в категории «Другое» респонденты обозначили следующие направления работы: сопровождение внедрения, включая юридическое сопровождение эксплуатации БАС, обучение и работа с тренажерами. В рамках данного вопроса допускался множественный выбор ответов. Структура ответов представлена на рисунке 3.

Рисунок 3. Структура ответов о ключевых сегментах деятельности компаний-респондентов в сфере БАС, %



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по результатам опроса, 2026

Распределение компаний-респондентов по уровню готовности их ключевых решений представлено на рисунке 4. Итоговая выборка компаний представлена продуктовой линейкой преимущественно на УГТ 1-3.

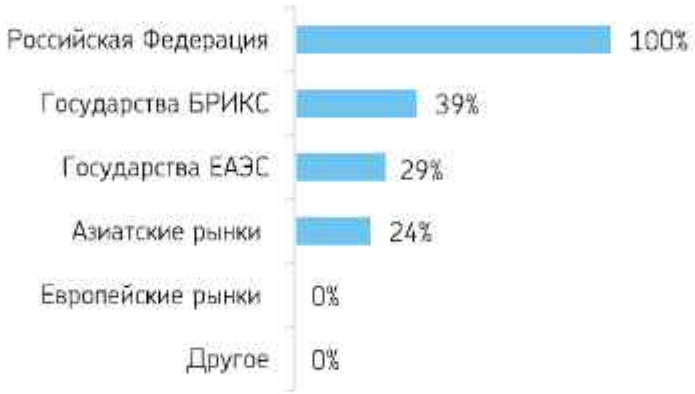
Рисунок 4. Структура ответов об уровне готовности ключевых решений компаний-респондентов, %



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по результатам опроса, 2026

Опрошенные компании в основном ведут деятельность на территории Российской Федерации, а также на азиатских рынках, в государствах БРИКС и ЕАЭС. В рамках данного вопроса допускался множественный выбор ответов. Структура ответов представлена на рисунке 5.

Рисунок 5. Структура ответов о географии деятельности компаний-респондентов в сфере БАС, %



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по результатам опроса, 2026

Наибольшее число респондентов приходится на Москву, Санкт-Петербург, Московскую, Тульскую, Новосибирскую, Самарскую и Свердловскую области. Вместе с тем единичные ответы, попавшие в категорию «Другое» были получены также из ряда других субъектов Российской Федерации, включая Ленинградскую, Воронежскую, Калужскую, Костромскую, Омскую, Оренбургскую, Рязанскую, Тверскую, Томскую, Тюменскую, Ульяновскую и Челябинскую области, Краснодарский, Красноярский и Пермский края, Республики Башкортостан, Карелия, Мордовия и Саха (Якутия), а также Луганскую Народную Республику. Распределение респондентов в региональном разрезе приведено на рисунке 6.

Полный перечень компаний, прошедших опрос, представлен в Приложении № 2. Результаты опроса представлены сквозным образом в соответствующих разделах настоящего отчета.

Рисунок 6. Структура ответов о распределении респондентов в региональном разрезе, %



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по результатам опроса, 2026

Настоящий доклад является продолжением экспертно-аналитического доклада «Обзор цифровых технологий обеспечения эксплуатации композитных и гибридных конструкций БВС» [9], подготовленного Инфраструктурным центром «Технет» (передовые производственные технологии) Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого в 2025 году. В настоящем исследовании представлен анализ текущего состояния рынка БВС, ключевые отраслевые события в России и в мире по состоянию на конец 2025 года и начало 2026 года, а также основные рыночные и технологические и тенденции, в том числе расширение применения технологий искусственного интеллекта, способствующих повышению автономности беспилотных систем, росту операционной эффективности, развитию функций наблюдения и мониторинга, а также совершенствованию механизмов сбора и анализа данных.

Описаны наиболее значимые барьеры и возможности для дальнейшего роста рынка БВС. Рассмотрены особенности развития российской отрасли БАС в условиях системной государственной поддержки, реализации национального проекта «Беспилотные авиационные системы» и Стратегии развития беспилотной авиации Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2035 года, а также задач обеспечения технологического суверенитета и лидерства, локализации производства критических компонентов, развития испытательной инфраструктуры и подготовки высококвалифицированных профильных специалистов. Отдельное внимание уделено применению композитных и гибридных конструкций, а также роли композиционных материалов в обеспечении требуемых технических и эксплуатационных характеристик, включая снижение массогабаритных параметров и радиолокационной заметности, повышение маневренности и дальности полета БВС. Рассмотрены цифровые решения, обеспечивающие проектирование, моделирование и техническое сопровождение эксплуатации БВС, включая применение технологий цифровых двойников и методы прогнозирования поведения конструкций на различных этапах жизненного цикла изделий.

В заключительной главе доклада проводится анализ применения цифровых технологий обеспечения безопасной эксплуатации композитных и гибридных конструкций БВС. Аналитическое исследование включает рассмотрение подходов к численному моделированию динамических процессов ударного воздействия на композитные конструкции БВС и оценке несущей способности конструкций с учетом ударных повреждений, а также специализированного программного обеспечения, используемого для цифрового моделирования указанных процессов.

ГЛАВА 1. ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ КОМПОЗИТНЫХ И ГИБРИДНЫХ КОНСТРУКЦИЙ БВС

Разработка и расширение сфер применения БВС сопровождаются усложнением требований к их эксплуатационным характеристикам, включая снижение массы, уменьшение радиолокационной заметности, повышение прочности, надежности и устойчивости конструкций к внешним воздействиям при обеспечении экономической эффективности. Достижение указанных характеристик в значительной степени связано с использованием композиционных и гибридных материалов, применение которых требует проведения инженерных расчетов, численного моделирования и оценки поведения конструкций в различных режимах эксплуатации. В этих условиях возрастает значение технологий цифрового проектирования и моделирования, проведения цифровых (виртуальных) испытания, прогнозирования эксплуатационных характеристик и оценки надежности конструкций. Настоящий раздел посвящен анализу современного состояния цифровых технологий, применяемых для обеспечения безопасной эксплуатации композитных и гибридных конструкций БВС. В рамках настоящего раздела рассматриваются следующие вопросы:

- Ключевые направления применения цифровых технологий обеспечения эксплуатации композитных и гибридных конструкций БВС, включая анализ их специфики, а также обзор основных направлений применения цифровых технологий в рассматриваемой сфере.
- Текущее состояние рынка и ключевые отраслевые события в мире и в России, в т.ч. анализ структуры и динамики развития мирового рынка по состоянию на конец 2025 - начало 2026 года, обзор ключевых зарубежных и отечественных разработчиков и производителей, их решений, а также крупные проекты и научно-технологические достижения.

1.1. Специфика применения композитных и гибридных конструкций БВС

Широкое применение композиционных материалов началось в 1940-х годах, прежде всего в аэрокосмической и автомобильной промышленности, а также в энергетическом машиностроении. Этому способствовало развитие технологий производства синтетических композиционных материалов, обеспечивших возможность их промышленного использования. Одними из ранних примеров практического применения композиционных материалов стали создание в США в 1942 году лодки со стекловолоконным корпусом [10] и использование в 1944 году композиционных материалов на основе стекловолокна в конструкции американского учебного самолета Vultee BT-15 [11]. Однако широкое промышленное применение стекловолоконных композитов началось позднее – в середине 1950-х годов.

В 1970-х годах началось коммерческое применение материалов на основе углеродных волокон, что стало одним из ключевых этапов развития композиционных материалов. Высокая прочность, жесткость и низкая плотность обеспечили их востребованность в отраслях, для которых критически важным являлось снижение массы конструкций, прежде всего в аэрокосмической и оборонной промышленности. Одной из основных сфер применения углепластиков стала боевая авиация, где высокие требования к летно-техническим характеристикам обусловили использование дорогостоящих композиционных материалов. В этот период получили развитие и решения на основе волокон бора (боропластики) [12]. Одновременно продолжилось расширение применения стекловолоконных композитов в судостроении и авиастроении, включая производство легких морских судов и

отдельных элементов авиационных конструкций.

Углеродное волокно начало использоваться в аэрокосмической отрасли в начале 1960-х годов, а в спорте – в 1970-х годах. Переход материала от лабораторных разработок к массовому внедрению был обусловлен его уникальным соотношением прочности и массы. В 1980-х годах расширилось использование полимерных композиционных материалов на основе углеродного волокна и стекловолокна в отдельных сегментах автомобилестроения, прежде всего при производстве спортивных автомобилей, а также в строительной отрасли. В 1990-х годах развитие композиционных материалов на основе полимеров сопровождалось развитием композиционных материалов с металлической матрицей (ММС) и керамической матрицей (СМС). Совершенствование технологий обработки поверхностей и методов проектирования способствовало постепенному улучшению эксплуатационных характеристик композиционных материалов [11]. В 2000-х годах появились первые композиционные материалы с нанокомпонентами на основе углеродных нанотрубок, обладающие повышенными показателями прочности, тепло- и электропроводности. В 2010-х годах развитие композиционных материалов было связано с разработкой экологически устойчивых решений, материалов с сенсорными и адаптивными свойствами, а также с интеграцией композиционных материалов в интеллектуальные системы управления. В 2020 году произошел прорыв в синтезе нанокомпозитов: ученые освоили точный контроль структуры материалов на молекулярном уровне, что позволило создавать гибридные наноструктуры с высокой прочностью, электропроводностью и термостойкостью. Это стало возможным благодаря развитию методов компьютерного моделирования и наноточных технологий (рисунок 7) [13].

Рисунок 7. Развитие композиционных материалов и их использование в промышленности



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным Simões S. High-Performance Advanced Composites in Multifunctional Material Design: State of the Art, Challenges, and Future Directions, Т. 17, № 23. С. 5997, 2024 [13]

Развитие композиционных материалов создало предпосылки для их широкого применения в конструкции БВС. Эффективность эксплуатации БВС во многом определяется характеристиками

материалов, используемых при их изготовлении. Ключевым фактором является баланс между прочностными и массогабаритными характеристиками конструкции: увеличение массы приводит к сокращению продолжительности полета и снижению маневренности, тогда как недостаточный уровень механических характеристик ограничивает несущую способность и снижает долговечность конструкции [14].

Оптимизация свойств используемых материалов имеет особое значение для направлений применения БВС, в которых ключевыми показателями эффективности являются грузоподъемность и скорость, включая мониторинг, доставку грузов и поисково-спасательные операции. В этих условиях важную роль в повышении эффективности БВС за счет снижения массы конструкции и увеличения отношения подъемной силы к весу играют передовые полимерные композиционные материалы.

1.1.1. Ключевые направления применения композиционных и гибридных материалов в конструкциях БВС

Отрасль беспилотной авиации практически с самого начала своего существования использует современные композиционные материалы. В 2009 году компания Composite World провела опрос производителей 200 моделей беспилотных летательных аппаратов (далее – БПЛА), по результатам которого установлено, что во всех рассматриваемых образцах применялись различные композиционные материалы, включая углепластики, сохраняющие широкое распространение в конструкциях БВС [15].

Несмотря на существенные различия между классами БВС по размерам, летно-техническим характеристикам и стоимости, общими направлениями повышения их эффективности остаются увеличение продолжительности полета и грузоподъемности. В связи с этим снижение массы конструкции рассматривается как один из ключевых факторов, определяющих применение и дальнейшее развитие композиционных материалов в отрасли БАС.

Анализ показывает, что наиболее распространенным классом материалов в беспилотной авиации являются углепластики (CFRP — полимерные композиционные материалы, армированные углеродным волокном), обеспечивающие снижение массы при сохранении высоких прочностных характеристик. Углепластики отличаются высокой удельной прочностью, способностью воспринимать значительные эксплуатационные нагрузки в течение длительного времени, а также высокой коррозионной стойкостью [16]. Для тяжелых БВС специального назначения в критически нагруженных элементах конструкции также применяются боропластики, обеспечивающие повышение стойкости к экстремальным нагрузкам.

В таблице 1 представлены основные типы композиционных материалов, применяемых в конструкциях беспилотных воздушных судов, и их ключевые эксплуатационные характеристики. Таблица подготовлена на основе данных отчета «Обзор цифровых технологий обеспечения эксплуатации композитных и гибридных конструкций БВС» [9], разработанного Инфраструктурным центром «Технет» в 2025 году, с последующей актуализацией и дополнением. Представленные сведения о свойствах композиционных материалов сохраняют актуальность на текущем этапе развития отрасли.

Таблица 1. Распространенные типы композиционных материалов, используемые в конструкциях БВС

Композиционный материал	Описание	Применение / свойства	Кейсы / упоминания о конкретных применениях
Углепластики (углерод-углеродные композиционные материалы, УУКМ / Carbon Fiber Reinforced Plastic, CFRP) [17]	Углепластики представляют собой тип полимерного композиционного материала, в котором полимерная матрица армирована углеродными волокнами. Удельная прочность углепластиков в несколько раз превышает удельную прочность стали (5-10 раз в зависимости от типа углепластика и конкретной марки стали), при этом плотность материала ниже, чем у алюминия. Сочетание низкого веса и высокой прочности позволяет эффективно использовать углепластики во всех критически требовательных к весу конструкциях, что особенно важно для авиационной отрасли [18]. Основной недостаток – высокая стоимость.	Углепластики активно используются при изготовлении фюзеляжей, крыльев, силовых элементов и лопастей пропеллеров современных самолетов и БВС, начиная от малых тактических БВС и заканчивая высотными БПЛА с большой продолжительностью полета (класс HALE, High-Altitude Long-Endurance).	За счет масштабного использования углепластиков в авиалайнере Boeing 787 Dreamliner (50% веса конструкции приходится на углепластики) было достигнуто общее снижение веса самолета на 20% по сравнению с алюминием [19]. Использование современных углепластиков для производства компонентов БПЛА способно, по ряду оценок, сократить вес конструкции на 25–40% по сравнению с алюминием или титаном, что значительно увеличивает время полета и маневренность БВС. Помимо снижения веса использование современных углепластиков может позволить улучшить стабильность конструкции БВС, что, в свою очередь, делает показатели бортовых датчиков более точными [20].
Стеклопластики / стекловолокно (Glass	Стеклопластики представляют	Из стеклопластиков изготавливаются	Помимо устоявшейся практики использования

Композиционный материал	Описание	Применение / свойства	Кейсы / упоминания о конкретных применениях
Fiber Reinforced Plastic, GFRP)	собой класс композиционных материалов, в которых полимерная матрица (чаще всего на основе эпоксидной полиэфирной или винилэфирной смолы) армируется стеклянными волокнами [21]. Стеклопластики почти в 4 раза легче стали, при этом прочность на растяжение у этого типа материала почти в два раза выше, чем у мягких марок стали. Главными свойствами стекловолокна является полная устойчивость к коррозии, низкая теплопроводность и магнитная непроводимость [22]. Основные недостатки – относительно низкая удельная прочность по сравнению с углепластиками, а также сложность в диагностике повреждений и ремонте [18].	фюзеляжи, крылья, обтекатели и шасси БВС. Низкая стоимость, относительно высокая прочность и низкая радиолокационная заметность обеспечивают применение стеклопластиков в конструкциях средних и малых БВС как гражданского, так и специального назначения.	стеклопластиков для создания компонентов БВС, в мире развиваются новые проекты, отличающиеся стремлением к максимизации использования стеклопластика в конструкции. Так, специалистами из Самарского национального исследовательского университета имени С.П. Королева создана технология производства малозатратного БВС самолетного типа, в котором корпус полностью изготовлен из стеклопластика [23]. По информации организации, стеклопластик является оптимальным материалом для БВС самолетного типа благодаря низкой массе, высокой прочности и жесткости, а также относительно невысокой стоимости при высокой технологичности производства. Углепластик, также широко применяемый в производстве БВС, характеризуется существенно более высокой стоимостью (в 6-7 раз по сравнению со стеклопластиком), при этом его высокие механические характеристики для малоразмерных БВС могут быть избыточными. В отличие от углеволокна стеклопластик обладает радиопрозрачностью и не оказывает негативного влияния на работу бортовой радиоэлектронной аппаратуры [23].
Арамидопластики (кевлар)	Арамидопластики (наиболее известным представителем	Из арамидопластиков изготавливаются элементы защитной	Арамидопластики используются в качестве материалов для

Композиционный материал	Описание	Применение / свойства	Кейсы / упоминания о конкретных применениях
	этого типа материалов является торговая марка «кевлар») – тип композиционного материала, в котором полимерная основа укрепляется арамидными волокнами. Главной особенностью арамидопластиков является их высокая ударопрочность и способность поглощать энергию без разрушения конструкции, что делает этот материал значительно более устойчивым к повреждениям по сравнению с относительно хрупкими углепластиками [24]. Использование арамидопластиков для компонентов обеспечивает повышение стойкости БВС к механическим повреждениям при ударных нагрузках. Основные недостатки – высокая стоимость и сложность технологического процесса изготовления [18].	обшивки корпуса БВС, компоненты фюзеляжа и шасси.	фюзеляжа тяжелых БВС специального назначения – таких как американский MQ-1 Predator (General Atomics) [25]. и турецкий Baykar Bayraktar TB2 [25].

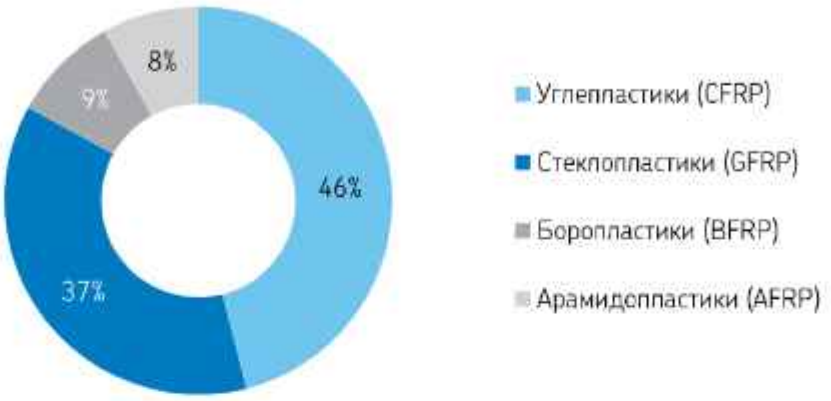
Композиционный материал	Описание	Применение / свойства	Кейсы / упоминания о конкретных применениях
Боропластики (пластики, армированные борными волокнами, BFRP)	Боропластики (BFRP) – «элитные» композиционные материалы, в которых полимерная матрица (чаще всего на основе эпоксидной смолы) армируется сверхпрочными борными волокнами. Главная особенность боропластиков – очень высокая жесткость и прочность, заметно превосходящие показатели углепластиков. Такие свойства позволяют создавать ключевые элементы летатель-ных аппаратов, способных к экстремальным нагрузкам при низком весе, что позволяет использовать их в ответственных и высоконагруженных конструкциях. Основные недостатки – высокая стоимость и сложность в обработке, обуславливающие их нишевое применение для самых дорогостоящих передовых БВС.	Боропластики используются в основном при создании важных узлов тяжелых БВС специального назначения – конструкции хвостового оперения, элеронах и других силовых элементах планера.	Боропластик (коммерческий бренд Hy-Bor) используется для производства лонжеронов крыла американского БВС специального назначения MQ-9 Reaper. В течении десятилетий широко распространена практика использования боропластиков для ремонта алюминиевой обшивки самолетов специального назначения [12].

Композиционный материал	Описание	Применение / свойства	Кейсы / упоминания о конкретных применениях
GLARE (стеклоармированный алюминиевый ламинат)	GLARE (glass-reinforced aluminum laminate) – тип слоистого металлополимера, состоящий из чередующихся тонких слоев алюминиевого сплава и слоев стеклопластика. По сравнению с алюминием, GLARE обладает меньшей плотностью, позволяющей снизить вес конструкций до 30%. Материал обладает высокой усталостной прочностью, что увеличивает межремонтные интервалы по сравнению с алюминием, и высокой ударопрочностью, огнестойкостью и устойчивостью к коррозии. Основные недостатки – высокая стоимость.	GLARE используется преимущественно для создания элементов фюзеляжа летательных аппаратов.	В настоящее время материал используется только в пилотируемой авиации. Так, GLARE широко используется в конструкции авиалайнера A380 – переднем обтекателе, верхней обшивке фюзеляжа, киле и боковых панелях, а также в верхних секциях передней и кормовой верхней части фюзеляжа [26].

Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным открытых источников, 2026

При исключении из рассмотрения распространенного в беспилотной авиации «природного композита» – древесины (в том числе в виде фанеры для легких и средних БВС), а также картона, применяемого в сверхлегких БВС, основная доля использования композиционных материалов приходится на материалы на основе углеродного волокна и стекловолокна. В промышленном производстве БВС используется ограниченная номенклатура композиционных материалов, при этом наибольшую долю применения занимает углепластик (рисунок 8).

Рисунок 8. Основные сегменты рынка композиционных материалов для БВС, %



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным Evolve Business Intelligence, 2025 [27]

Развитие термопластичных полимерных композиционных материалов, армированных углеродными, стеклянными и арамидными волокнами, во многом связано с распространением технологий аддитивного производства. Данные материалы характеризуются высокой прочностью, устойчивостью к воздействию окружающей среды и стабильностью эксплуатационных свойств, что определяет их широкое применение в конструкции БВС различных классов. Кроме того, их использование способствует снижению вибрационных нагрузок и улучшению аэродинамических характеристик БВС.

Применение термопластичных композиционных материалов на основе углеродного волокна позволило обеспечить производство компонентов БВС, не уступающих по своим механическим характеристикам традиционным авиационным материалам — алюминиевым, магниевым и титановых сплавам. Компоненты воздушных судов из современных металлических сплавов характеризуются высокими показателями прочности и термической стабильности, что обусловливает их применение при изготовлении элементов БПЛА, испытывающих максимальные нагрузки (включая корпуса двигателей, рамы, шасси и др.). Однако, несмотря на высокие механические характеристики, металлические конструкции, как правило, обладают большей массой и меньшей гибкостью по сравнению с композиционными материалами [13].

Преимущество композиционных материалов по соотношению прочности к массе, а также по возможности создания сложных геометрических форм, недостижимых при использовании традиционных формообразующих и субтрактивных методов металлообработки (фрезерование, токарная обработка, шлифование и др.), обусловливает расширение их применения в сфере БВС, несмотря на их относительную дороговизну. Возможность использования аддитивных технологий для создания экспериментальных образцов во время разработки, кастомизации компонентов БВС под конкретную решаемую задачу оператора и замены ключевых компонентов БВС при неполадках недалеко от места непосредственной эксплуатации, также служит дополнительным драйвером для использования таких материалов.

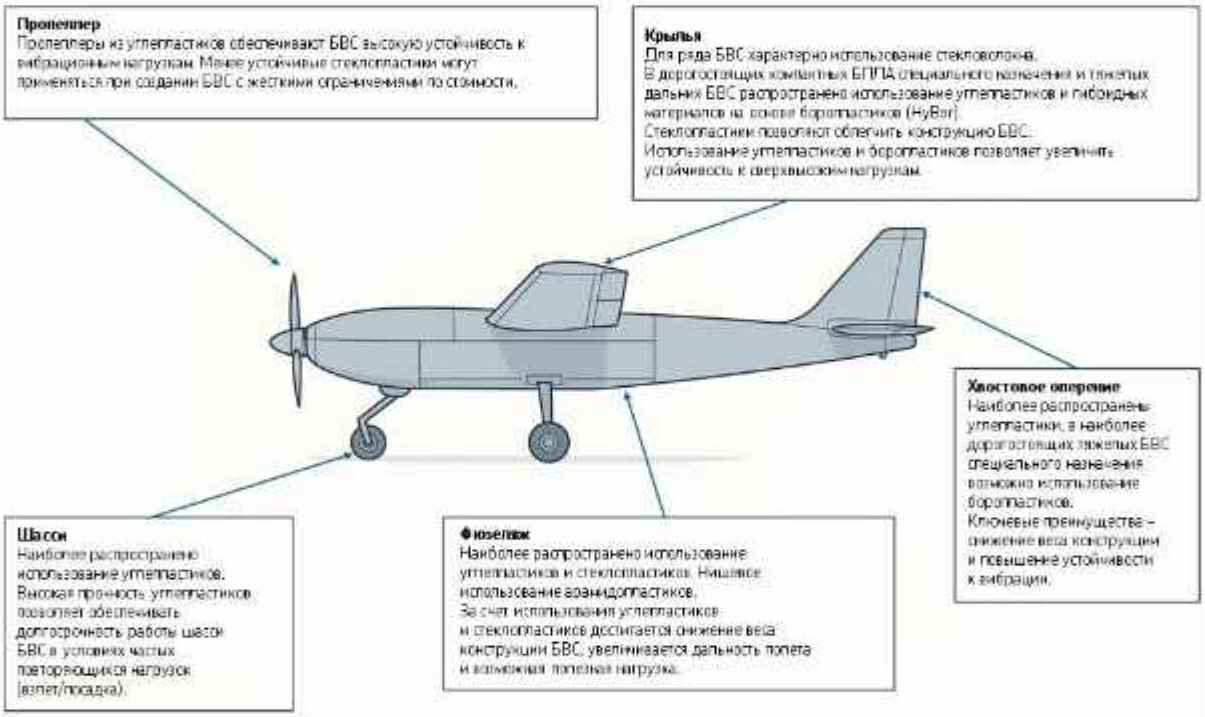
К важным эксплуатационным свойствам композиционных материалов относятся высокая коррозионная стойкость и сниженная трудоемкость механической обработки по сравнению с традиционными конструкционными материалами. Для БВС специального назначения важным свойством

композиционных материалов является низкая отражающая способность в радиолокационном диапазоне, что позволяет создавать БВС с пониженной радиолокационной заметностью («стелс»).

К числу ограничений композиционных материалов, помимо высокой стоимости, относятся ухудшение эксплуатационных характеристик при повышенных температурах и воздействии влаги, относительно низкая энергоемкость разрушения, что может приводить к повреждениям компонентов БВС при жесткой посадке, необходимость применения средств защиты от молниевых разрядов, а также высокая сложность и стоимость контроля качества соединений композиционных материалов с металлическими элементами конструкции БВС [28].

На рисунке 9 представлена ключевая информация о влиянии применяемых композиционных материалов на характеристики элементов конструкций БВС.

Рисунок 9. Зависимость характеристик элементов конструкций БВС от свойств используемых композиционных материалов



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным открытых источников, 2026 [12,16,29,30]

Таким образом, широкое применение композиционных и гибридных материалов в ключевых элементах конструкций БВС обусловлено необходимостью снижения массы при одновременном обеспечении высокой прочности и эксплуатационной надежности. Наиболее активно данные материалы и технологические решения используются в силовых и несущих элементах конструкций, а также в компонентах, определяющих аэродинамические и функциональные характеристики БВС.

1.1.2. Перспективы развития композиционных материалов и применения цифровых технологий в сфере БВС

Согласно прогнозу развития науки и технологий в гражданском авиастроении в России на период до 2050 года [31], изданным в 2025 году НИЦ «Институт имени Н.Е. Жуковского», в авиационной отрасли произошел ряд существенных изменений. За прошедшие 10-15 лет были проведены масштабные прикладные исследования и разработки как в зарубежном, так и в российском авиастроении, направленные на создание интегрированного научно-технического задела для разработки образцов авиационной техники следующего технологического уклада, в том числе БВС. Среди сфер, выделенных для эффективного применения различных групп новых технологий, выделяют:

- внедрение полимерных композиционных материалов (ПКМ) в конструкции;
- применение электрических и гибридных силовых установок;
- использование энергоносителей, альтернативных углеводородным топливам из ископаемого сырья;
- применение новых компоновочных схем воздушных судов, БАС и т. п.

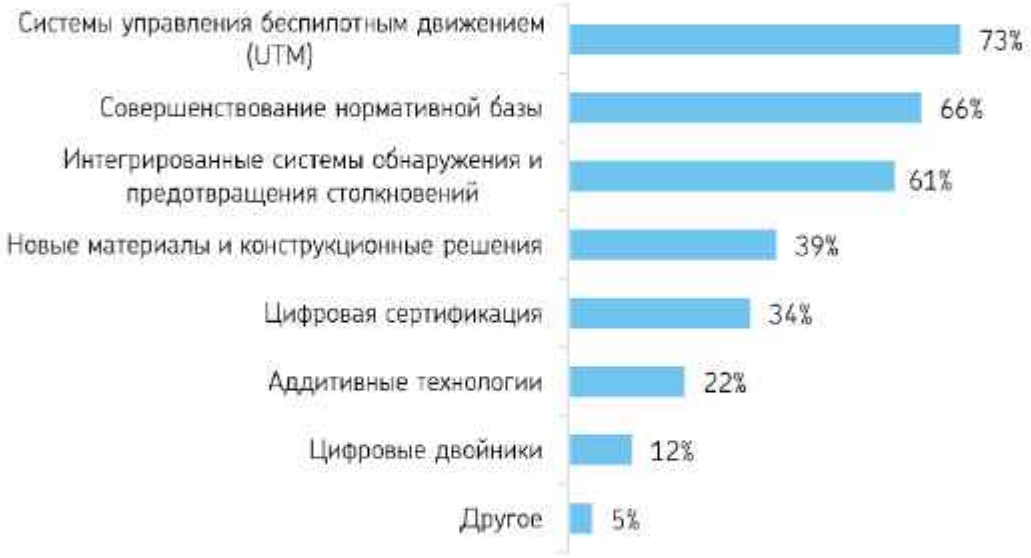
В рамках данного прогноза развития науки и технологий в гражданском авиастроении в России на период до 2050 года был проведен анализ и систематизация приоритетных технологий авиастроения и сквозных цифровых технологий, относящихся к текущему и последующим технологическим укладам, а также областей фундаментальной науки, создающих задел для разработки соответствующих технологий. По результатам обосновано, что в интересах разработки перспективных технологий авиастроения целесообразно проведение фундаментальных и поисковых исследований в ряде приоритетных направлениях. В частности, в области материалов и конструкций, а также передовых производственных технологий были выделены [31]:

- механика разрушения ПКМ, новые связующие;
- методы и фундаментальные основы неразрушающего контроля силовых конструкций;
- механика сетчатых и бионических конструкций с применением ПКМ;
- фундаментальные основы создания материалов и покрытий с использованием нанотехнологий;
- фундаментальные проблемы создания аддитивных технологий производства и ремонта ответственных авиационных конструкций;
- методы лазерного упрочнения поверхности материалов.

Также следует отметить, что изменения требований к авиации и авиационной технике, формируемых с учетом рекомендаций Международной организации гражданской авиации, сопровождались трансформацией подходов к техническому регулированию в авиационной отрасли [31]. Одновременно необходимо учитывать изменение условий функционирования и развития российской авиации и авиастроения, обусловленное ограничительными мерами со стороны ведущих зарубежных стран в области авиастроения. К числу ключевых факторов относятся прекращение поставок новой авиационной техники и компонентов, используемых при разработке и производстве российской продукции (оборудования, программного обеспечения и др.), а также ограничение послепродажной поддержки импортной авиационной техники, необходимой для ее технического обслуживания и ремонта. В этих условиях особую значимость приобретают отечественные подходы, технологии и средства производства.

По результатам опроса Инфраструктурного центра «Технет», к числу технологических и системных направлений, которые, по мнению российских участников рынка, будут определять развитие отрасли БАС до 2030 года, относятся системы управления беспилотным воздушным движением (UTM), совершенствование нормативно-правовой базы, а также интегрированные системы обнаружения и предотвращения столкновений. В числе перспективных технологических направлений респонденты также выделяют аддитивные технологии, цифровые двойники и цифровую сертификацию. В категории «Другое» респонденты указали на возможное развитие альтернативных форм экономического взаимодействия, включая элементы товарообмена, а также умеренное расширение гражданского сегмента за счет конверсии технологий из смежных отраслей. В рамках данного вопроса допускался множественный выбор ответов. Структура ответов представлена на рисунке 10.

Рисунок 10. Структура ответов о технологических и системных направлениях, которые будут определяющими для развития отрасли БАС до 2030 года, %



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по результатам опроса, 2026

Одним из перспективных технологических направлений, отмеченных респондентами, является разработка новых материалов и конструкционных решений. В числе актуальных направлений развития композиционных материалов рассматриваются повышение их механических характеристик и расширение функциональных возможностей в составе конструкций и бортовых систем БВС.

1.1.3. Перспективные направления в сфере композиционных материалов для БВС

Аддитивное производство нового поколения

Аддитивные технологии применяются для производства деталей сложной геометрии и быстрого прототипирования при разработке беспилотных систем. Технологии трехмерной печати (3D-печати) также используются при изготовлении БВС специального назначения в условиях ограниченного доступа к компонентам двойного назначения или необходимости оперативного воспроизводства отдельных элементов конструкции.

Ключевыми преимуществами аддитивного производства в сфере БВС являются сокращение расхода материала, снижение конструктивных ограничений и ускорение цикла разработки. По сравнению с традиционными технологиями изготовления композитных изделий аддитивные методы обеспечивают производство легких конструкций сложной формы с минимальным объемом отходов материала. Послойное формирование изделий позволяет создавать аэродинамические элементы планера, решетчатые силовые структуры и интегрированные внутренние каналы, изготовление которых традиционными методами существенно затруднено. Использование технологий быстрого прототипирования ускоряет отработку конструктивных решений, проведение испытаний и оптимизацию конструкции.

Дополнительным преимуществом аддитивного производства является возможность организации распределенного изготовления компонентов вблизи мест эксплуатации. Такой подход востребован при выполнении работ на удаленных и труднодоступных территориях, где логистические ограничения затрудняют применение традиционных схем поставок комплектующих [14].

Среди перспективных технологий аддитивного производства, находящихся на предкоммерческой стадии (TRL<7) можно отметить следующие:

- **Технология изготовления композитных изделий методом непрерывной волоконной 3D-печати с термореактивной матрицей и отверждением in situ (CF3D®).**

  Технология непрерывной волоконной 3D-печати (Continuous Fiber 3D Printing, CF3D®), разработана компанией Continuous Composites в 2015-2025 годах при поддержке крупнейших американских авиапроизводителей Lockheed Martin, Boeing и Военно-воздушных сил США.

  Технология CF3D® представляет собой аддитивный процесс изготовления с использованием роботизированных установок, в котором сухое непрерывное волокно (углеродное, стеклянное, арамидное) пропитывается термореактивным связующим с ультрафиолетовым отверждением непосредственно в момент укладки (in-situ) и полимеризуется без применения автоклава и специализированной оснастки.

  Решения в составе технологии CF3D® позволяют преодолеть фундаментальное ограничение традиционной FFF-печати (Fused Filament Fabrication, метод послойного наплавления термопластичных материалов), связанное с низкой межслоевой прочностью и пористостью вследствие неполной консолидации материала. Кроме того, технология позволяет отказаться от дорогостоящих пресс-форм и длительных циклов автоклавного отверждения, характерных для традиционных препреговых технологий изготовления композитных конструкций.

  В рамках проекта WiSDM (Wing Structure Design for Manufacturing), реализованного Continuous Composites совместно с корпорацией Lockheed Martin и Лабораторией ВВС США (AFRL), с использованием технологии CF3D® были изготовлены два углепластиковых лонжерона длиной 2,4 м и массой 1,8 кг каждый, обеспечившие объемную долю волокна на уровне 60 % при содержании пор порядка 1–2 % [33].

  Для развития производства БВС технология CF3D® представляет значительный интерес с точки зрения повышения эффективности изготовления силовых элементов планера —

лонжеронов, нервюр и интегрированных конструкций рамы, в том числе для беспилотных систем одноразового применения, где критически важны снижение стоимости и сокращение производственного цикла. Дополнительным преимуществом технологии является возможность интеграции волоконно-оптических датчиков и нихромовых проводников для мониторинга структурной целостности (SHM), а также противообледенительных систем непосредственно в процессе изготовления компонентов БПЛА [34].

- **Технология изготовления композитных изделий методом непланарной (пространственной) 3D-печати с непрерывным волоконным армированием (Continuous Fiber-Reinforced Thermoplastic Composites, CFRTPCs).**

  Непланарная (пространственная) печать непрерывно армированными термопластичными композитами (Continuous fiber-reinforced thermoplastic composites, CFRTPCs) относится к методам многоосевого аддитивного производства (multi-axis additive manufacturing, MAAM), при котором траектории укладки непрерывного армирующего волокна формируются не в виде параллельных плоских слоев, а по криволинейным поверхностям с ориентацией вдоль полей главных напряжений изделия. Такой подход позволяет преодолеть ключевое ограничение классической планарной FFF-печати – невозможность эффективного армирования в направлении, перпендикулярном плоскости слоя, что приводит к снижению прочности при внеплоскостном нагружении. В исследовании, опубликованном в журнале Additive Manufacturing, показана возможность создания вычислительных алгоритмов и аппаратной платформы для непланарной многоосевой 3D-печати, обеспечивающей укладку непрерывного волокна по криволинейным траекториям. Отмечено увеличение разрушающей нагрузки до 644 % и жесткости до 240 % по сравнению с традиционной планарной печатью [35].

  Для производства БВС развитие непланарного аддитивного производства с непрерывным армированием представляет особый интерес в контексте изготовления аэродинамических оболочек двойной кривизны, обтекателей и силовых элементов, работающих в условиях многоосного нагружения, включая узлы крепления крыла и хвостового оперения [36].

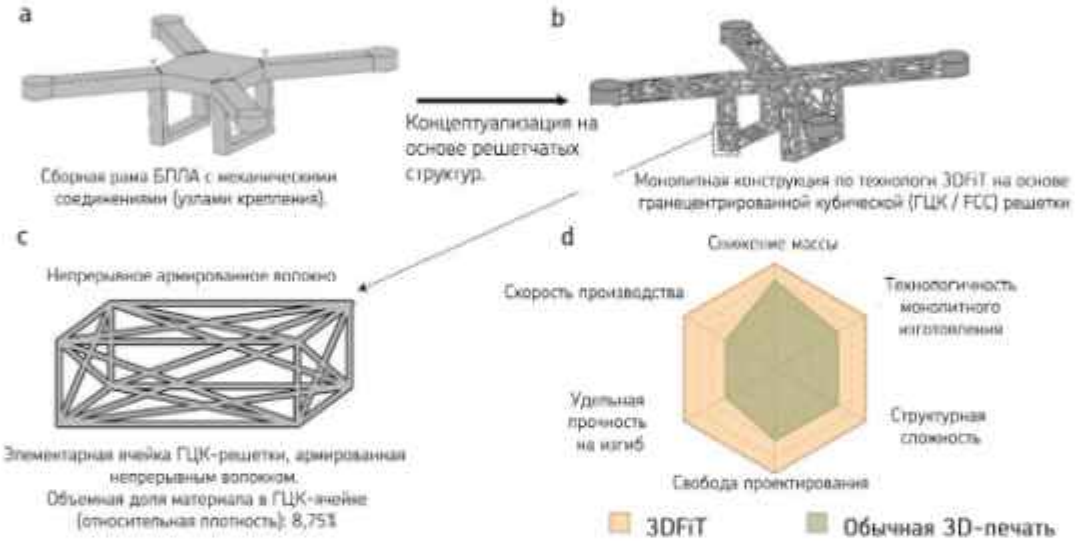
  Дальнейшее развитие технологии связано с совершенствованием алгоритмов планирования траекторий укладки для многослойных оболочек на основе итеративной оптимизации распределения армирующего волокна, а также с интеграцией высокотемпературных термопластиков (LM-PAEK, PEEK) и методов лазерной in situ консолидации, позволяющих достигать прочностных характеристик, сопоставимых с традиционными методами аддитивного производства [37].

- **Технология роботизированного формирования композитных конструкций методом намотки непрерывного волокна на пространственный каркас (3D Fiber Tethering, 3DFiT).**

  Технология 3D Fiber Tethering (3DFiT) разработана компанией CarbonForm, спин-оффом Университета Делавэр, созданным при поддержке программы Министерства энергетики США DOE ARPA-E OPEN в 2021 году. Технология 3DFiT представляет собой автоматизированный роботизированный процесс, при котором непрерывный однонаправленный углеродный жгут пропитывается эпоксидной смолой непосредственно в ходе укладки на трехмерный многоузловой каркас, изготовленный методом послойного наплавления

полимерной нити из ABS-пластика. Технология 3DFiT устраняет два ключевых ограничения существующих аддитивных методов: обусловленное послойным принципом классической 3D-печати снижение прочности в направлении наращивания материала и вероятность образования дефектов на межслоевых границах, а также низкую производительность технологий непрерывной экструзии волокна. При типичной скорости экструзии 1–2 мм/с для традиционных послойных процессов технология 3DFiT обеспечивает скорость укладки волокна 50–100 мм/с, что соответствует увеличению производительности в 50–100 раз (рисунок 11).

Рисунок 11. Проектирование и концептуализация облегченной решетчатой рамы БВС квадрокоптерного типа



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным Khan M. H. U. et al. Rapid Manufacturing of Lightweight Drone Frames Using Single-Tow Architected Composites, 2025 [38]

Технология 3DFiT обеспечивает высокую скорость изготовления компонентов БВС: производство рамы в автоматизированном режиме занимает около 10 минут. При этом достигается снижение массы конструкции на 10 % по сравнению с рамой коммерческого БПЛА DJI F450 при одновременном повышении ее прочностных характеристик [38].

Основным перспективным направлением использования технологии 3DFiT в сфере БАС является изготовление рамных конструкций малоразмерных мультироторных аппаратов, в том числе в рамках производства в полевых условиях. Так, компанией CarbonForm разработана компактная версия производственного процесса с использованием стекловолокна и УФ-отверждаемой смолы, позволяющая изготовить пригодный к полету БВС менее чем за 30 минут [38].

Дальнейшее развитие технологии связано с изготовлением более крупных конструкций, совершенствованием производственных процессов и расширением номенклатуры применяемых материалов. Технология 3DFiT не зависит от конкретного типа материалов и совместима с широким спектром непрерывных волокон и смол [39].

- **Технология высокоскоростного послойного наплавления термопластичных материалов (High-Speed Fused Filament Fabrication, HS-FFF).**

  Технология высокоскоростного послойного наплавления термопластичных материалов (High-Speed Fused Filament Fabrication, HS-FFF) представляет собой модификацию экструзионного аддитивного производства, в которой скорость подачи расплава увеличена с 50–100 мм/с до порядка 500 мм/с. Повышение производительности достигается за счёт применения высокопроизводительных экструдеров, термоблоков с увеличенной зоной плавления, выполненных из цельнометаллических конструкций, а также систем компенсации вибраций и динамических нагрузок. Данный подход позволяет преодолеть ключевое ограничение классической FFF-печати – низкую производительность, ограничивающую её применение в серийном производстве.

  Обработка абразивных композитных нитей (CF-PLA, CF-PETG, CF-полиамид) на высоких скоростях требует применения износостойких сопловых насадок из закаленной стали или технического рубина, а также высокоточных систем подачи материала [14].

  Для отрасли БАС технологии HS-FFF открывают возможности организации распределённого производства компонентов БВС на малых производственных участках, расположенных вблизи мест эксплуатации, включая районы с ограниченной транспортной доступностью. Наибольший интерес такие решения представляют для задач специального назначения и поисково-спасательных операций. Одним из пионеров внедрения высокоскоростной FFF-печати в малосерийное производство стала основанная в 2020 году китайская компания Bambu Lab, представившая в 2022 году установку аддитивного производства X1 Carbon [40]. В настоящее время данное направление развивается в рамках концепции распределенного производства компонентов БВС для решения задач специального назначения [41].

- **Технология аддитивно-субтрактивного производства (Hybrid Additive-Subtractive Manufacturing, HASM).**

  Одним из перспективных направлений развития производственных технологий является формирование аддитивно-субтрактивных производственных решений, объединяющих аддитивное изготовление изделий с последующей или интегрированной механической обработкой на станках с числовым программным управлением (ЧПУ).

  В работе [14] описана модель аддитивно-субтрактивного производства (Hybrid Additive-Subtractive Manufacturing, HASM), в рамках которой процесс послойного формирования материала с использованием композитных нитей интегрирован в единый технологический цикл с прецизионной фрезерной обработкой. Данный подход сочетает свободу формообразования, характерную для аддитивных технологий, с высокой точностью размеров и качеством поверхности, обеспечиваемыми механической обработкой.

  Аддитивно-субтрактивное производство позволяет устранить ряд ограничений, присущих технологиям послойного наплавления, включая высокую шероховатость поверхностей, недостаточную точность размеров изделий и сложности формирования функциональных поверхностей (отверстий, пазов и других элементов), необходимых для сопряжения с металлическими деталями и установки электронных компонентов. Согласно данным

исследований [42], применение гибридной схемы позволяет снизить шероховатость поверхности до 5 раз при сокращении трудоёмкости производственного цикла на 34% по сравнению с полностью аддитивными методами.

Интеграция высокоточной фрезерной обработки в процесс изготовления компонентов БВС аддитивными методами способствует повышению точности, механической прочности и функциональности изделий, включая кронштейны, узлы крепления двигателей и элементы рамных конструкций [42].

В рамках развития концепции аддитивно-субтрактивного производства для отрасли БАС представлены проекты роботизированных производственных ячеек, интегрирующих установки высокоскоростного послойного наплавления, системы автоматизированной укладки проводки и модули фрезерной обработки, параметры которых в режиме реального времени корректируются на основе данных встроенных датчиков [43].

Многофункциональные композиционные материалы

Функциональная интеграция электрических и сенсорных свойств материалов и конструкций

Одним из наиболее перспективных направлений развития композиционных материалов для БВС являются многофункциональные материалы, обеспечивающие интеграцию систем энергоснабжения, передачи данных и мониторинга технического состояния конструкции непосредственно в ее структуру. Реализация таких решений становится возможной благодаря применению аддитивных технологий и передовых методик цифрового проектирования [14].

Существенным преимуществом аддитивного производства компонентов БВС является возможность формирования сложных облегченных конструкций со встроенными кабельными каналами непосредственно в процессе изготовления. Интеграция кабельных трасс и модульных корпусов для размещения электропроводки способствует снижению уровня электромагнитных помех, влияющих на работу навигационных систем (ГНСС-модулей, компасов, высотомеров и барометров), а также систем связи и управления БВС [14]. Дополнительными преимуществами такого подхода являются сокращение общей длины кабельных линий и повышение надежности электропроводки в условиях вибрационных нагрузок.

В качестве материалов для подобных решений широко применяются высокоэффективные термопласты, включая нейлон и углепластики, обеспечивающие как высокую механическую прочность, так и электроизоляцию [14]. Для конструкций со встроенными кабельными каналами также представляют интерес материалы с низкими диэлектрическими потерями, в частности полилактид (PLA) и акрилонитрилбутадиенстирол (ABS) [14].

Еще одним направлением повышения функциональности компонентов БВС является интеграция в конструкцию датчиков, изготовленных с использованием аддитивных технологий. Подобные решения особенно востребованы в системах аэрофотосъемки, лазерного картографирования (LiDAR) и мониторинга окружающей среды.

Перспективным направлением также является формирование средствами аддитивного производства элементов пассивного теплоотвода, включая вентиляционные каналы и радиаторы. Такие

решения позволяют снизить влияние температуры конструкции на работу чувствительных приборов, в том числе инфракрасных камер и инерциальных измерительных модулей (Inertial measurement unit, IMU). Дополнительные возможности связаны с созданием адаптивных конструктивных элементов, включая регулируемые кронштейны для датчиков и специализированные системы крепления [14].

«Умные» композиты с встроенным мониторингом технического состояния (Structural Health Monitoring, SHM).

Композиционные материалы, в отличие от металлов, подвержены образованию так называемых едва видимых ударных повреждений (Barely Visible Impact Damage, BVID) – деламинациям, трещинам матрицы и разрушению волокон, которые не выявляются при визуальном осмотре. Данная особенность создает серьезные вызовы для аэрокосмической отрасли. Как отмечают исследователи Института полимеров и композитов Университета Минью (Португалия) и Европейского космического агентства, риск скрытых повреждений композитных конструкций нередко приводит к необходимости увеличения коэффициентов запаса прочности и усложнения конструкции изделий для выполнения строгих требований безопасности, что частично снижает преимущества композиционных материалов, связанные со снижением массы конструкций [44].

В рамках технологий мониторинга технического состояния (Structural Health Monitoring, SHM) применяются решения по интеграции датчиков непосредственно в конструкцию для непрерывного контроля деформаций, температуры и повреждений в режиме реального времени. В отличие от традиционных методов неразрушающего контроля (НК, NDE), выполняемых периодически в ходе регламентного обслуживания, системы SHM обеспечивают непрерывный мониторинг и создают предпосылки для перехода от планово-предупредительного обслуживания к обслуживанию по техническому состоянию (Condition-based maintenance, CBM).

По оценкам исследователей, применение технологий мониторинга технического состояния позволяет существенно сократить затраты на техническое обслуживание и контроль состояния конструкций. Так, согласно результатам европейского исследовательского проекта COST TU1402, реализованного в 2014–2019 годах с участием 29 стран, использование современных систем SHM способно обеспечить снижение эксплуатационных расходов до 90 % [45].

Для отрасли БАС значимость технологий SHM обусловлена конструктивными особенностями беспилотных систем и спецификой их эксплуатации. Малые габариты БВС затрудняют визуальный контроль труднодоступных элементов конструкции, а применение в удаленных районах усложняет проведение регулярных инспекций и обслуживание силами квалифицированного персонала. Существует необходимость мониторинга деформаций композитных крыльев и элементов планера в режиме реального времени.

В таблице 2 представлен обзор основных типов датчиков, применяемых в системах SHM авиационной и ракетно-космической техники.

Таблица 2. Сравнительные характеристики различных типов датчиков, используемых в решениях по мониторингу состояния конструкций (SHM) в авиационной и ракетно-космической отрасли

Тип датчиков	Преимущества решения	Недостатки решения	Метод сенсорного контроля	Выявляемые повреждения
Волоконно-оптические	Волоконно-оптические датчики невосприимчивы к электромагнитным помехам, отличаются малыми габаритами и массой, высокой чувствительностью, устойчивостью к электромагнитным помехам и возможностью распределенных измерений. Технология обеспечивает возможность развертывания распределенных сенсорных сетей и мониторинга крупногабаритных конструкций. Волоконно-оптические датчики могут интегрироваться в конструкции из различных типов композиционных материалов.	Относительно высокая стоимость волоконно-оптических датчиков, хрупкость и чувствительность к температуре делают процедуру интеграции в материал достаточно сложной.	Измеряются интенсивность, длина волны, изменения фазы или состояния поляризации.	Деформации, низкоскоростные ударные повреждения, процесса отверждения (полимеризации).
Пьезоэлектрические	Пьезоэлектрические датчики отличаются высокой механической прочностью, низкой стоимостью, и возможностью работы в широком диапазоне частот. Пьезоэлектрические системы SHM могут функционировать как в активном, так и в пассивном режимах. На рынке доступно значительное количество коммерческих решений с пьезоэлектрическими	Для реализации требуются протяженные кабельные каналы. Обработка и интерпретация получаемых сигналов требуют применения специализированных алгоритмов.	Электромеханический импеданс, акустические волны и волны Лэмба.	**При электромеханическом импедансе:** обеспечивается количественная оценка степени повреждения на основе статистических показателей. **При использовании волн Лэмба:** выявляются трещины, коррозия, расслоения, отверстия и надрезы и другие нарушения целостности конструкции. Метод отличается

Тип датчиков	Преимущества решения	Недостатки решения	Метод сенсорного контроля	Выявляемые повреждения
	датчиками.			чувствительностью к мелким дефектам, возможностью работы с большими площадями и локализации повреждения. **При использовании акустической эмиссии:** обнаруживаются повреждения матрицы, нарушения сцепления волокна и матрицы, расслоения и разрывы волокон. Осуществляется в пассивном режиме.
Пьезорезистивные	Пьезорезистивные датчики оказывают минимальное влияние на структуру материала при интеграции в конструкцию.	Применение метода ограничено диэлектрическими композиционными материалами, прежде всего стеклопластиками.	Изменение электрического сопротивления, акустическая эмиссия.	Обеспечивается раннее выявление повреждений и контроль их развития.

Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным Rocha H., Semprimoschnig C., Nunes J. P. Sensors for process and structural health monitoring of aerospace composites: A review // Engineering Structures, 2021 [44]

Технологии мониторинга технического состояния сталкиваются с рядом существенных ограничений независимо от того, используются ли уже апробированные решения на основе волоконно-оптических и пьезоэлектрических датчиков либо перспективные пьезорезистивные датчики, находящиеся на более ранних стадиях технологической зрелости.

Для использования систем SHM в качестве альтернативы традиционным методам неразрушающего контроля необходимы масштабные исследования вероятности обнаружения дефектов в реальных условиях эксплуатации воздушных судов. Кроме того, обеспечение мониторинга всей конструкции может потребовать увеличения количества датчиков и связанной с этим дополнительной массы, что противоречит требованиям по снижению веса летательных аппаратов. Существенным вызовом также является обработка больших объемов данных мониторинга, требующая совершенствования методов их анализа, в том числе с применением алгоритмов машинного обучения [46].

Самовосстанавливающиеся композиционные материалы.

Самовосстанавливающиеся композиционные материалы способны частично восстанавливать механические свойства после повреждения без внешнего вмешательства, компенсируя последствия механических воздействий и снижая развитие микротрещины, характерные для композиционных материалов. Использование таких материалов позволяет увеличить срок службы изделий и повысить эксплуатационную надежность конструкций [47].

Возможность самовосстановления полимерных материалов за счет внедрения в полимерную матрицу микрокапсулированного восстанавливающего агента и диспергированного катализатора была впервые продемонстрирована в 2001 году исследовательской группой Иллинойского университета [48].

Обсуждение перспектив применения самовосстанавливающихся композиционных материалов в сфере БВС получило развитие в 2014 году после представления британской компанией BAE Systems концепции перспективного БВС Survivor, предусматривающей, наряду с другими характеристиками, возможность самовосстановления отдельных элементов конструкции [49].

Для применения в авиационной и ракетно-космической технике рассматриваются три основных подхода к реализации механизмов самовосстановления:

- **Микрокапсульный подход.** Восстанавливающий агент (как правило, дициклопентадиен (DCPD)) и катализатор инкапсулируются в микрокапсулы микронного размера, которые внедряются в матрицу композиционного материала. При разрушении микрокапсул агент высвобождается, заполняет трещину и отверждается.
- **Сосудистый (vascular) подход.** В структуру композиционного материала интегрируется сеть полых волокон, заполненных восстанавливающим агентом. Преимуществом данного подхода является возможность многократного восстановления повреждений на значительной площади.
- **Внутренние (intrinsic) механизмы.** Восстановление свойств композиционного материала обеспечивается за счет протекания обратимых химических реакций в самом материале (например, реакции Дильса – Альдера и ряда других) [47].

В настоящее время самовосстанавливающиеся композиционные материалы находятся на ранних стадиях технологического развития, а коммерчески зрелые решения на их основе практически отсутствуют. Основными ограничениями их внедрения являются высокая стоимость производства, а также необходимость разработки нормативно-технической базы и процедур сертификации для их применения в авиационной и ракетно-космической технике [47].

Цифровые технологии для работы с композиционными материалами в сфере БВС

Анализ методом конечных элементов (FEA)

В разработке конструкций БВС с использованием композиционных материалов важную роль играет анализ методом конечных элементов (Finite Element Analysis, FEA). Данный метод применяется в авиастроении на протяжении нескольких десятилетий. Снижение стоимости вычислительных ресурсов и широкое распространение программных комплексов для цифрового моделирования

(ANSYS, ABAQUS, SolidWorks и др.) в 2010–2020-х годах [50] способствовали его активному внедрению в процессы разработки и производства малых и средних БВС, производителями которых зачастую являются небольшие предприятия.

Анализ методом конечных элементов наряду с физическими испытаниями играет ключевую роль в оптимизации характеристик компонентов БВС, изготовленных с применением аддитивных технологий и композиционных материалов на основе полимерных матриц, армированных углеродными волокнами [14].

Метод позволяет моделировать напряженно-деформированное состояние конструкций БВС, включая корпусные элементы и воздушные винты, на этапе проектирования до изготовления физических образцов. Использование математических моделей поведения материалов в различных условиях эксплуатации позволяет прогнозировать зоны концентрации напряжений и возможного разрушения, оптимизировать распределение массы конструкции и повышать ее механические характеристики [14].

Особое значение FEA имеет при разработке изделий из композиционных материалов благодаря возможности моделирования анизотропных свойств углепластиков и других армированных материалов. Применение метода способствует сокращению числа итераций при разработке и прототипировании изделий, снижая временные и финансовые затраты. Кроме того, анализ методом конечных элементов позволяет оценивать тепловые деформации и качество межслойного сцепления при FFF-печати, что имеет важное значение для обеспечения размерной стабильности критически важных элементов конструкции БВС.

Сочетание численного моделирования и натурных испытаний позволяет ускорить совершенствование конструкций БВС и повысить их механическую прочность и эксплуатационную эффективность [14]. Дополнительные возможности открывает интеграция FEA с системами мониторинга технического состояния, обеспечивающими получение данных о работе конструкции в режиме реального времени. Среди наиболее перспективных направлений дальнейшего развития рассматриваются создание цифровых двойников [51] и применение технологий искусственного интеллекта [14].

Искусственный интеллект и машинное обучение (в том числе в моделях пониженного порядка и суррогатных моделях)

Применение технологий искусственного интеллекта и нейронных сетей в задачах проектирования композиционных материалов началось в 1990-х годах вместе с появлением специализированных экспертных систем для выбора материалов и схем армирования ламинатов.

Массовое внедрение технологий искусственного интеллекта (далее – ИИ) и машинного обучения (далее – МО) произошло значительно позднее, в 2010–2020-х годах, вместе со стремительным развитием вычислительных мощностей и расширением объемов доступных инженерных данных. В настоящее время активно развивающиеся технологии ИИ на базе нейронных сетей рассматриваются как один из способов оптимизации работы инженеров-проектировщиков, который в сочетании с традиционными методами разработки, способен ускорить цикл проектирования при сохранении качества и соблюдении всех требуемых стандартов (рисунок 12).

Рисунок 12. Трудозатраты и стоимость внесения изменений на отдельных этапах жизненного цикла изделия[1]



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным Karali H., Inalhan G., Tsourdos A. Advanced UAV Design Optimization Through Deep Learning-Based Surrogate Models, T. 11, № 8. С. 669, 2024 [52]

Реализация технологий ИИ в сфере проектирования изделий осуществляется преимущественно в рамках направления создания моделей пониженного порядка (Reduced Order Models, ROM-моделей) [53]. ROM-модели, созданные с использованием нейронных сетей и обученные на относительно небольших выборках конечно-элементных расчетов, способны прогнозировать поведение материалов в сотни раз быстрее при сохранении точности в допустимых пределах. За счет этого становится возможным переход к многократной генерации вариантов компоновки вместо единичного создания точечных гипотез проектирования, что является исключительно важным на этапе концептуального (эскизного) проектирования, на котором использование метода конечных элементов может быть избыточным.

В условиях усиления глобальной конкуренции применение технологий ИИ при проектировании сложных промышленных изделий и оптимизации технологических и производственных процессов в сочетании с технологиями цифровых двойников рассматривается как один из ключевых факторов обеспечения технологического лидерства. В этой связи сотрудниками ПИШ СПбПУ «Цифровой инжиниринг» выполняются исследования по интеграции технологий ИИ в цифровую платформу разработки и применения цифровых двойников CML-Bench® по следующим направлениям [54]:

- CML-Bench®.AI-Assistant как инструмент оценки ключевых показателей эффективности для руководителей (количество расчетов, ресурсоемкость расчетов в ядро-часах, количество достигнутых целевых показателей - по пользователю, по проекту, по компании);
- CML-Bench®.AI-Assistant как инструмент создания отчетов на базе выполненных на платформе цифровых (виртуальных) испытаний, включая испытания на цифровых (виртуальных) испытательных стендах и полигонах;

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

- CML-Bench®.AI-Assistant как средство автоматизации процессов создания цифровых двойников, цифровых (виртуальных) испытательных стендов (ВИС) и полигонов (ВИП), декомпозиции и каскадирования верхнеуровневых требований, создания матрицы требований и целевых показателей, создания плана цифровых испытаний;
- параметрическая оптимизация на базе редуцированных моделей для ресурсоемких расчетов (CML-Bench®.OptiCore и CML-Bench®.RomAI);
- CML-Bench®. RomAI как средство повышения точности предиктивной аналитики для эксплуатируемого оборудования и др.

В рамках проекта по разработке семейства БПЛА «Снегирь» с вертикальным многороторным режимом взлета-посадки и горизонтальным самолетным режимом полета сотрудниками ПИШ СПбПУ «Цифровой инжиниринг» в подсистеме CML-Bench®.RomAI разработаны ROM-модели лопасти БВС и обтекания корпуса БВС [55]. Созданные решения упрощают работу инженеров на цифровой платформе и способствуют сокращению сроков разработки цифровых двойников изделий [54].

Ученые Университета науки и технологии штата Миссури изучены возможности применения нейронных сетей для прогнозирования максимальной взлетной массы, длины фюзеляжа, тяги силовой установки и удлинения крыла перспективных конфигураций пассажирских самолетов [56]. Для легких самолетов деловой авиации предложен подход к определению площади крыла и требуемой тяги силовой установки на основе методов нечеткой логики (fuzzy logic) и нейронных сетей [57]. В работе исследователей Военного университета Белграда, посвященной проектированию малых БВС, предложен метод оптимизации геометрии крыла с использованием аэродинамической модели, построенной на основе нейронной сети [58].

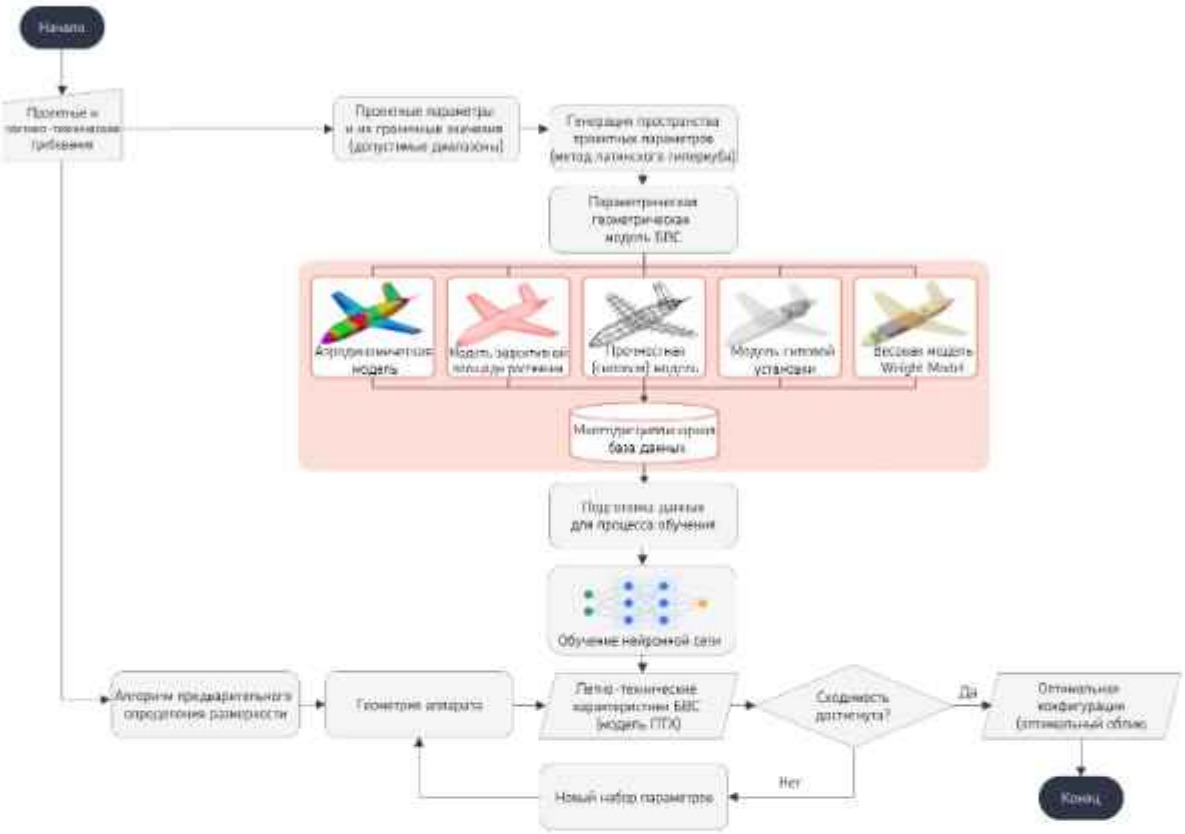
Авторами работы [52] разработана комплексная методология оптимизации проектирования БВС с применением нейронных сетей (рисунок 13). Подход позволяет сократить трудозатраты более чем на три порядка по сравнению с традиционными методами проектирования и обеспечивает создание комплексной оценки альтернативных вариантов проекта.

В настоящее время внедрение новых методов проектирования на основе ИИ/МО находится на раннем этапе своего развития. Так, по опросу компании McKinsey среди 176 участников Международной ассоциации сообщества инженерного моделирования, анализа и моделирования (NAFEMS), проведенном в 2023 году, 2/3 организаций уже используют методики ИИ/МО [59], но преимущественно находятся на этапе пилотных проектов (рисунок 14).

Помимо использования технологий ИИ в рамках работы с ROM-моделями, исследователями предлагаются концепции использования ИИ на различных этапах жизненного цикла изделий. В работе [60] показана значимость ИИ для интеграции разрозненных массивов данных испытаний и эксплуатации компонентов изделий из композиционных материалов. Интегрированные данные рассматриваются как основа цифрового двойника воздушного судна, позволяющего снизить потребность в многократном проведении дорогостоящих натурных испытаний.

Несмотря на очевидную перспективность современных технологий ИИ/МО, в научной среде продолжается дискуссия о применимости нейронных сетей, обученных на данных без строгой научной верификации. Отмечается их ограниченность использования в ряде инженерных задач из-за дефицита данных требуемого качества, а также высокой стоимости их обработки и хранения [61].

Рисунок 13. Методология проектирования БВС с использованием нейронных сетей



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным Karali H., Inalhan G., Tsourdos A. Advanced UAV Design Optimization Through Deep Learning-Based Surrogate Models, Т. 11, № 8. С. 669, 2024 [52]

Рисунок 14. Использование компаниями методов моделирования в зависимости от уровня технологической зрелости, % компаний



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным McKinsey [59]

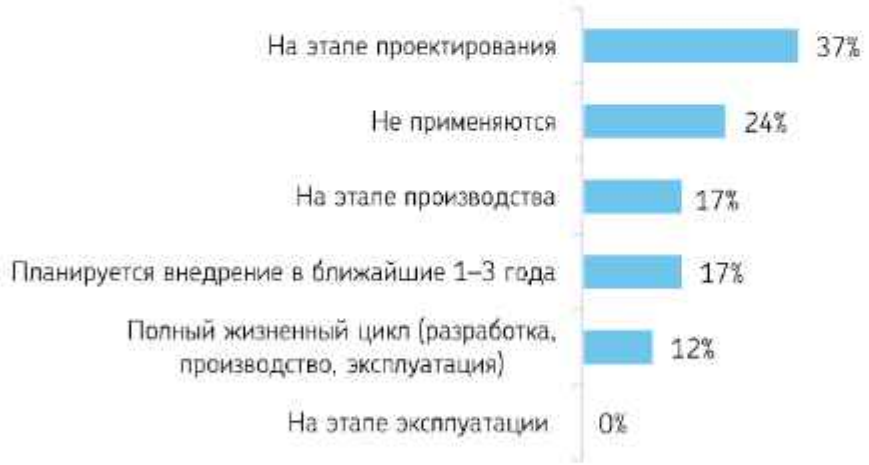
Цифровые двойники

Технологии разработки цифровых двойников находят широкое применение в сфере крупного гражданского и специального авиастроения, как в силу необходимости создания новых высокотехнологичных образцов техники, так и в силу существенной доли изношенного парка техники, повышающей риск возникновения аварийных ситуаций [62]. Цифровые двойники также рассматриваются как важный инструмент эффективной работы с дефектами композиционных материалов [63].

Другим важным фактором, усиливающим развитие технологий цифровых двойников в сфере БВС, является необходимость ускорения производства и лицензирования новых судов. Технологии цифровых двойников позволяют снизить себестоимость разработки и сократить время вывода продукции на рынок, а также проходить необходимые предварительные и сертификационные испытания с первого раза, что формирует подход, получивший название «цифровая сертификация» [64].

По результатам проведенного Инфраструктурным центром «Технет» опроса, отечественные компании применяют технологии цифровых двойников изделий (по ГОСТ Р 57700.37-2021) в жизненном цикле БАС и их компонентов чаще всего на этапе проектирования, при этом 17% опрошенных отметили, что планируют внедрение таких технологий в ближайшие 1-3 года. В рамках данного вопроса допускался множественный выбор ответов. Структура ответов представлена на рисунке 15.

Рисунок 15. Структура ответов о применении цифровых двойников изделий (по ГОСТ Р 57700.37-2021) в жизненном цикле БАС и их компонентов, %



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по результатам опроса, 2026

Стоит отметить, что национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 57700.37–2021 «Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения» разработан специалистами экосистемы технологического развития Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (Центра НТИ СПбПУ «Новые производственные технологии») совместно со специалистами ФГУП «Российский федеральный ядерный центр — Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики» (ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»). ГОСТ Р 57700.37–2021 введен в действие с 2022 года, а в ноябре 2023 года стандарт после детальной экспертизы официально включён в перечень взаимно признаваемых

стандартов в сфере авиастроения между Россией и Китайской Народной Республикой, что подтвердило высокий уровень значимости стандарта для развития технологии цифровых двойников не только в национальном, но и международном пространстве [67].

Практическая реализуемость указанных подходов подтверждается результатами их применения при разработке БВС. Так, специалистами Передовой инженерной школы СПбПУ «Цифровой инжиниринг» в 2025 году завершена разработка «Снегирь-2» – беспилотного летательного аппарата с улучшенными лётно-техническими характеристиками. При его проектировании активно использовались ROM-модели, построенные с помощью ИИ-функциональных возможностей цифровой платформы по разработке и применению цифровых двойников CML-Bench® (CML-Bench®.RomAI). В ходе реализации проекта проведено более 300 многовариантных цифровых (виртуальных) испытаний по аэродинамике, прочности и аэроупругости, что позволило оптимизировать компоновку, конструкцию и улучшить характеристики летательного аппарата, в первую очередь, аэродинамические и весовые характеристики [65].

Отдельный класс решений представлен разработками «структурных» цифровых двойников планера (airframe digital twin) БВС. Коллективом авторов из авиационных и оборонных университетов Китая, Польши и Италии предложена модель цифрового двойника планера, ориентированная на диагностику и прогнозирование структурных повреждений на основе мультифизического, многомасштабного и вероятностного моделирования [66]. В рамках исследования создан цифровой двойник легкого БВС, обеспечивающий контроль нагрузок, многоуровневый структурный анализ и вероятностное прогнозирование развития усталостных трещин в элементах конструкции. При разработке цифрового двойника применялись методы конечных элементов и ROM-моделирование.

Несмотря на значительный потенциал развития, применение цифровых двойников все еще не реализовано в полной мере в силу многочисленных организационных, научных и регуляторных проблем. Как отмечают авторы доклада «Фундаментальные пробелы в исследованиях и перспективные направления развития цифровых двойников», выпущенного американской национальной академией (академиями наук, инженерии и медицины) в 2024 году, в настоящее время отсутствие единого понятийного аппарата в различных областях наук затрудняет разграничение достоверных результатов и декларативных утверждений. Реализация потенциала технологий цифровых двойников, по мнению авторов доклада, требует системного подхода и формирования комплексной исследовательской программы. Такая программа предполагает решения как фундаментальных, так и прикладных задач, специфичных для отдельных областей применения цифровых двойников [68]. Существенным направлением остается также стандартизации в области цифровых двойников, в том числе в сфере авиастроения [69].

1.1.4. Практика применения композиционных и гибридных материалов в БВС и их компонентах зарубежного производства

Государственные стратегии ряда стран в последние годы ориентированы на наращивание объемов производства, развитие механизмов совместных закупок и стимулирование инновационной деятельности. В Европейском союзе (ЕС) реализуется ряд стратегий и инициатив, направленных на развитие на территории ЕС отрасли БАС и локализацию производства компонентов, включая изделия из композиционных материалов, а также на снижение зависимости от импорта. Основой для

развития отрасли до 2030 года является принятая в конце 2022 года **EU Drone Strategy 2.0 (Стратегия ЕС в области дронов 2.0)** [70,71]. Она направлена на создание единого рынка беспилотной авиации гражданского и специального назначения, стимулирование использования композиционных материалов для создания экологичных (Sustainable) и «умных» БВС. **Программа European Defence Industry Programme (EDIP)** [72], принятая в 2025 году, направлена на развитие производства БАС и их компонентов на территории ЕС и снижение зависимости от внешних поставщиков, в том числе Китая.

Также стоит отметить реализацию государственных программ по финансированию **исследований и разработок (R&D)**. Одна из крупнейших рамочных программ **Horizon Europe**, сроки реализации девятой рамочной программы с 2021 по 2027 годы, финансирует проекты по развитию передовых композиционных материалов. Так, **проект GENEX** [73] направлен на обеспечение устойчивого развития композитных конструкций для воздушных судов следующего поколения. В рамках проекта рассматривается внедрение технологий цифровых двойников и реализуется комплексный подход, охватывающий весь жизненный цикл композитных деталей – от проектирования, выбора материалов и производства до эксплуатации, технического обслуживания, ремонта и утилизации – в целях поддержки цифровой трансформации авиационной отрасли.

Государственно-частное партнерство **Clean Aviation Partnership** [74,75] Европейской комиссии и европейской авиационной промышленности также реализует ряд исследовательских и демонстрационных проектов в данной области. Так, в проекте **ECO-COMPASS** [76], китайские и европейские партнеры проводят исследования биоматериалов и переработанных углеродных волокон для применения в конструкциях воздушных судов с целью снижения экологического воздействия авиации.

Государственные программы ЕС направлены на расширение применения композиционных материалов в планерах и фюзеляжах воздушных судов, а также в лопастях несущих винтов и других конструктивных элементах. Особое внимание уделяется использованию армированных полимерных композитов (CFRP – углепластики, GFRP – стеклопластики), обеспечивающих высокую прочность при минимальной массе, а также развитию технологий аддитивного производства композиционных материалов для быстрого прототипирования и изготовления деталей сложной геометрии.

В США с 2025 года запущена программа «Unleashing American Drone Dominance», направленная на укрепление позиций страны в сфере БАС [77]. Согласно информации Федерального управления гражданской авиации (FAA), программа направлена на ускорение безопасной интеграции воздушных судов нового поколения в национальное воздушное пространство и обеспечение лидерства США в области инноваций в авиации. В 2026 году в рамках этой инициативы Правительством США и FAA завершен отбор проектов для проведения масштабного тестирования в рамках новой программы по развитию воздушной мобильности. Сообщается, что в рамках инициативы eIPP было одобрено восемь пилотных проектов, реализация которых позволит ряду американских производителей eVTOL начать ограниченные коммерческие полеты. В ряде отобранных проектов предусмотрено использование композиционных материалов, что соответствует общемировым тенденциям развития отрасли. В частности, разработка компании Elroy Air [78] представляет собой беспилотный летательный аппарат самолетного типа с вертикальными взлетом и посадкой, сочетающий характеристики самолета и планера. Аппарат выполнен из углеродного композита и оснащен гибридно-электрической силовой установкой на базе турбины, обеспечивающей выполнение дальних полетов.

Среди мировых производителей использование композиционных материалов в настоящее время наиболее широко распространено для БВС специального назначения тяжелого класса. Активное применение также постепенно развивается в сфере более легких, средних и малых БВС. Использование композиционных материалов в наиболее высокотехнологичных американских БВС специального назначения MQ-1B Predator, MQ-1C Gray Eagle, MQ-9A Reaper и RQ-4 Global Hawk, турецких Bayraktar TB2, Bayraktar Mini UAV и ANKA и французских БПЛА DT26X, Patroller и VSR700 подробно рассмотрено в отчете 2025 года «Обзор цифровых технологий обеспечения эксплуатации композитных и гибридных конструкций БВС» Инфраструктурного центра «Технет» [9].

В таблице 3 приведен обзор БВС производства западных стран и стран НАТО (в составе США, Франции, Германии, Чехии, Польши, Швеции, Турции и Австралии), в которых, согласно данным производителей, отмечается использование композиционных материалов.

Таблица 3. Применение композиционных и гибридных материалов в БВС их компонентах производства западных стран и стран НАТО

БВС	Разработчик	Год первого полета	Описание и назначение	Использование композиционных материалов
БВС американского производства				
Skydweller	Skydweller Aero	2021	Высотный БПЛА-псевдоспутник, работающий на солнечной энергии, способный находиться в воздухе до 90 дней.	Фюзеляж и крылья (размах более 70 метров) полностью изготовлены из углепластика [79].
Ghost 4	Anduril Industries	2020	Компактный разведывательный электрический БПЛА вертолетного типа, отличающийся тихой работой, высокой устойчивостью к влаге и пыли и возможностью переноски в рюкзаке военнослужащего.	При изготовлении использовались углепластики и передовые металлические сплавы [80].
Chaparral	Elroy Air / Kratos Defense & Security Solutions	2019	Грузовой БПЛА вертикального взлета и посадки с электрическим двигателем, созданный для задач	При изготовлении пропеллеров и корпуса использовались углепластики [81].

БВС	Разработчик	Год первого полета	Описание и назначение	Использование композиционных материалов
			обеспечения автономной логистики.	
MQ-25 Stingray	Boeing	2019	Первый в мире БПЛА палубного базирования, предназначенный для дозаправки.	Композиционные материалы используются в обшивке крыла и выхлопной системе [82,83].
MQ-9B SkyGuardian	General Atomics	2016	Глубоко модернизированная версия Reaper, сертифицированная для полетов в общем воздушном пространстве НАТО, с увеличенным размахом крыла (24 м), более совершенной системой антиобледенения.	Упоминается использование композиционных материалов [84].
MQ-8C Fire Scout	Northrop Grumman	2013	БПЛА вертолетного типа, созданный на основе пилотируемого вертолета Bell 407 для обеспечения задач разведки и целеуказания.	Исходный вертолет Bell 407, на основе которого был создан БПЛА, был одним из первых коммерческих вертолетов, в котором активно использовались преимущества композиционных материалов (при создании винта, дверей, боковых панелей и обшивке задней части фюзеляжа) [85].
MQM-178 Firejet	Kratos Defense & Security Solutions	2011	БПЛА – воздушная мишень катапультного	В конструкции используются преимущественно

БВС	Разработчик	Год первого полета	Описание и назначение	Использование композиционных материалов
			запуска с реактивной тягой, используемая для имитации широкого спектра воздушных угроз.	углепластики [86].
T-20	AeroVironment (изначально Arcturus-UAV)	2009	Тактический разведывательный БВС среднего радиуса действия.	В конструкции используются преимущественно композиционные материалы на основе углеволокна [87].
RQ-12 Wasp AE	AeroVironment	2007	Всепогодный микро-БПЛА для осуществления скрытной разведки, способный осуществлять посадку на воду.	Упоминается использование композиционных материалов в конструкции [88].
BQM-167A Skeeter	Kratos Defense & Security Solutions	2004	Воздушная мишень, используемая для тренировки пилотов ВВС и расчетов ПВО.	В конструкции используются преимущественно углепластики [89].
ScanEagle	Insitu (дочерняя компания Boeing)	2002	Малый разведывательный БПЛА катапультного запуска с большой продолжительностью полета.	Интегрированные топливные баки практически полностью изготовлены из углепластика [90].
A160 Hummingbird	Frontier Systems (поглощена Boeing)	2002 (прототип) / 2004 (как Boeing)	БПЛА вертолетного типа с несущим винтом с переменной скоростью.	Пропеллеры и фюзеляж изготавливаются практически полностью из углепластиков, что позволяет снизить вес конструкции и уменьшить радиолокационную заметность [91].

БВС	Разработчик	Год первого полета	Описание и назначение	Использование композиционных материалов
RQ-14 Dragon Eye	AeroVironment	2001	Малый разведывательный двухвинтовый БВС, принятый на вооружение Корпусом морской пехоты США.	В конструкции используются арамидопластики (кевлар) [92].
RQ-7 Shadow 200	Textron Systems	1999	Тактический армейский разведывательный БПЛА катапультного запуска.	В источниках упоминается использование композиционных материалов [93].
RQ-2 Pioneer	AAI Corp (США) / IAI (Израиль)	1986	Один из первых БВС тактической разведки, поставленный на вооружение американских ВМС в 1980е.	В конструкции планера используется комбинация углеродного волокна, стекловолокна и арамидных волокон в сочетании с алюминием и древесиной.
БВС производства Франции				
ANAFI USA	Parrot	2020	Складной малый БВС, созданный для американских силовых структур.	Корпус состоит преимущественно из углепластиков (полиамид армированный углеволокном) [94].
Hercules 20	Drone Volt	2018	Тяжелый БВС мультикоптер, разработанный для промышленного применения в области энергетики (монтаж линий электропередач, осмотр конструкций, очистка поверхностей).	В конструкции корпуса используется углепластик [95].

БВС	Разработчик	Год первого полета	Описание и назначение	Использование композиционных материалов
Spy'Ranger 330	Thales Group	2016	Легкий тактический БПЛА малого размера, предназначенный для задач разведки и охраны периметра.	Упоминается использование композиционных материалов без уточнения по типу [96].
БВС производства Германии				
Wingcopter 198	Wingcopter	2021	Электрический БВС с возможностью вертикального взлета (VTOL) для перевозки небольших грузов.	При изготовлении используются углепластики и стеклопластики [97].
LUNA NG (HUSAR)	Rheinmetall	2019	Малый разведывательный БПЛА с большой продолжительностью полета.	Фюзеляж изготовлен из композиционных материалов на основе углепластиков [98].
БВС производства Чехии и Польши				
SuperHornet	Robodrone Industries	2018	Малый складной БПЛА мультикоптерного типа для применения вооруженными силами и правоохранительными органами.	Упоминается использование композиционных материалов [99].
One 150	Primoco UAV SE	2015	Разведывательный БПЛА самолетного типа (фиксированное крыло) способный переносить модульную полезную нагрузку.	Корпус изготовлен из композиционных материалов (на основе стекловолокна и углеволокна) [100,101].
FlyEye	WB Group	2010	Малый разведывательный БПЛА, запускаемый с руки.	В конструкции используются композиционные материалы [102].

БВС	Разработчик	Год первого полета	Описание и назначение	Использование композиционных материалов
БВС производства Швеции				
Skeldar V-150 (Группа 2 VTOL)	UMS SKELDAR	2020	Компактный разведывательный БПЛА вертолетного типа с легкозаменяемым модульным двигателем [103].	Упоминается использование композиционных деталей для производства хвоста, корпуса и элементов винта [104].
WARA-S (Группа 2 Mini)	Odin	2018	БПЛА самолетного типа для задач аэроразведки и мониторинга.	Упоминается использование специально разработанных композиционных материалов [105].
Skeldar V-200 (Группа 2 VTOL)	UMS SKELDAR (Saab – UMS AERO GROUP)	2006	БПЛА вертолетного типа с двигателем внутреннего сгорания, предназначенный для разведки на суше и на море.	Упоминается использование композиционных материалов для производства корпуса [106]. Для создания посадочных опор используется углепластик [107].
БВС производства Турции				
Bayraktar Kızılelma	Baykar	2022	Малозаметный («стелс») ударный БПЛА с реактивным двигателем.	Упоминается использование углепластиков и арамидопластиков [108]. Использование композиционных материалов позволяет снизить радиолокационную заметность БПЛА.
Vestel Karayel	Lentatek	2009	Тактический разведывательно-ударный БПЛА.	Упоминается использование композиционных материалов [109].

БВС	Разработчик	Год первого полета	Описание и назначение	Использование композиционных материалов
БВС производства Австралии				
AMSL Aero Vertiia	AMSL Aero	2024	Электрический БПЛА (eVTOL), предназначенный для грузовых и пассажирских перевозок.	Упоминается использование углепластиков [110].
Boeing MQ-28 Ghost Bat	Boeing Australia	2021	БПЛА самолетного типа специального назначения	Упоминается использование композиционных материалов [111]. Также отмечается, что крыло БПЛА изготавливается как единый цельный элемент с применением технологий, характерных для производства композиционных материалов. Сообщается об использовании оборудования для изготовления углепластиков [112].
SAI Dynamics Bremer BMR4-80	SAI Dynamics	2023	Тяжелый БВС-октокоптер для мониторинга и доставки грузов в труднодоступную местность.	Рама изготовлена из углепластика [113].
Carbonix Domani	Carbonix	2021	Разведывательный VTOL БПЛА самолетного типа (с неподвижным крылом), предназначенный для дальних разведывательных миссий.	Большая часть корпуса (95%) выполнена из углепластика [114].

БВС	Разработчик	Год первого полета	Описание и назначение	Использование композиционных материалов
Carbonix Volanti	Carbonix	2017	Разведывательный VTOL БПЛА самолетного типа (с неподвижным крылом).	Большая часть корпуса (95%) выполнена из углепластика [114].
Insitu ScanEagle	Insitu Pacific	2002	Разведывательный БПЛА самолетного типа (с неподвижным крылом).	В конструкции используются стеклопластики и углепластик [115].
Textron Aerosonde	Textron Systems Australia	1996	Разведывательный БПЛА самолетного типа (с неподвижным крылом).	В конструкции используются арамидопластики [116].

Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным открытых источников, 2026

Так показывает анализ, в проектах, реализуемых в США, наблюдается наиболее широкая номенклатура применяемых конструкционных материалов: от арамидопластиков (RQ-11 Raven, RQ-14 Dragon Eye) до боропластиков в силовых элементах и углепластиков в планере (T-20, BQM-167A Skeeter, ScanEagle, Ghost 4). Это отражает высокий уровень развития применяемых конструкционных материалов и зрелость подходов к их выбору и использованию в разработках.

Во Франции фиксируется устойчивое применение углепластиков в массовых коммерческих платформах (Parrot), что указывает на развитость гражданского сегмента. Одновременно подтверждается использование углепластиков в промышленных БВС тяжелого класса (Hercules 20). В Германии углепластики рассматриваются как базовый конструкционный материал для разведывательных БВС большой продолжительности полета, ориентированных на снижение массы и повышение энергоэффективности.

Проекты чешских и польских производителей в целом указывают на использование композиционных материалов, однако без детализации их типов и конструктивных применений, что ограничивает возможности технологической классификации и сопоставления решений. В шведских разработках отмечается применение специализированных композиционных материалов (Odin), что может указывать на ориентацию на узкоспециализированные высокоэффективные составы, адаптированные под заданные эксплуатационные режимы.

В Турции зафиксировано применение композиционных материалов как в тактических, так и в ударных БВС, включая реактивную платформу Kizilelma и тактический разведывательно-ударный комплекс Vestel Karayel. Это свидетельствует о формировании устойчивых компетенций в области проектирования и промышленного освоения композитных конструкций в сегменте высоконагруженных беспилотных систем.

Австралийские производители демонстрируют наивысшую долю углепластиков в конструкции планера среди рассмотренных стран. БВС Carbonix Volanti и Carbonix Domani выполнены из углепластиков примерно на 95%, что является одним из максимальных показателей для серийных и околосерийных решений. Характерной особенностью австралийских разработок является широкое применение композиционных материалов во всех сегментах – от коммерческих eVTOL (AMSL Aero Vertiia) до разведывательных платформ самолетного типа (Carbonix Domani), БВС специального назначения (MQ-28 Ghost Bat) и систем охраны берегового периметра (Aerosonde).

В целом, по результатам проведенного анализа можно заключить, что углепластики являются наиболее широко применяемым конструкционным материалом в зарубежных БВС. Они используются в фюзеляже, крыльях, несущих элементах, шасси, пропеллерах и других конструктивных узлах у подавляющего большинства рассмотренных образцов — от малых до тяжелых беспилотных систем, что подтверждает экспертные оценки, согласно которым на углепластики приходится около 50% рынка композиционных материалов для БВС.

При этом для малых и средних БВС характерно широкое распространение гибридных конструкций с комбинацией нескольких типов материалов. Характерным примером является RQ-2 Pioneer, в конструкции которого используются углепластики, стеклопластики, арамидные волокна, алюминиевые сплавы и древесные элементы, что отражает подход к балансировке стоимости, массы и эксплуатационных характеристик.

В страновом разрезе наиболее высокую долю углепластиков в конструкции планера демонстрируют Австралия (Carbonix, SAI Dynamics, AMSL Aero) и США. Страны «второго эшелона» (Чехия, Польша, Германия) применяют композиционные материалы преимущественно в легких тактических БВС, где ключевыми требованиями выступают снижение массы и обеспечение базовой прочности конструкций.

1.1.5. Практика применения композиционных и гибридных материалов в БВС их компонентах российского производства

В Российской Федерации реализуется комплекс мер, направленных достижение технологического суверенитета и лидерства отрасли БАС. Указанные инициативы ориентированы на создание новых рыночных сегментов, организацию серийного производства отечественных БВС, а также их интеграцию в единое воздушное пространство страны. Ключевым инструментом государственной политики в данной сфере выступает национальный проект технологического лидерства «Беспилотные авиационные системы», в рамках которого реализуются федеральные проекты:

- Инфраструктура, безопасность и сертификация.
- Перспективные технологии для БАС.
- Кадры для БАС.
- Стимулирование спроса на отечественные БАС.
- Разработка, стандартизация и серийное производство БАС и комплектующих.

В рамках реализации национального проекта предусмотрены меры государственной поддержки, включая финансирование научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, а также развитие производственной и технологической базы отрасли.

Отдельное направление связано с совершенствованием нормативно-правового регулирования и расширением экспериментальных правовых режимов. Постановлением Правительства Российской Федерации от 22 мая 2026 года № 587 до 26 сентября 2029 года продлен срок действия экспериментального правового режима в сфере цифровых инноваций по эксплуатации сельскохозяйственных беспилотных авиационных систем, установленного Постановлением Правительства Российской Федерации от 16 сентября 2023 г. № 1510 [117]. Данный механизм обеспечивает апробацию технологий в упрощенных регуляторных условиях и ускоряет их внедрение в практику.

Стратегические ориентиры развития отрасли закреплены в Стратегии развития беспилотной авиации Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2035 года (Распоряжение Правительства Российской Федерации от 21 июня 2023 г. № 1630-р) [6]. Документ определяет цели технологического, научного, кадрового и производственного развития отрасли, а также предусматривает формирование комплексного рынка отечественных решений – от БАС и их компонентов до программного обеспечения и сопутствующих услуг. Согласно целевым показателям, к 2030 году доля отечественных БАС на внутреннем рынке должна достигнуть 70,3%, а в сегменте государственного заказа – 80%. Уровень технологической независимости отрасли оценивается на уровне 81,1% [118].

В рамках реализации обозначенных стратегических ориентиров отдельное значение приобретает развитие композиционных материалов как одного из технологических приоритетов национального проекта. Реализуемые меры включают поддержку НИОКР, стимулирование производства отечественных полимеров и развитие производственной инфраструктуры, что направлено на снижение массы конструкций БВС и повышение их эксплуатационных характеристик.

Применение современных полимерных композиционных материалов (ПКМ), обеспечивающих одновременно низкую массу и высокую прочность, является одним из ключевых факторов развития отечественного авиастроения [119]. По оценкам специалистов Всероссийского научно-исследовательского института авиационных материалов (ВИАМ), данный класс материалов оказывает системообразующее влияние на развитие как авиационной техники специального назначения, так и гражданского сегмента промышленности. Дополнительным подтверждением значимости ПКМ служат результаты опроса Инфраструктурного центра «Технет», где отмечена их востребованность отечественными организациями при разработке и производстве БВС и их компонентов (рисунок 16). В рамках данного вопроса допускался множественный выбор ответов.

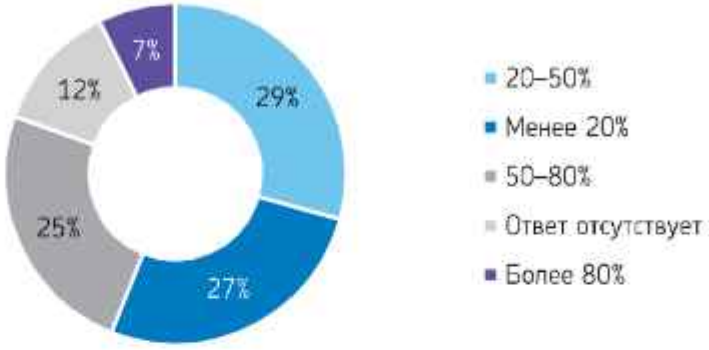
Рисунок 16. Структура ответов об используемых материалах при разработке и производстве БВС и их компонентов, %



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по результатам опроса, 2026

При этом доля композиционных материалов в общей конструкции БВС, по оценкам респондентов, составляет от 20% до 80%. Соответствующее распределение оценок приведено на рисунке 17.

Рисунок 17. Структура ответов о доле композиционных материалов в общей конструкции БВС, %

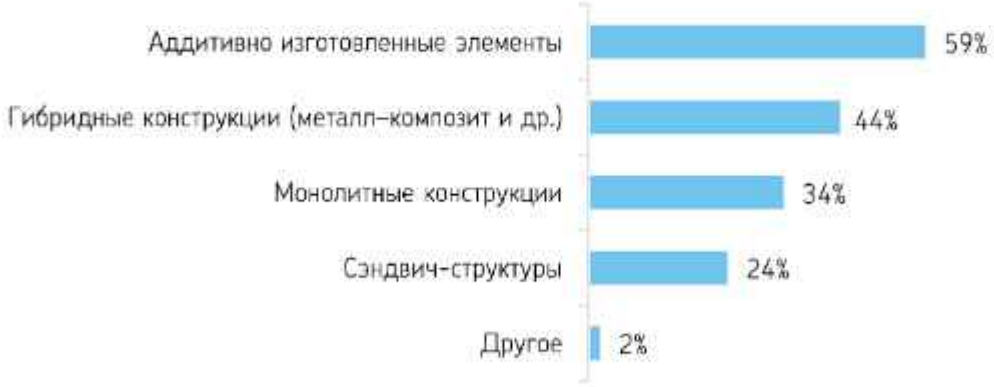


Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по результатам опроса, 2026

По оценкам консалтинговой компании NeoAnalytics, абсолютное большинство используемых ПКМ в Российской Федерации приходится на стекловолокно [120]. Согласно данным Композитного дивизиона Госкорпорации «Росатом», в структуре российского рынка композиционных материалов в стоимостном выражении на стекловолокно и изделия из него приходится около 59%, на углепластики – около 30%, на прочие виды полимерных композиционных материалов – около 11% [121].

Конструкционные решения, применяемые в элементах БВС, включают аддитивно изготовленные элементы, гибридные конструкции (в том числе металл–композит), а также монолитные конструкции (рисунок 18). В рамках категории ответа «Другое» отмечается применение нанотехнологий. В рамках данного вопроса допускался множественный выбор ответов.

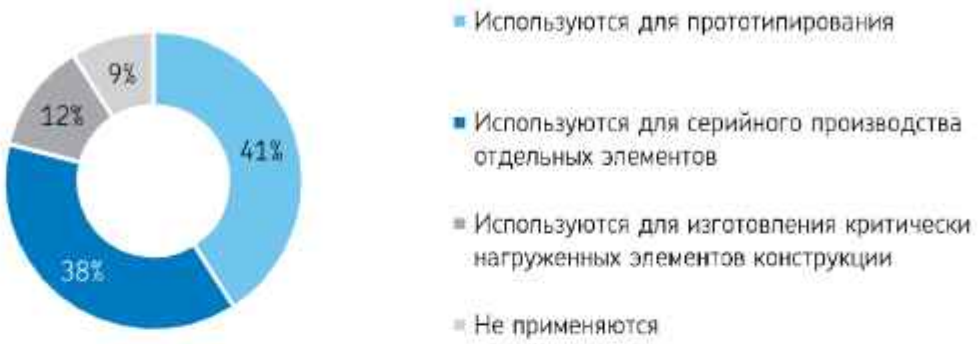
Рисунок 18. Структура ответов о конструкционных решениях, применяемых в элементах БВС, %



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по результатам опроса, 2026

При этом, 41% респондентов отмечает использование аддитивных технологий для прототипирования и для серийного производства отдельных элементов, 38% – для серийного производства отдельных элементов (рисунок 19).

Рисунок 19. Структура ответов об уровне применения аддитивных технологий при разработке и производстве БВС и их компонентов, %



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по результатам опроса, 2026

Респонденты отмечают, что композиционные и гибридные материалы, обеспечивающие сочетание низкой массы и высокой прочности конструкции, наиболее часто применяются при изготовлении рам БВС. В качестве основных материалов выделяются углепластик, стеклопластик, а также гибридные решения, сочетающие ПКМ с металлическими элементами. Основной целью их применения является снижение массы конструкции, что обеспечивает увеличение продолжительности полета, рост полезной нагрузки и снижение энергопотребления БВС. Дополнительно применение указанных материалов повышает жесткость конструкции и устойчивость к эксплуатационным нагрузкам, включая вибрации, маневрирование, а также нагрузки при взлете и посадке. Наиболее широкое применение данные материалы находят в конструкциях БВС мультироторного типа, где требуется интеграция силовых элементов с размещением двигателей, аккумуляторных батарей и целевой нагрузки при минимальной массе конструкции.

При изготовлении лучей, опорных элементов (ножек) и центральных несущих конструкций БВС мультироторного типа часто используются углепластиковые элементы в виде круглых и квадратных труб, а также фрезерованных листовых заготовок. В качестве несущих конструктивных элементов также применяются гибридные решения на основе сочетания стеклопластика и углепластика. Выбор углепластика обусловлен его высокой удельной жесткостью и низкой массой, при этом его электропроводность ограничивает применение в радиопрозрачных элементах конструкции. В связи с этим капотирующие элементы и обтекатели, как правило, выполняются из стеклопластика. Для БВС самолетного типа характерно более широкое применение стеклопластиковых конструкций. В качестве крепежных и вспомогательных элементов используются изделия, изготовленные методом аддитивного производства, включая полимерные материалы, армированные углеродными и стеклянными волокнами. Степень применения композиционных и гибридных материалов определяется классом и размерностью БВС. Респондентами также отмечается преимущественное использование импортозамещающих материалов.

Респонденты выделили элементы конструкции БВС, в которых применяются композиционные и гибридные материалы, следующим образом:

- Фюзеляж изготавливается из углепластика (CFRP), стеклопластика (GFRP) и кевлара для снижения массы на 20–30% для обеспечения стелс-свойств и формирования интегральных конструкций; крылья и корпус выполняются с применением стекловолокна и полимерных композиционных материалов, сэндвич-панелей с сотами Nomex, обеспечивающих повышение прочности и эксплуатационной надежности конструкции. Также применение композиционных материалов повышает жесткость и прочность, коррозионную стойкость корпуса. Часто используются композиционные материалы для печати элементов конструкции на 3D-принтере для ускорения производства прототипов и проведения их испытаний. За счет изготовления стабилизаторов из композитных и гибридных материалов тоже повышается устойчивость к механическим нагрузкам.
- Электронные системы и датчики выполняются с применением композиционных и гибридных материалов, обеспечивающих защиту оборудования от влаги, ударных воздействий и вибраций; топливные системы и аккумуляторные отсеки – для снижения массы конструкции, обеспечение герметичности и повышение пожаробезопасности.
- Несущая рама (силовой каркас), на которую устанавливаются (крепятся) остальные составляющие, изготавливаются из карбона, обеспечивающего высокое отношение жесткости к массе конструкции и восприятие основных эксплуатационных нагрузок.
- Лонжероны – углепластиковые трубы с пенопластовым заполнителем, обеспечивающие высокий модуль упругости (до 170 ГПа против 70 ГПа у алюминия) и снижение массы силовых элементов конструкции.
- Оперение изготавливается из углепластика на эпоксидной основе, что обеспечивает снижение массы хвостовой части на 10–15% и повышение вибростойкости конструкции.
- Лопасти винтов изготавливаются из стеклопластика и кевларовых волокон с многослойной укладкой (0°/90°, ±45°), обеспечивающей усталостную прочность и ударостойкость; для пропеллеров также применяются полимерные и углепластиковые материалы, направленные на снижение массы вращающихся элементов.
- Шасси выполняется из углепластика с укладкой ±45°, обеспечивающей поглощение ударных нагрузок при посадке и коррозионную стойкость конструкции.
- Обтекатели антенн изготавливаются из стеклопластика, обеспечивающего радиопрозрачность и электромагнитную совместимость. Антенны и радиопрозрачные окна выполняются из композиционных и гибридных материалов, обеспечивающих сохранение целостности сигнала при снижении массы конструкции.
- Кожухи, защитные панели, крепежные и переходные узлы, универсальные крепления целевой нагрузки и элементы системы виброразвязки изготавливаются с применением композиционных и гибридных материалов. Для посадочных опор, защитных элементов, лучей и рулевых поверхностей применяются угле/стекловолокно/препрег/ровинг с целю снижение массы и увеличения прочностных и летных характеристик.

В отчете 2025 года «Обзор цифровых технологий обеспечения эксплуатации композитных и гибридных конструкций БВС» Инфраструктурного центра «Технет» [9] описаны практические примеры применения композиционных материалов в составе российских БВС – Альтиус, Орион, Орлан-10 и Геоскан 201, Геоскан 401 и Геоскан Gemini. В таблице 4 приведены примеры других российских БВС, при производстве которых также использованы композиционные материалы.

Таблица 4. Применение композиционных и гибридных материалов в БВС их компонентах российского производства

Организации / наименование	Модель БВС	Описание БВС	Применение композиционных материалов
ООО «АВАКС-ГеоСервис»	Mini-Sigma [122]	БПЛА самолетного типа с возможностью вертикального взлета (VTOL) для геодезических задач и мониторинга.	Планер изготовлен из углепластика [122].
Группа компаний «Беспилотные системы»	Supercam X6M2 [123]	БПЛА-мультикоптер для задач мониторинга.	В конструкции используется углепластик [123].
	Supercam X4 [124]	БПЛА-мультикоптер для задач мониторинга.	При изготовлении рамы квадрокоптера используется углепластик [124].
	Supercam S350 [125]	БПЛА самолетного типа для задач мониторинга, геодезии и разведки.	Упоминание использование композиционных материалов, в том числе углепластиков, при изготовлении БВС [125].
	Supercam S1000f [126]	Компактный БПЛА самолетного типа для задач мониторинга.	Упоминание использование многослойных композиционных материалов, позволяющих увеличить прочность и продлить срок эксплуатации БПЛА [127].
Группа компаний Zala Aero Group	ZALA T-22	БПЛА мультикоптерного типа для задач мониторинга.	Упоминание использование композиционных материалов [128].

Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным открытых источников, 2026

Как показывает анализ, с точки зрения практического применения композиционные материалы активно интегрируются российскими производителями в современные БВС различных типов, включая летательные аппараты самолетного типа, мультикоптеры и VTOL). В качестве характерных примеров использования углепластиков и многослойных композиционных материалов можно выделить БВС серий Supercam и Mini-Sigma, а также разработки группы компаний Zala Aero Group.

1.2. Текущее состояние рынка и ключевые события отрасли в мире

1.2.1. Структура и динамика развития мирового рынка БВС по состоянию на конец 2025 – начало 2026 года

По состоянию на конец 2025 года международные консалтинговые организации и аналитические агентства оценивают объем мирового рынка БВС преимущественно в диапазоне от 26,1 до 44,5 млрд долл. (таблица 5).

Таблица 5. Оценки и прогнозы объема мирового рынка БВС в 2024–2030 гг.

Организация	Год публикации отчета	Объем рынка, млрд долл.				CAGR	Прогнозный период
		Оценка		Прогноз			
		2024	2025	2029	2030		
Drone Industry Insights [129,130]	2025	38,2	40,6	54,1	57,8	7,3%	2025–2030
BCC Research [131,132]	2024	–	–	61,2	–	12,6%	2024–2029
Precedence Research [133,134]	2026	37,2	44,5	86,9	102,8	16,8%	2026–2035
Markets and Markets [135]	2025	25,0	26,1	–	40,6	9,2%	2025–2030
Market.us Scoop [136]	2025	36,4	40,1	58,9	64,9	10,1%	2025–2034
Fortune Business Insights [137]	2026	31,7	41,3	–	91,2	16,4%	2026–2034
Market Research Future [138]	2025	28,8	33	–	–	14,9%	2025–2035
The Business Research Company [139]	2026	39,5	39,2	–	74,6	13,5%	2025–2029

Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным открытых источников, 2026

Стоит отметить, что оценки объема и темпов роста рынка БВС, публикуемые различными консалтинговыми организациями и аналитическими агентствами, существенно различаются вследствие различий в определении границ рынка, состава учитываемых сегментов и применяемых методик расчета. В зависимости от подхода в состав рынка могут включаться либо исключаться отдельные сегменты, включая гражданские БВС и БВС специального назначения, программное обеспечение, услуги, элементы наземной инфраструктуры и сопутствующие сервисы. По этой причине в докладе представлены данные нескольких источников, позволяющие охарактеризовать диапазон существующих рыночных оценок и прогнозов, а также продемонстрировать различия в границах рынка, используемых аналитическими организациями.

Представители отмеченных организаций сохраняют оптимистичные оценки перспективной динамики рассматриваемого рынка (за исключением специалистов BCC Research [131,132], которые по состоянию на конец 2025 года не актуализировали данные). При этом оценки международной консалтинговой организации Drone Industry Insights (Dronell), специализирующейся на анализе рынка коммерческих беспилотных летательных аппаратов, были скорректированы в сторону повышения: если по состоянию на конец 2024 года прогнозировался рост рынка до 51,1 млрд долл. к 2029 году и до 54,6 млрд долл. к 2030 году, то актуализированные оценки составляют 54,1 и 57,8 млрд долл. соответственно. В то же время консалтинговые организации широкого профиля по-прежнему ожидают более интенсивную динамику роста рынка в горизонте до 2030 года.

Актуализированная фактическая и прогнозная динамика мирового рынка БВС в 2024–2030 годах по оценкам Drone Industry Insights представлена на рисунке 20.

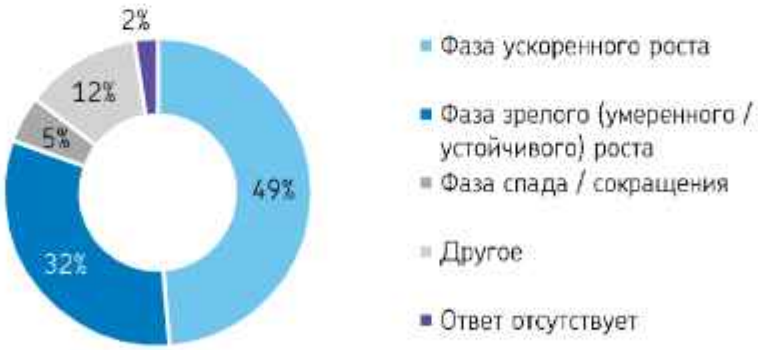
Рисунок 20. Объем мирового рынка БВС в 2024–2030 гг., млрд долл.; CAGR в 2025–2030 гг., % (Droneii)



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным Droneii [129,130], 2026

По результатам проведенного Инфраструктурным центром «Технет» опроса, текущее состояние развития отрасли БАС в мире оценивается российскими участниками как фаза ускоренного роста. Распределение полученных ответов представлено на рисунке 21. Категория ответа «Другое» включает оценки респондентов, указывающих на ускоренный рост рынка в странах-лидерах – Китай, США, Индия и Российская Федерация. Кроме того, респонденты отмечают сегментированный характер мирового рынка: фаза ускоренного роста, по их оценкам, характерна преимущественно для сегмента специального назначения, тогда как в гражданском сегменте наблюдается умеренная или устойчивая динамика развития.

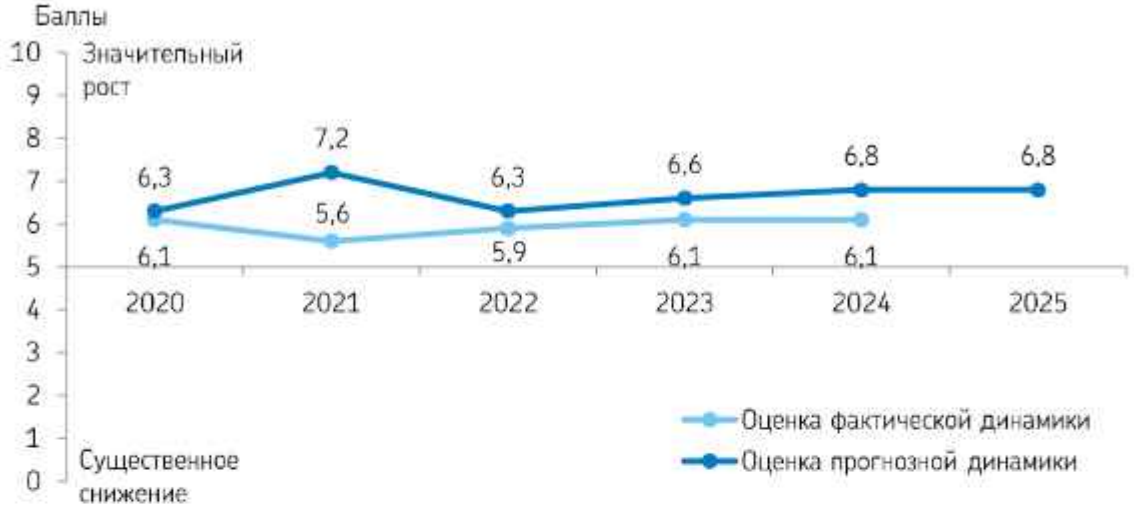
Рисунок 21. Структура ответов о текущем состоянии мирового рынка БАС, %



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по результатам опроса, 2026

Согласно результатам ежегодного опроса Droneii [140,141], по состоянию на конец 2025 года, в течениеследующих 12 месяцев ожидается умеренный рост рынка. При этом необходимо отметить, что в целом для 2020–2024 годов характерны более оптимистичные оценки прогнозной динамики по сравнению с оценками ретроспективы (рисунок 22).

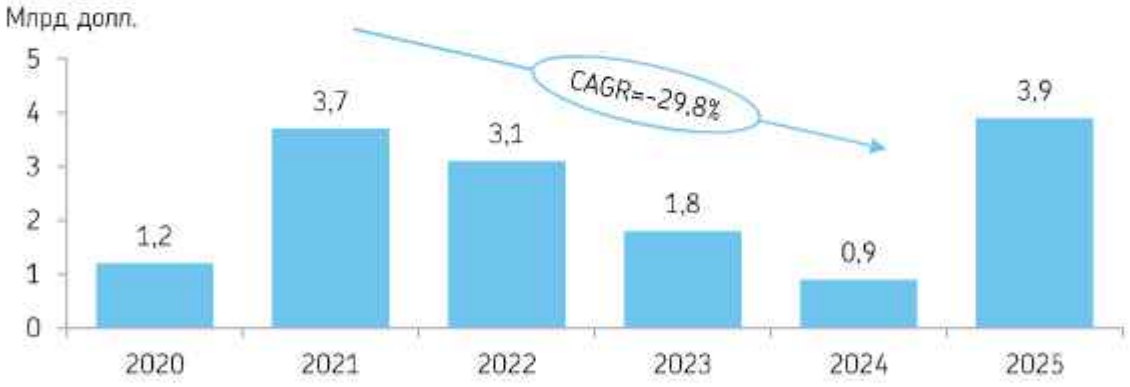
Рисунок 22. Экспертная оценка фактической и прогнозной динамики рынка БВС в течение следующих 12 месяцев в 2020–2025 годах; баллы, где 0 – существенное снижение рынка, 10 – значительный рост продаж



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным Droneii [140,141], 2026

В то же время, в 2021–2024 годах наблюдалось последовательное сокращение инвестиций в коммерческий сегмент мирового рынка БВС после резкого всплеска инвестиционной активности в 2020–2021 годах [142] (рисунок 23).

Рисунок 23. Объем инвестиций в коммерческий сегмент мирового рынка БВС в 2020–2025 гг., млрд долл.; CAGR в 2021–2024 гг., %



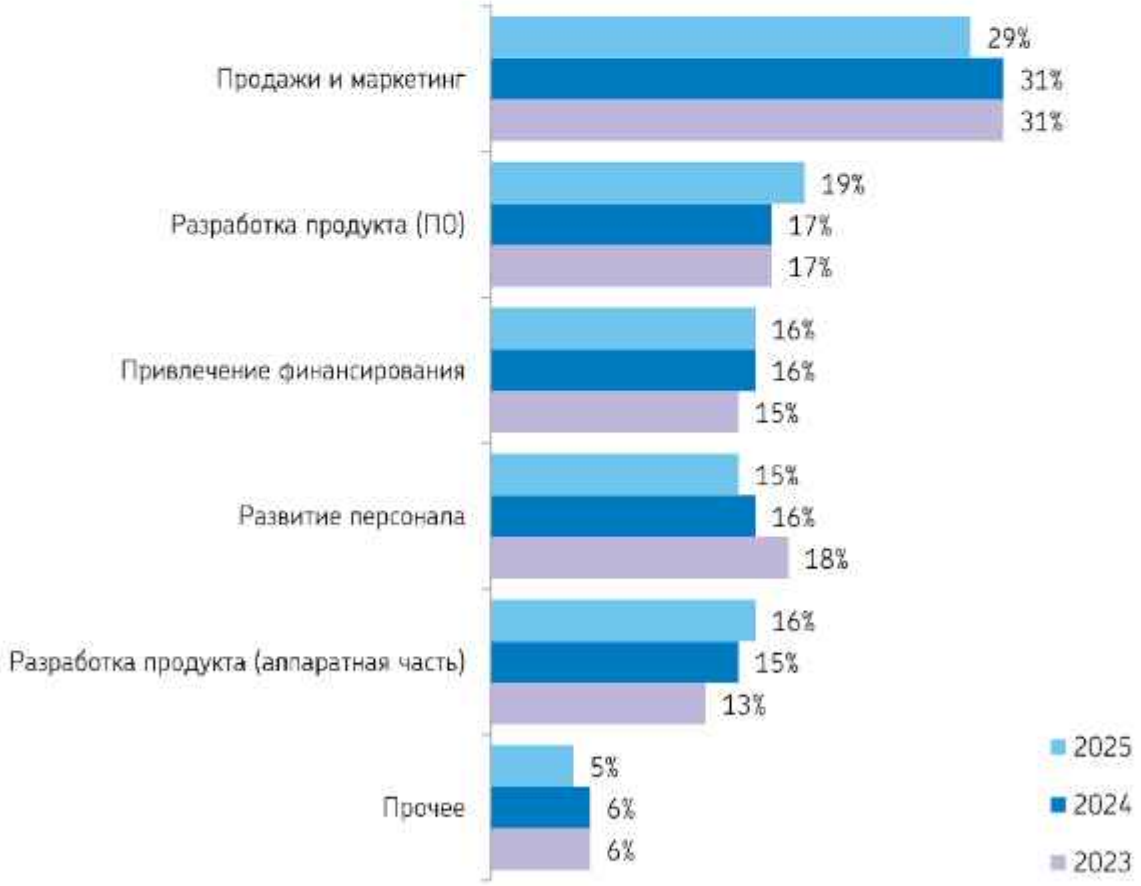
Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным Droneii [142,143], 2026

Однако, по состоянию на конец 2025 года совокупный объем инвестиций в рассматриваемый рынок превысил пиковое значение 2021 года, составив 3,9 млрд долл. (соответственно, рост рынка в 2024–2025 годах составил 4,4 раза) [143].

С учетом вышеизложенного, необходимо также обратить внимание на актуальные инвестиционные приоритеты участников мирового рынка БВС. По состоянию на конец 2025 года, согласно результатам ежегодного опроса Droneii [140,141], ключевым инвестиционным приоритетом

представителей отрасли на следующие 12 месяцев остаются продажи и маркетинг, несмотря на снижение доли респондентов, отметивших данное направление в качестве приоритетного, на 2% по сравнению с показателями 2023 и 2024 годов. Второе место по-прежнему занимают инвестиции в разработку программного обеспечения, при этом доля респондентов, рассматривающих данное направление в качестве приоритетного, в 2025 году увеличилась на 2% относительно аналогичных показателей 2023 и 2024 годов. Кроме того, в последние годы наблюдается последовательное снижение значимости инвестиций в развитие персонала на фоне роста значимости вложений в разработку продукта (аппаратной части), а также в привлечение дополнительного финансирования. В то же время 5–6% представителей организаций-участников мирового рынка БВС продолжают относить к инвестиционным приоритетам «Прочие» направления, включая затраты на сертификацию, получение разрешений на эксплуатацию, совершенствование сервисного обслуживания (в том числе технического обслуживания и поддержки), а также проведение исследовательских работ (рисунок 24).

Рисунок 24. Инвестиционные приоритеты представителей мирового рынка БВС в 2023–2025 гг. на перспективу следующих 12 месяцев, доля респондентов, отметивших направление в качестве приоритетного, %

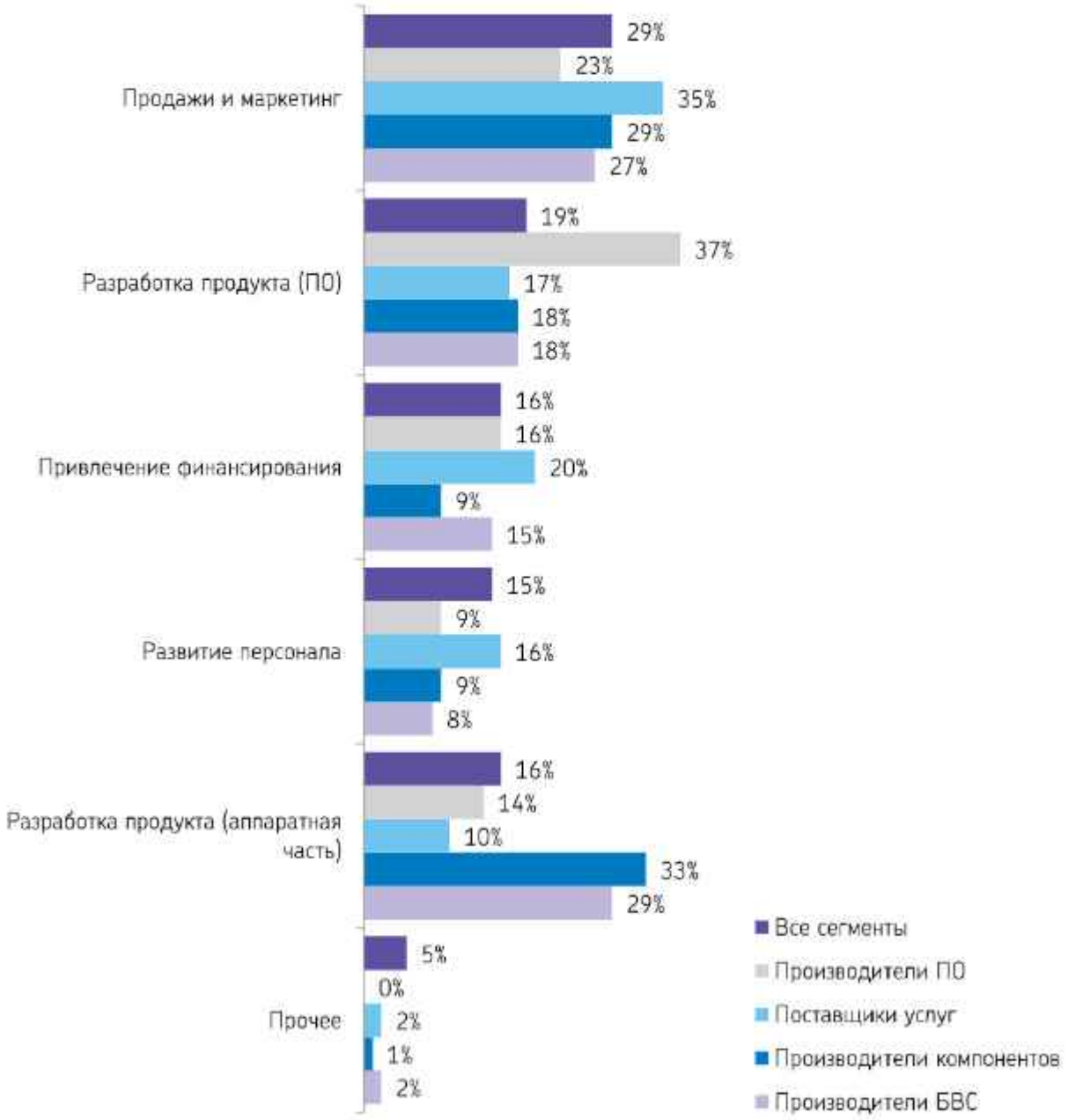


Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным Droneii [140,141], 2026

В разрезе отдельных сегментов мирового рынка БВС инвестиционные приоритеты различаются. Для производителей программного обеспечения для БВС наиболее значимым направлением

инвестиций является разработка программного обеспечения, тогда как для производителей БВС и их компонентов – разработка аппаратной части. В то же время привлечение дополнительного финансирования и развитие персонала в качестве приоритетных направлений чаще отмечают компании, специализирующиеся на предоставлении услуг в сфере БВС (рисунок 25).

Рисунок 25. Инвестиционные приоритеты представителей мирового рынка БВС в 2025 г. на перспективу следующих 12 месяцев по отдельным сегментам, доля респондентов (представителей сегмента), отметивших направление в качестве приоритетного, %



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным Droneii [140,141], 2026

Согласно качественным экспертным оценкам роста рынка БВС [140,141] по состоянию на 2024 год наибольшие темпы роста в течение последующих 12 месяцев ожидались в сегментах разработки

программного обеспечения для БВС, производства БВС, а также производства компонентов и систем для БВС. При этом в производственном сегменте фактическая динамика по итогам 2024 года оказалась менее оптимистичной по сравнению с ранее сформированными ожиданиями (рисунок 26).

Рисунок 26. Экспертная оценка фактической и прогнозной динамики сегментов рынка БВС в течение следующих 12 месяцев по состоянию на 2024 год; баллы, где 0 – существенное снижение рынка, 10 – значительный рост продаж



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным Droneii [140,141], 2026

По состоянию на 2025 год в течение последующих 12 месяцев наиболее высокие темпы роста по-прежнему ожидаются в сегменте разработки программного обеспечения для БВС (рисунок 27). При этом наименее оптимистичными являются ожидания представителей инжиниринговых компаний и компаний-интеграторов, предлагающих специализированные клиентские решения. Одним из факторов может выступать расширение предложения серийных линеек БВС, ориентированных на выполнение определенных прикладных задач, что сокращает потребность заказчиков в разработке индивидуализированных решений и их интеграции под отдельные сценарии применения. Кроме того, отраслевые эксперты [129] отмечают общее снижение объемов финансирования рассматриваемой сферы, что также может сдерживать ее активный рост.

Рисунок 27. Экспертная оценка прогнозной динамики сегментов рынка БВС в течение следующих 12 месяцев по состоянию на 2025 год; баллы, где 0 – существенное снижение рынка, 10 – значительный рост продаж



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным Droneii [140,141], 2026

В свою очередь, оценки, представленные международной консалтинговой организацией Grand View Research в рамках исследования мирового рынка БВС [144], в 2–3 раза превышают аналогичные показатели, рассчитанные специалистами Droneii (рисунок 28). [129,130]. Одним из возможных объяснений таких различий может являться учет при формировании оценок значительной части государственного сегмента, включая рынок БВС специального назначения

Рисунок 28. Объем мирового рынка БВС в 2024–2030 гг., млрд долл.; CAGR в 2025–2030 гг., % (Grand View Research)



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным Grand View Research [144], 2026

С учетом вышеизложенного, Федеральный центр беспилотных авиационных систем (АНО «ФЦ БАС») [145] оценил структуру и динамику рассматриваемого рынка на основе мета-анализа 20 международных исследований, включающих как материалы Droneii [129,130], так и отчеты Grand View Research [146] и др. В результате по состоянию на 2025 год совокупный объем рынка БВС оценивается специалистами АНО «ФЦ БАС» [145] в 55,2 млрд долл., при этом к 2030 году ожидается рост рынка до 116,4 млрд долл. (рисунок 29).

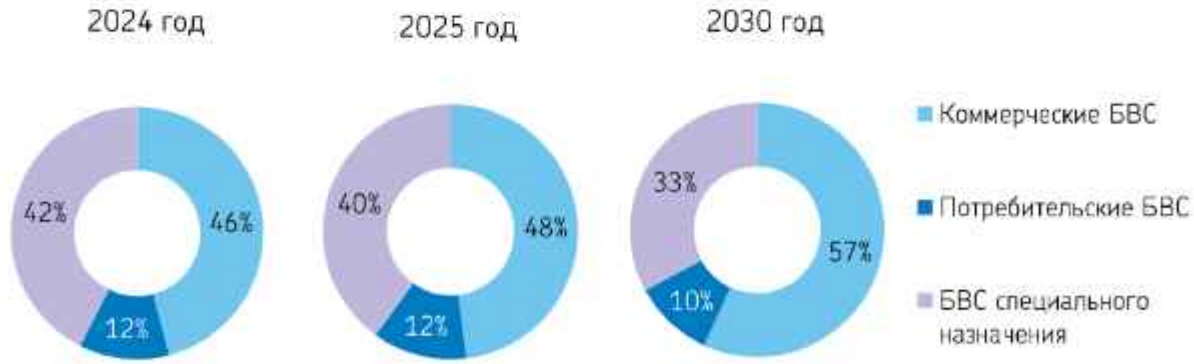
Рисунок 29. Объем мирового рынка БВС в 2024–2030 гг., млрд долл.; CAGR в 2025–2030 гг., % (мета-анализ АНО «ФЦ БАС»)



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным АНО «ФЦ БАС» [145], 2026

По состоянию на конец 2025 года отмечается снижение доли сегмента мирового рынка БВС специального назначения с 42% (в 2024 году) до 40% при соответствующем росте доли коммерческого сегмента. К 2030 году на коммерческие БВС будет приходиться более половины от общего объема мирового рынка (рисунок 30).

Рисунок 30. Структура мирового рынка БВС в 2024–2025 гг. по назначению, %



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным АНО «ФЦ БАС» [145], 2026

В то же время, необходимо отметить рост каждого из сегментов рассматриваемого рынка в финансовом выражении. Прирост коммерческого сегмента в 2025–2030 годах, в среднем, ожидается на 20% в год, специального назначения на 11%, а потребительского – на 2% (рисунок 31).

Рисунок 31. Структура мирового рынка БВС в 2024–2030 гг. по назначению, млрд долл.



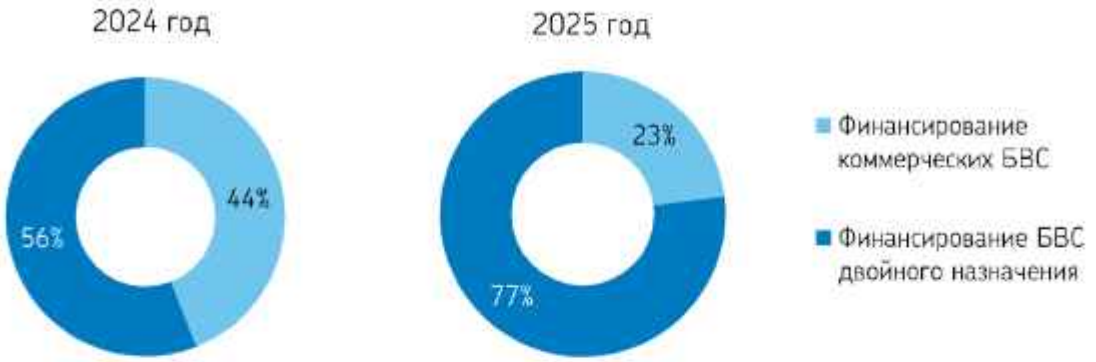
Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным АНО «ФЦ БАС» [145], 2026

Таким образом, результаты мета-анализа АНО «ФЦ БАС» [145] предполагают сокращение сектора БВС специального назначения при доминировании коммерческого сегмента. В то же время, эксперты Droneii [143] в части применения БВС отмечают противоположную ситуацию – значительный сдвиг в структуре применения БВС в сторону государственных заказчиков и задач обеспечения безопасности. При этом сохраняется дефицит регуляторных условий, необходимых для масштабного коммерческого внедрения БВС, включая унификацию правил полетов вне прямой видимости (BVLOS) в США и ЕС. В результате ряд производителей, изначально ориентированных на потребительский и коммерческий сегменты, корректируют свои стратегии развития и смещают фокус на государственные заказы.

В текущих условиях эксперты Droneii [143] выделяют в обобщенном сегменте производителей БВС двойного назначения две основные группы компаний. К первой категории относятся организации, изначально присутствующие как на гражданском, так и на государственном рынках, использующие унифицированные платформы БВС и развивающие оба направления сбыта, а также соответствующие процедуры сертификации. Ко второй категории относятся компании, которые в процессе развития скорректировали рыночную стратегию и переориентировали результаты гражданских разработок на государственные задачи.

В структуре инвестиций в коммерческий сегмент мирового рынка БВС 77% от общего объема по состоянию на конец 2025 года приходилось на компании, специализирующиеся на БВС двойного назначения [143] (рисунок 32).

Рисунок 32. Структура инвестиций в коммерческий сегмент мирового рынка БВС в 2024–2025 гг. по назначению, %



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным Droneii [143], 2026

На БВС исключительно коммерческого назначения в 2025 году пришлось всего 23%, по сравнению с 44% в 2024 году. При этом в финансовом выражении сумма инвестиций в коммерческие БВС по состоянию на конец 2025 года превышает значение аналогичного показателя 2024 года более чем в 2 раза (рисунок 33).

Рисунок 33. Структура инвестиций в коммерческий сегмент мирового рынка БВС в 2024–2025 гг. по назначению, млрд долл.



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным Droneii [143], 2026

В целом изложенное выше свидетельствует не столько о формировании однородного сегмента решений двойного назначения, сколько о разнообразии стратегий, применяемых ключевыми производителями в ответ на изменения геополитических условий.

Наиболее значимым, согласно оценкам Droneii [130], сегментом коммерческого рынка БВС по состоянию на конец 2025 года продолжают оставаться услуги, на которые приходится около 80% рассматриваемого рынка (рисунок 34).

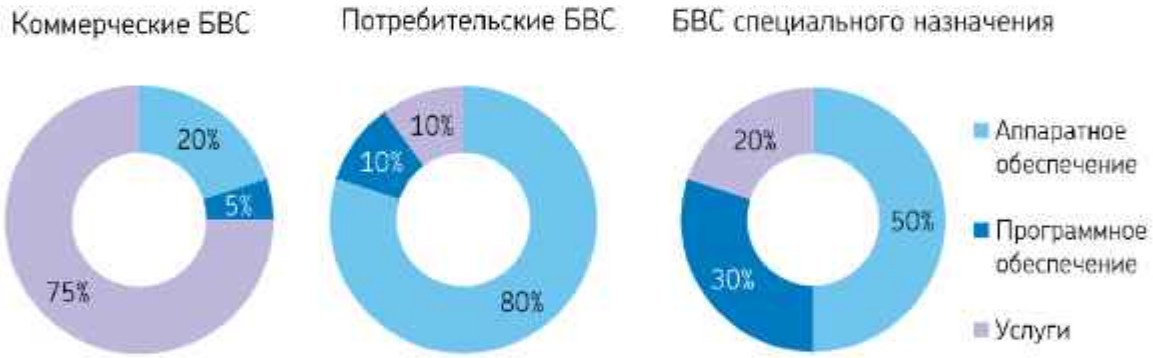
Рисунок 34. Ключевые сегменты мирового рынка коммерческих БВС в 2025 году, %



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным Droneii [129,130], 2026

В то же время, если рассматривать усредненные оценки, представленные специалистами АНО «ФЦ БАС» [145], то на услуги приходится 75% коммерческого сектора, 20% – БВС специального назначения и 10% – потребительские БВС (рисунок 35).

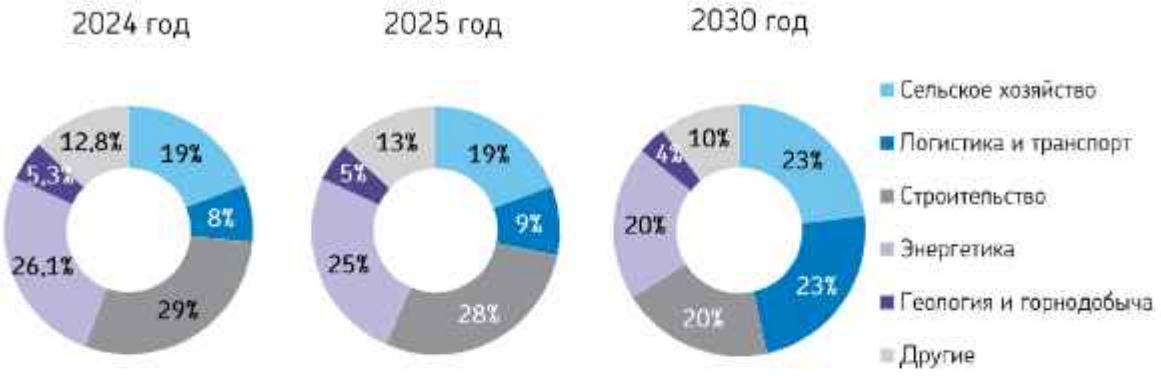
Рисунок 35. Усредненная структура мирового рынка БВС по компонентам и назначению, %



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным АНО «ФЦ БАС» [145], 2026

В отраслевой структуре коммерческого сектора мирового рынка БВС лидирующие позиции в 2024–2025 годах удерживают строительство и энергетика, на третьем месте, при этом, остается сельское хозяйство. На другие отрасли, включающие охрану окружающей среды, охрану правопорядка и пр., суммарно приходится около 13% (рисунок 36). На горизонте до 2030 года прогнозируется ускоренное развитие логистики и транспорта как ключевого направления применения БВС. Сельское хозяйство сохранит ведущие позиции, в то время как доля строительства и энергетики, по оценкам, снизится.

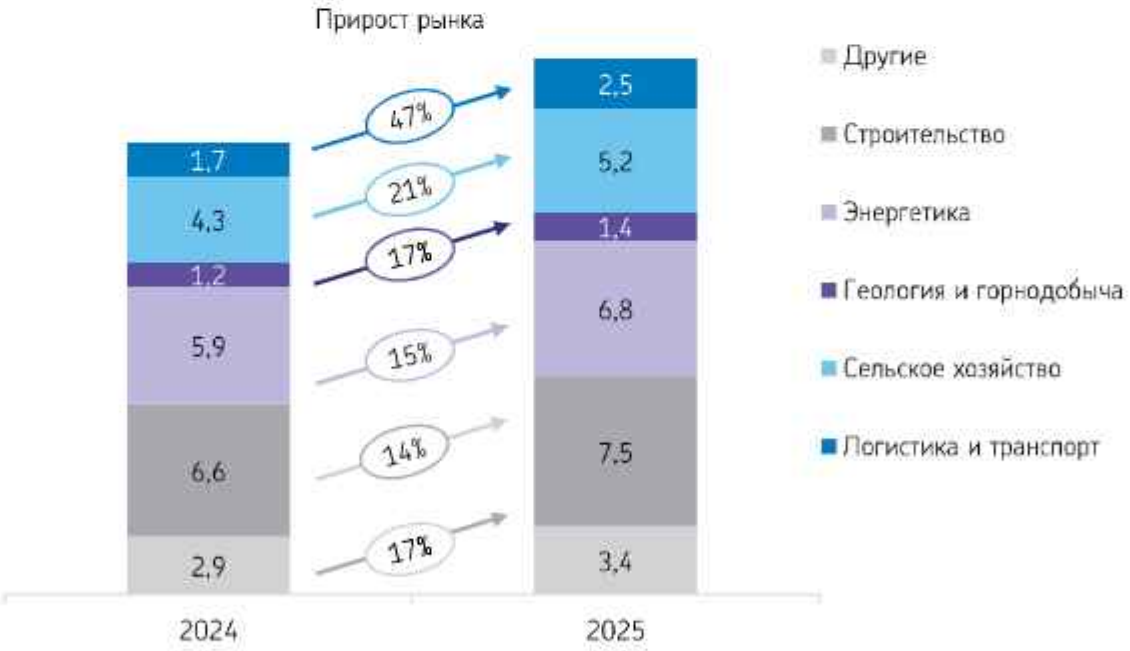
Рисунок 36. Структура коммерческого сектора мирового рынка БВС в 2024–2030 гг. по отраслям, %



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным АНО «ФЦ БАС» [145], 2026

В целом отраслевая структура коммерческого сегмента мирового рынка БВС в последние годы достаточно стабильна. При этом наиболее активно растущей в финансовом выражении отраслью в 2024–2025 годах является логистика и транспорт (рост почти в 1,5 раза), на втором месте находится сельское хозяйство (рисунок 37).

Рисунок 37. Структура коммерческого сектора мирового рынка БВС в 2024–2025 гг. по отраслям, млрд долл.



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным АНО «ФЦ БАС» [145], 2026

К 2030 году среднегодовой темп прироста сегмента логистики и транспорта составит 44% при этом объем сегмента в финансовом выражении возрастет до 15,4 млрд долл. с 2,5 млрд долл. в 2025 году (более чем в 6 раз). Сегмент строительства, при этом, лидирующий по состоянию на конец

2025 года, возрастет менее чем в два раза – с 7,3 млрд долл. в 2025 году до 13 млрд долл. в 2030 году (рисунок 38).

Рисунок 38. Структура коммерческого сектора мирового рынка БВС в 2025–2030 гг. по отраслям, млрд долл.



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным АНО «ФЦ БАС» [145], 2026

Ключевым направлением применения БВС коммерческого сектора в мире, согласно результатам ежегодного экспертного опроса Droneii [140,141], по состоянию на конец 2025 года, остается картографирование и геодезические работы, при этом доля указанного направления возросла с 33% до 34%. На втором месте, как и в 2024 году, находится инспектирование территорий и инфраструктурных объектов. Необходимо принимать во внимание также, что доля респондентов, отмечающих указанное направление в 2024–2025 годах, сократилась с 30% до 26%, соответственно. Аэрофото- и видеосъемка продолжает оставаться на третьем месте среди направлений применения БВС коммерческого сектора в мире в 2024–2025 годах, при этом ее доля продолжает снижаться: с 28% до 22% в 2023–2024 годах и с 22% до 18% в 2024–2025 годах. Доля респондентов, отметивших доставку в качестве направления применения БВС за последние два года возросло почти в 2 раза – с 4% в 2024 году до 7% в 2025 году (рисунок 39).

Рисунок 39. Ключевые направления применения БВС в мире в 2023–2025 гг., доля респондентов, отметивших направление в качестве ключевого, %

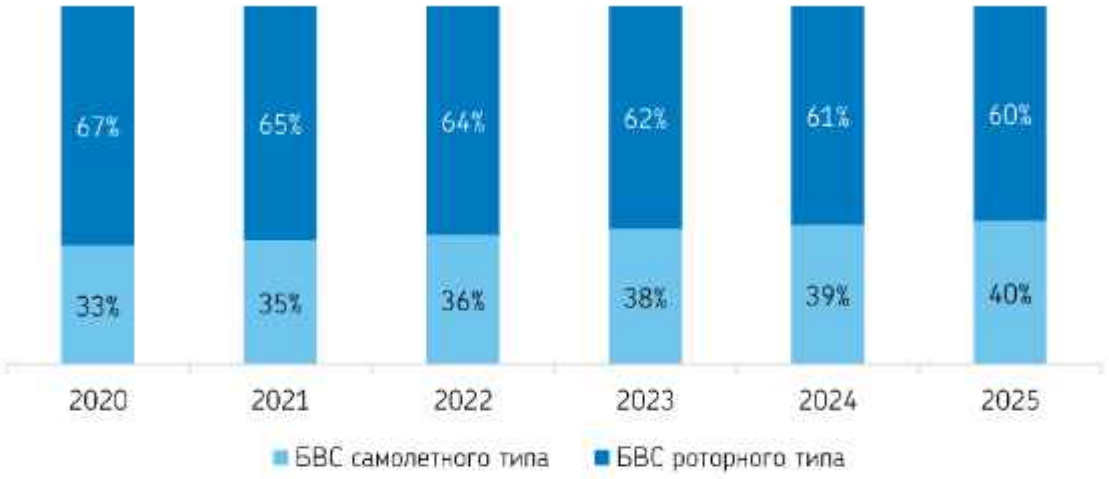


Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным Droneii [140,141], 2026

В качестве ключевых типов БВС по типам конструкции в международной практике в рамках рыночного анализа, как правило, выделяют БВС роторного (rotary-wing или rotary blade, оснащенные одним или несколькими несущими винтами, в частности, обеспечивающими возможность вертикальной посадки и взлета) и самолетного (fixed-winged, оснащенные несущими крыльями, обеспечивающими подъемную силу и полет за счет напора воздуха, набегающего на неподвижное крыло) типа. По оценкам Market.us Scoop [136], в последние годы лидирующие позиции по типу конструкции удерживают БВС роторного типа – прежде всего, благодаря их функциональным возможностям и относительно низкой стоимости (к данному типу, прежде всего, относятся БВС мини и микро классов). В то же время, доля роторных БВС на протяжении 2020–2025 годов постепенно сокращается, в то время как доля БВС самолетного типа, соответственно, возрастает (рисунок 40).

К преимуществам роторной конструкции относится способность БВС зависать в воздухе и осуществлять вертикальный взлет и посадку, в то время как БВС самолетного типа требуется взлетно-посадочная полоса и / или стартовая катапульта. При этом БВС роторного типа обладают меньшей грузоподъемностью, способны преодолевать меньшие расстояния на меньшей высоте, а также требуют значительного объема энергии для поддержания полета [9].

Рисунок 40. Структура мирового рынка БВС в 2020–2025 гг. по типам конструкции, %



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным Market.us Scoop [136], 2026

По состоянию на 2025 год лидерство БВС роторного типа на рынке, в целом, сохраняется. В то же время, более широкое распространение получают гибридные системы – БВС самолетного типа вертикального (укороченного) взлета и посадки (vertical take-off and landing, VTOL), объединяющие преимущества «классических» роторных и самолетных БВС [133,134,136,138].

Географическая структура мирового рынка БВС по состоянию на конец 2025 года, по оценкам международных консалтинговых организаций, в целом, сохраняет стабильность. Региональным лидером большинство источников признает Северную Америку, на долю которой приходится 34–47% общего объема мирового рынка [133–135,138,139]. Страной, лидирующей на мировом рынке БВС, при этом, остается США с 26–41% мирового рынка (таблица 6).

Таблица 6. Оценки и прогнозы объема рынка БВС в США 2024–2030 гг.

Организация	Год публикации отчета	Объем рынка, млрд долл.				CAGR	Прогнозный период
		Оценка		Прогноз			
		2024	2025	2029	2030		
Precedence Research [133]	2026	–	11,5	22,5	26,6	13,7%	2026–2035
Markets and Markets [147]	2025	10,4	10,8	–	15,8	8,0%	2025–2030
Market.us Scoop [148]	2025	10,9	12,0	17,9	19,8	10,4%	2025–2034

Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным открытых источников, 2026

Фактическая и прогнозная динамика рынка БВС США в 2024–2030 годах по оценкам Market.us Scoop [148] представлена на графике ниже (рисунок 41).

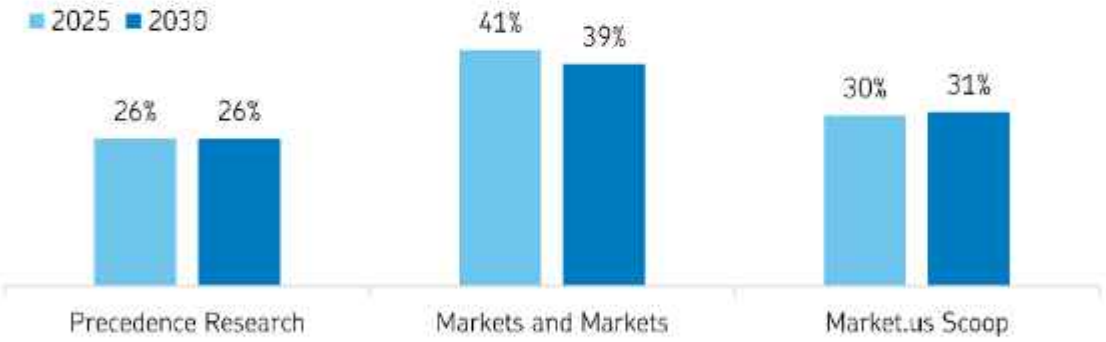
Рисунок 41. Объем рынка БВС США в 2024–2030 гг., млрд долл.; CAGR в 2025–2030 гг., %



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным Market.us Scoop [148], 2026

Эксперты предполагают рост рынка БВС США в 2025–2026 годах на уровне близком к уровню мирового рынка в целом. В частности, специалисты Market.us Scoop [148] предусматривают незначительный рост доли США на мировом рынке БВС – с 30% до 31% в горизонте до 2030 года, в то время как, по оценкам Markets and Markets [147] ожидается столь же незначительное снижение доли рынка. Эксперты Precedence Research [133] предполагают, что доля США в общем объеме рассматриваемого рынка в 2025–2030 годах не изменится (рисунок 42).

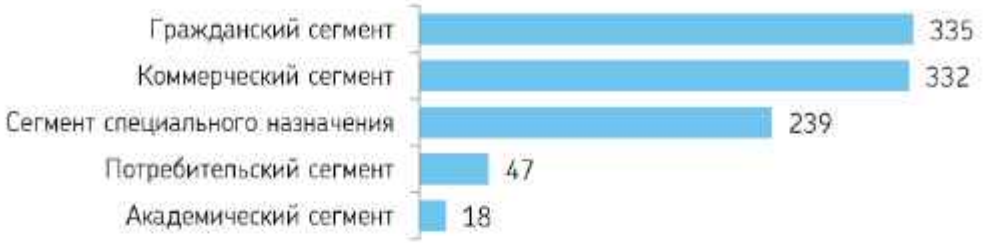
Рисунок 42. Доля США в общем объеме мирового рынка БВС в 2025–2030 гг. по данным международных консалтинговых организаций, %



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным Precedence Research [133], Markets and Markets [147], Market.us Scoop [148], 2026

Согласно оценкам, приведенным в докладе Центра безопасности и новых технологий (CSET) при Школе дипломатической службы им. Уолша Университета Джорджтауна [149], основанным на данных о БВС, зарегистрированных в системе USRD (Uncrewed Systems and Robotics Database, База данных беспилотных систем и робототехники) Международной ассоциации беспилотных транспортных систем (AUVSI) [150], по состоянию на конец 2025 года наибольшую долю в структуре рынка БВС США по укрупненным отраслевым сегментам занимают гражданский и коммерческий секторы, тогда как на сегмент специального назначения приходится около 25 % зарегистрированных платформ БВС (рисунок 43).

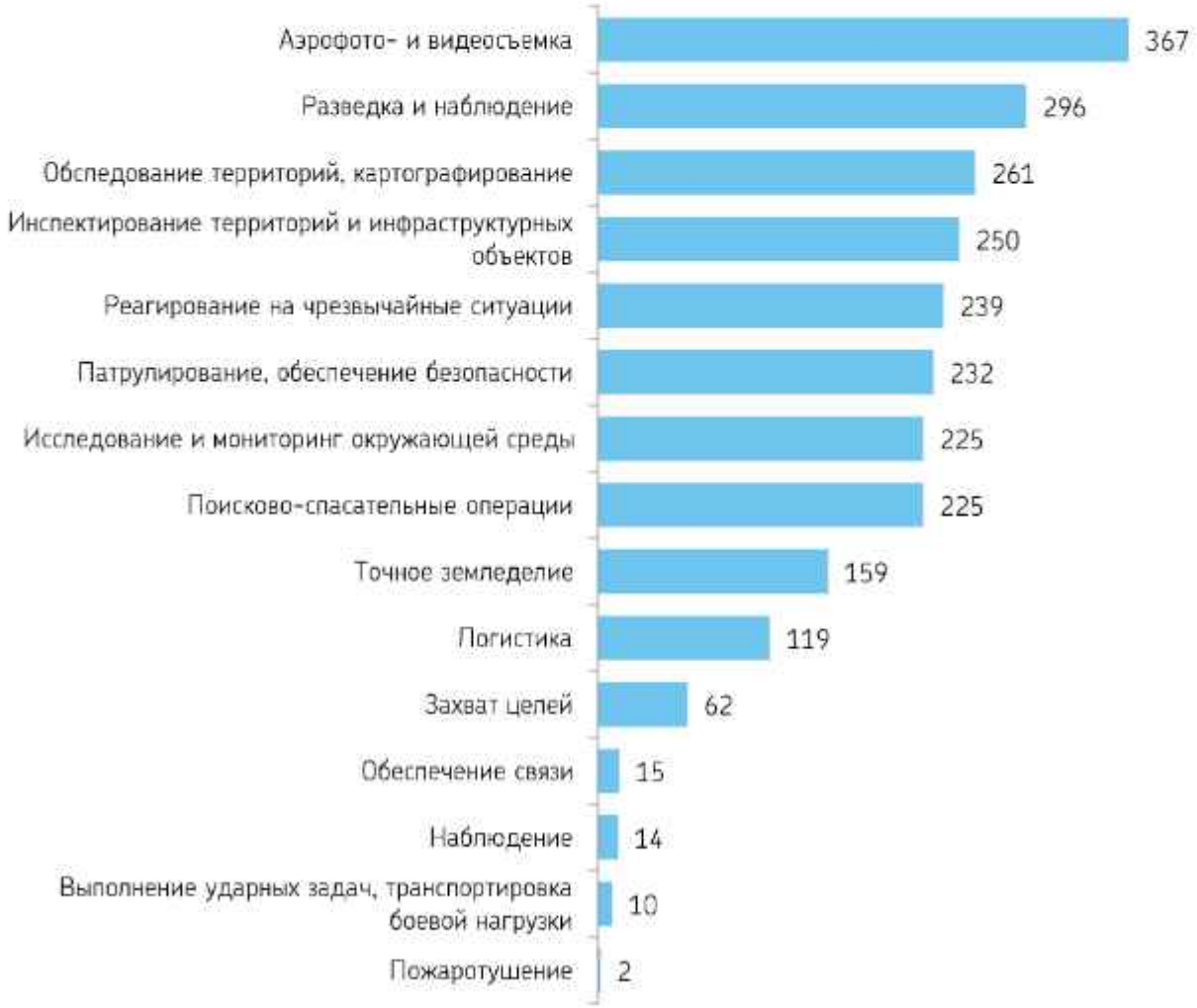
Рисунок 43. Укрупненные отраслевые сегменты рынка БВС США по состоянию на 2025 год, число зарегистрированных платформ БВС, ед.



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным CSET [149], 2026

При этом основным направлением использования БВС в США по состоянию на 2025 год, согласно информации, предоставляемой производителями платформ [149], является аэрофото- и видеосъемка (рисунок 44).

Рисунок 44. Ключевые направления применения БВС в США по состоянию на 2025 год, число зарегистрированных платформ БВС, ед.



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным CSET [149], 2026

В целом, лидирующие позиции США на мировом рынке БВС обусловлены рядом факторов: в стране зарегистрированы ведущие производители БВС и крупные авиационные и ракетно-космические компании, первыми внедряющие технологические достижения в области автономного полета, ИИ и интеграции данных. Кроме того, политика Федерального управления гражданской авиации (FAA), несмотря на ряд сохраняющихся сложностей и противоречий в нормативно-правовом регулировании, в целом способствует развитию коммерческих операций с использованием БВС, в частности, в таких областях, как логистика, сельское хозяйство, а также инспектирование территорий и инфраструктурных объектов. Также на укрепление рынка работают инвестиции Министерства обороны США в БВС специального назначения.

Объем мирового рынка композиционных материалов авиационного и ракетно-космического назначения, широко применяемых при производстве БВС и их компонентов, согласно данным международных консалтинговых организаций и аналитических агентств [151–153], в 2025 году оценивается в диапазоне между 35 млрд и 45 млрд долл. При этом в горизонте 2025–2030 годов ожидается рост рынка в среднем на уровне 11-13% в год (таблица 7).

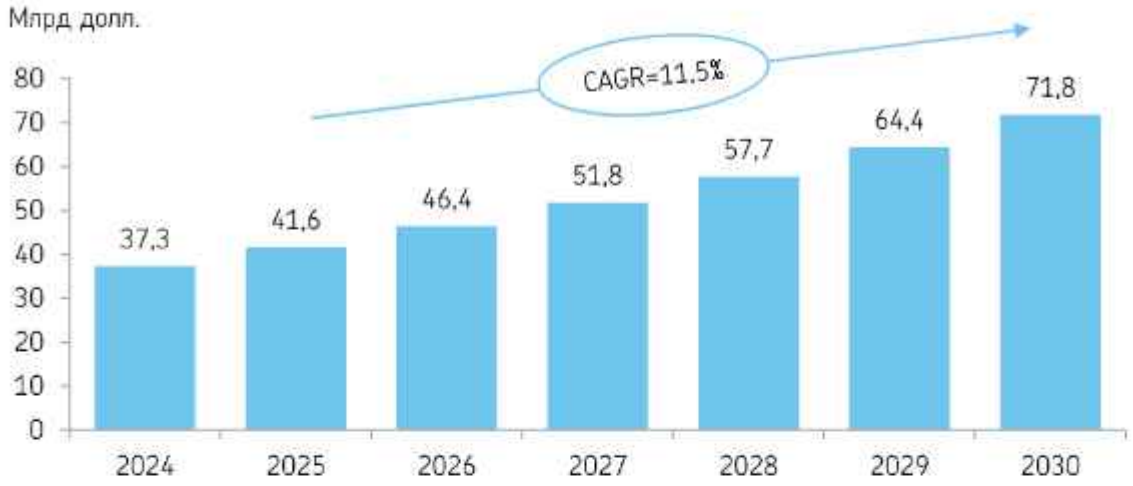
Таблица 7. Оценки и прогнозы объема мирового рынка композиционных материалов авиационного и ракетно-космического назначения в 2024-2030 гг.

Организация	Год публикации отчета	Объем рынка, млрд долл.				CAGR	Прогнозный период
		Оценка		Прогноз			
		2024	2025	2029	2030		
Precedence Research [152]	2025	37,3	41,6	64,4	71,8	11,5%	2025–2034
Markets and Markets [154]	2025	27,5	30,3	–	53,4	12,0%	2025–2030
Market.us Scoop [155,156]	2024	35,9	40,3	63,8	71,6	12,2%	2024–2033
SkyQuest Technology Consulting [153]	2025	33,2	37,1	–	–	11,7%	2026–2033
Market Research Future [157]	2025	27,4	30,7	–	–	11,9%	2025–2035
The Business Research Company [151]	2026	–	41,2	–	77,5	13,2%	2026–2030

Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным открытых источников, 2026

Специалисты международного консалтингового агентства Precedence Research [152] ожидают в 2025–2030 годах ежегодный рост рассматриваемого рынка, в среднем, на 11,5% (рисунок 45).

Рисунок 45. Объем мирового рынка композиционных материалов авиационного и ракетно-космического назначения в 2024–2030 гг., млрд долл.; CAGR в 2025–2030 гг., %



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным Precedence Research [152], 2026

Непосредственно на сегмент композиционных материалов для БВС, по оценкам международных консалтинговых организаций и аналитических агентств [158,159], приходится сравнительно небольшая, но активно растущая доля рынка. В частности, представители исследовательской компании Intel Market Research [159] оценивают объем рынка композиционных материалов для БВС в 2025 в 2,2 млрд долл., при этом к 2031 году предполагается рост рынка более чем в 2 раза – до 4,8 млрд долл. (при среднегодовом темпе 16,5% в рассматриваемом периоде).

Специфика применения композиционных материалов, наряду с возрастающими требованиями к эффективности проектирования, производства и эксплуатации БВС, обуславливают возрастающую потребность в передовых цифровых инструментах проектирования и моделирования. Более подробный обзор рынка цифрового проектирования и моделирования композиционных материалов представлен в экспертно-аналитических докладах 2025 года «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)» [160] и «Обзор технологий цифрового моделирования композиционных материалов для применения в атомной отрасли» [161] Инфраструктурного центра «Технет». В то же время, необходимо отметить, что по состоянию на конец 2025 года, представители международных консалтинговых организаций и аналитических агентств [162–164] оценивают объем мирового рынка цифрового проектирования и моделирования композиционных материалов на уровне около 2 млрд долл. (таблица 8).

Таблица 8. Оценки и прогнозы объема мирового рынка цифрового проектирования и моделирования композиционных материалов в 2024-2030 гг.

Организация	Год публикации отчета	Объем рынка, млрд долл.				CAGR	Прогнозный период
		Оценка		Прогноз			
		2024	2025	2029	2030		
Data Insights Market [164]	2025	–	2,0	3,2	3,6	12,0%	2020–2034
WiseGuy Reports [163]	2025	1,8	2,0	–	–	10,9%	2025–2035
Market Report Analytics [162]	2026	–	2,0	2,9	3,2	10,0%	2025–2031

Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным открытых источников, 2026

При этом в 2025–2030 годах, ожидается ежегодный прирост рынка, в среднем, на 10–12%. В то же время специалисты Market Report Analytics [162], согласно отчету, актуализированному в январе 2026 года, в 2025–2030 годах ожидают прирост рынка на уровне 8–10% в год (рисунок 46).

Рисунок 46. Объем мирового рынка цифрового проектирования и моделирования композиционных материалов в 2025–2030 гг., млрд долл.; CAGR в 2025–2030 гг., %



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным Market Report Analytics [162], 2026

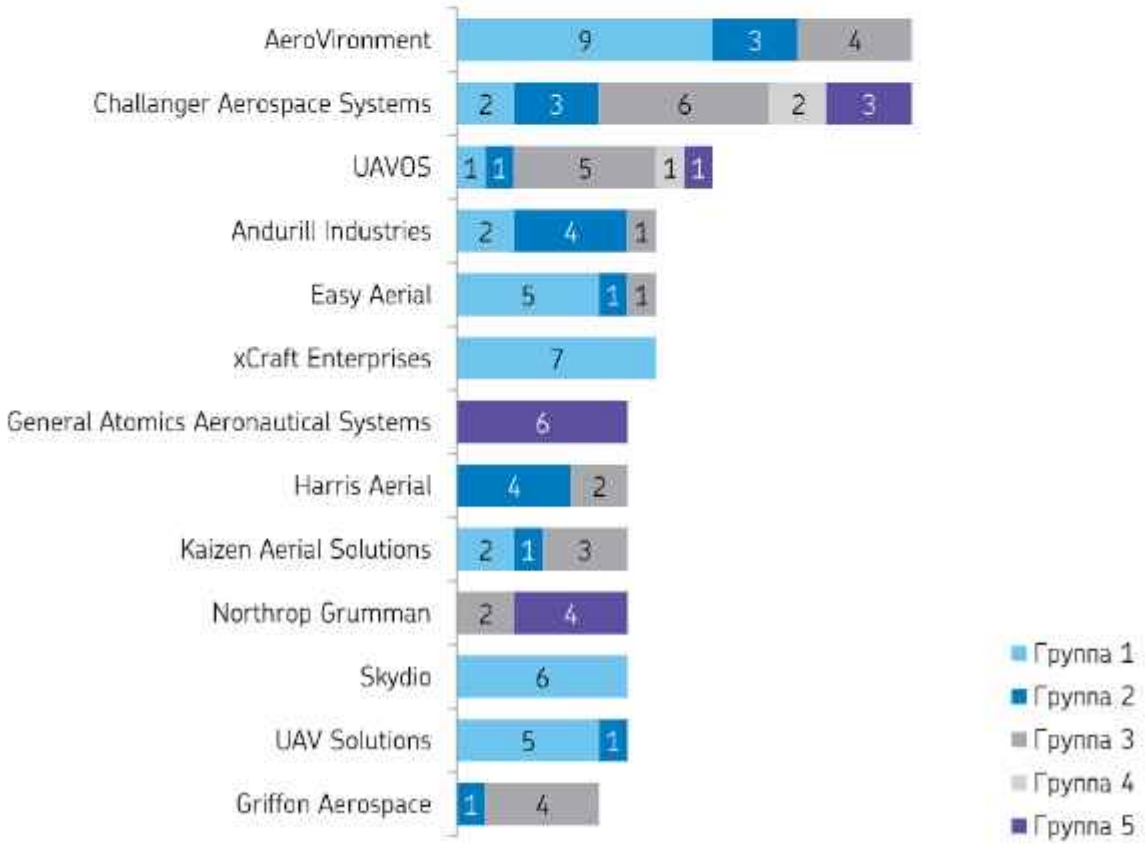
Ожидаемый рост рынка обусловлен развитием технологий в области материаловедения, расширением сфер применения композиционных материалов и увеличением спроса на композитные и гибридные конструкции в различных отраслях, включая производство БВС. Существенный вклад в развитие рынка вносят ведущие поставщики решений для цифрового проектирования и моделирования композиционных материалов, такие как Hexagon AB и Dassault Systèmes, активно инвестирующие в исследования и разработки новых материалов и технологий их применения.

1.2.2. Лидеры мирового рынка и ключевые предлагаемые решения

Лидером мирового рынка БВС выступает США, в т.ч. за счет значительного числа зарегистрированных компаний – ключевых представителей рассматриваемого рынка. В частности, около 58% платформ БВС, зарегистрированных в системе USRD Международной ассоциации беспилотных транспортных систем [150], приходится на компании, головной офис которых находится в США. При этом можно выделить 13 производителей – лидеров, предлагающих 5 и более платформ БВС, относящихся к пяти условным группам (рисунок 47):

1. Максимальная взлетная масса до 20 фунтов (9 кг), нормальная рабочая высота до 1,2 тыс. футов (366 м) над уровнем земли, скорость полета до 100 узлов.
2. Максимальная взлетная масса 21–55 фунтов (10–25 кг), нормальная рабочая высота до 3,5 тыс. футов (1067 м), скорость полета до 250 узлов.
3. Максимальная взлетная масса до 1320 фунтов (599 кг), нормальная рабочая высота до 18 тыс. футов (5486 м) над уровнем моря, скорость полета до 250 узлов.
4. Максимальная взлетная масса от 1320 фунтов (599 кг), нормальная рабочая высота до 18 тыс. футов (5486 м) над уровнем моря, скорость полета без ограничений.
5. Максимальная взлетная масса от 1320 фунтов (599 кг), нормальная рабочая высота от 18 тыс. футов (5486 м) над уровнем моря, скорость полета без ограничений.

Рисунок 47. Лидеры рынка БВС США по состоянию на 2025 год по числу предлагаемых платформ БВС в разрезе условных групп, ед.



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным CSET [149], 2026

AeroVironment – ведущий производитель БПЛА, барражирующих боеприпасов и беспилотных наземных транспортных средств, используемых для разведки, наблюдения, целеуказания и высокоточных ударов [165]. Лидер рынка БВС США по числу предлагаемых платформ [149], также занимающий ведущие позиции на мировом рынке БВС (в т.ч. в сегменте БВС гражданского назначения) [166,167]. Предлагаемые решения включают платформы БВС, системы управления и энергетические установки под задачи специального назначения и коммерческие цели [9].

Challenger Aerospace Systems – поставщик решений, специализирующийся на производстве БВС и наземных станций управления. Деятельность компании сосредоточена на БВС гражданского и специального назначения, городской воздушной мобильности, беспилотных наземных и надводных транспортных систем [168]. В 2024 году Challenger Aerospace Systems вошла в состав корпорации Resilient Energy – независимой энергетической компании, расширяющей свое присутствие на высокотехнологичных рынках в рамках стратегии снижения зависимости от конъюнктуры нефтегазового сектора [169,170].

UAVOS – компания, специализирующаяся в области разработки решений и предоставления услуг в сфере безопасности и коммерческого использования БВС [171].

Andurill Industries – оборонно-промышленная компания, разрабатывающая программные и аппаратные решения для задач ВПК США, специализирующаяся в сфере автономных систем специального назначения, робототехники, кибербезопасности и ИИ [172].

Easy Aerial – разработчик интеллектуальных систем воздушного мониторинга для обеспечения безопасности объектов и территорий. Решения компании включают легкие БВС с возможностью установки различных типов полезной нагрузки и длительного автономного выполнения задач, мобильные и автономные наземные базовые станции, а также программное обеспечение для управления флотом БВС и передачи данных в режиме реального времени [173]. Компания основана при поддержке ВВС США [174].

xCraft Enterprises – разработчик и производитель кастомизированных беспилотных систем, включая БВС вертикального взлета и посадки (VTOL), аппараты самолетного типа, привязные и мини-БВС для заказчиков из сфер обороны, энергетики, охраны объектов, общественной безопасности и геодезии. Компания известна флагманской платформой PANADRONE, а также линейками Matrix SE/RTK и Maverick, созданными с использованием собственных запатентованных технологий и выпускаемыми на территории США [175].

General Atomics Aeronautical Systems – разработчик и производитель тактических и стратегических БВС классов MALE и HALE. Наиболее известными разработками являются семейства MQ-9 Reaper/MQ-9B SkyGuardian и MQ-1C Gray Eagle, поставляемые более чем в 15 стран и суммарно налетавшие свыше 6 млн часов. Компания осуществляет разработку и производство комплексных БАС, включая планер, силовую установку, бортовое оборудование и наземные станции управления, для Министерства обороны США и союзных государств [176].

Harris Aerial – производитель тяжелых БВС мультироторного типа под задачи промышленных и государственных структур. Компания специализируется на платформах класса heavy-lift с поддержкой трех форматов силовой установки (электрической, гибридной бензино-электрической и водородно-электрической), обеспечивающей увеличенное время нахождения в воздухе.

Флагманские платформы (Carrier H6, Carrier HX8) сертифицированы по стандарту Blue UAS 2.0 и соответствуют требованиям NDAA. БВС производятся на территории США и используются ОПК, федеральными агентствами и промышленными заказчиками для LiDAR-картирования, инспекции инфраструктуры, поиска и спасения, а также сельскохозяйственного мониторинга [177].

Kaizen Aerospace (Kaizen Aerial Solutions) – разработчик и производитель автономных тяжелые БВС вертикального взлета и посадки серии xFold для нужд оборонного ведомства, сельского хозяйства, критической инфраструктуры и промышленных операций. Платформы xFold (конфигурации Quad/Hex/Octo/12-мотор) выдерживают полезную нагрузку до 450 кг и оснащены проприетарной системой бортовой автономии xNav, обеспечивающей адаптивное выполнение задач в динамичной среде. Компания зарегистрирована в Агентстве оборонной логистики США [178].

Northrop Grumman Corporation – оборонный подрядчик первого уровня, чье подразделение автономных систем создает высотные разведывательные БВС, в частности RQ-4 Global Hawk и MQ-4C Triton, а также палубный БВС MQ-8C Fire Scout для ВМС США и ведет разработку UCAV (X-47B). Компания является одним из четырех американских производителей, выпускающих БВС 5-й группы (тяжелые, высотные) [179].

Skydio – разработчик и производитель автономных БВС для государственного и коммерческого рынков, использующий технологии компьютерного зрения и алгоритмы ИИ для выполнения полетов в сложных условиях, включая стесненные пространства, зоны с ограниченным сигналом спутниковой навигации и районы применения средств радиоэлектронного подавления. Платформы компании, включая модели Skydio 2+ и X10, используются Вооруженными силами США, более чем 200 агентствами общественной безопасности, а также организациями гражданского сектора. Компания является крупнейшим американским производителем БВС группы 1 (малые БВС) и рассматривается в качестве одного из ключевых национальных поставщиков, способных конкурировать с китайскими производителями беспилотных систем [180].

UAV Solutions (UAVS) – производитель и разработчик беспилотных систем, их компонентов и наземного вспомогательного оборудования. Компания обслуживает программы NAVAIR TigerShark UAS, SOCOM CopperHead, PSUAS и PGSS/ – PSST с момента их запуска. UAVS производит полный спектр компонентов – от наземных станций управления и регуляторов напряжения до легких планеров и систем дозаправки двухтактных двигателей, а также выпускает собственные БВС Ghost 60/AsUAS, MAAX 90, Phoenix ACE XL [181].

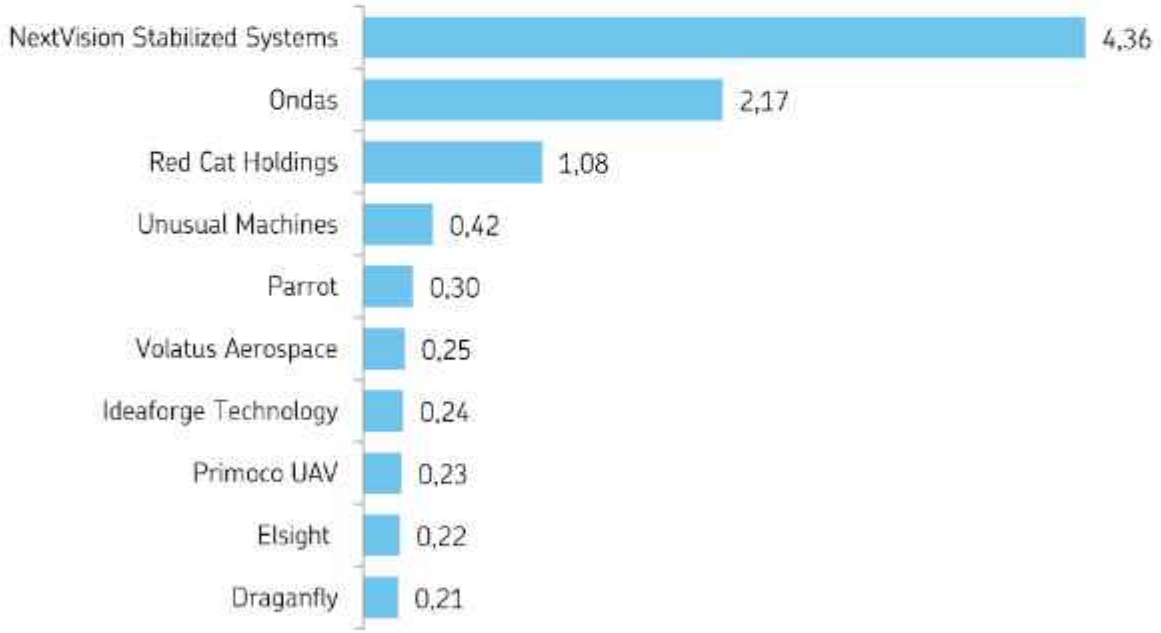
Griffon Aerospace – производитель БВС и поставщик услуг. Компания поставила свыше 5000 БВС Министерству обороны США, союзным государствам, коммерческим и исследовательским структурам в рамках трех крупных производственных контрактов. Griffon специализируется на беспилотных мишенях (MQM-170A Outlaw, MQM-171A BroadSword) и тактических БВС (Valiant – гибридный VTOL для разведки и наблюдения), а также оказывает услуги летных операций на объектах Министерства обороны [182].

Анализ американских компаний, предложение которых включает пять и более платформ БВС, показывает, что часть из них специализируется на определенных группах БВС, тогда как другие формируют более диверсифицированный портфель платформ, относящихся к различным категориям. Так, Challenger Aerospace Systems, выпускающая наибольшее число платформ в целом (наряду с AeroVironment), производит как минимум по две платформы в каждой группе БВС, тогда как Skydio

и UAV Solutions ориентированы преимущественно на малые БВС группы 1. Следует отметить, что платформы БВС группы 1 являются наиболее распространенным сегментом предложения, что может быть обусловлено их относительно низкой стоимостью, а также упрощенными процессами разработки, испытаний и производства. В то же время лишь четыре ведущие компании, две из которых (Northrop Grumman и General Atomics) относятся к оборонным подрядчикам, производят платформы БВС 4-й и 5-й групп – тяжелые БВС с повышенной грузоподъемностью и улучшенными летно-техническими характеристиками. General Atomics, являясь разработчиком БВС специального назначения, включая MQ-1 Predator и MQ-9 Reaper (а также их модификации MQ-1C и MQ-9B SkyGuardian), специализируется исключительно на платформах БВС 5-й группы. Northrop Grumman, разработчик RQ-4 Global Hawk, выпускает платформы БВС как 3-й, так и 5-й группы. При этом компания Lockheed Martin, оборонный подрядчик и один из ведущих мировых разработчиков БВС 1-й и 2-й групп (включая Condor XEP и Desert Hawk III) [137–139], не включена в рассматриваемый перечень, поскольку по состоянию на 2025 год ее продуктовый портфель включал лишь три платформы БВС указанных групп [149].

При рассмотрении рейтинга ключевых публичных компаний – представителей глобального рынка БВС, за исключением компаний стран БРИКС, выделяются десять лидеров по рыночной капитализации (рисунок 48).

Рисунок 48. ТОП-10 компаний – лидеров мирового рынка БВС
по состоянию на конец 2025 года по рыночной капитализации, млрд долл.



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным Dronell [183], 2026

В таблице 9 представлена основная информация об отмеченных выше компаниях – лидерах и предлагаемых ими ключевых решениях.

Таблица 9. ТОП-10 компаний – лидеров мирового рынка БВС по состоянию на конец 2025 года по рыночной капитализации: основные характеристики и ключевые решения

Компания (страна)	Сайт	Рыночная капитализация на конец 2025 года, млрд долл.	Характеристика компании и ключевые решения
NextVision Stabilized Systems (Израиль)	nextvision-sys.com	4,36	Компания специализируется в области передовых стабилизированных электрооптических / инфракрасных систем для БВС, а также беспилотных наземных и морских систем, обеспечивающих качество съемки, обработки изображений и передачи данных с учетом принципов low-SWaP² – низкий вес полезной нагрузки в сочетании со сниженным энергопотреблением [184].
Ondas (США)	ondas.com	2,17	Американский холдинг, объединяющий две бизнес-единицы: Ondas Autonomous Systems (автономные БВС и робототехника) и Ondas Networks (частные беспроводные сети стандарта IEEE 802.16t). Через дочерние компании American Robotics, Airobotics, Iron Drone, Apeiro Motion и Sentrycs компания предлагает стек от полностью автономного БВС до решений по обнаружению и подавлению угроз, развернутых в оборонных и гражданских применениях в более чем 20 странах. Ключевые решения: Optimus System; Iron Drone Raider; Sentrycs Halo CoRF; FullMAX SDR-платформа для IoT-сетей [185].
Red Cat Holdings (США)	redcat.red	1,08	Американский производитель тактических малых БВС и беспилотных надводных судов для нужд обороны и национальной безопасности; через дочерние структуры Teal Drones и FlightWave Aerospace выпускает БВС, сертифицированные по стандарту Blue UAS. Флагманская платформа Black Widow включена в «Программу записи» Армии США в сегменте разведки малого радиуса (SRR – Short Range Reconnaissance) и интегрирована с ПО визуальной навигации

Компания (страна)	Сайт	Рыночная капитализация на конец 2025 года, млрд долл.	Характеристика компании и ключевые решения
			Palantir VNav для работы в GPS-отрицаемых условиях. Ключевые решения: Black Widow (тактический мультикоптер sUAS, Армия США SRR); FANG (БВС FPV-класса, Blue UAS); Edge 130 (VTOL для картирования и ISR); Blue Ops USV (серия Variant 5/7/11 – беспилотные надводные суда) [186].
Unusual Machines (США)	unusualmachines.com	0,42	Американский производитель БВС и их компонентов; позиционируется как Tier-1 внутренний поставщик компонентов для быстрорастущей индустрии NDAA-совместимых беспилотных систем в США. Через бренды Fat Shark (FPV-видеоочки сверхнизкой задержки), Rotor Riot (e-commerce, FPV-компоненты) и собственное производство двигателей, регуляторов скорости и других компонентов силовой установки БВС компания ориентирована на замещение китайских комплектующих в оборонных и коммерческих программах. Ключевые решения: Fat Shark (FPV-видеоочки); Riot Brave F7 (Blue UAS-сертифицированный полетный контроллер); двигатели для БВС FPV-класса и ESC; компоненты для программ разработки атрибутируемых БВС (DoD Replicator) [187].
Parrot (Франция)	parrot.com	0,30	Французский производитель микро-БВС для оборонных, правоохранительных и геопространственных задач – единственный крупный западный вертикально интегрированный производитель беспилотных систем, включая ПО Pix4D (фотограмметрия). Продукция ANAFI сертифицирована по американскому стандарту Blue UAS. Компания занимает ведущие позиции среди европейских производителей БВС для профессионального сегмента по данным Dronell за 2025 год. Ключевые решения: ANAFI Ai (4G/LTE, Open-Flight SDK); ANAFI USA (Blue UAS, dual cam-era); ANAFI Thermal; ANAFI UKR

Компания (страна)	Сайт	Рыночная капитализация на конец 2025 года, млрд долл.	Характеристика компании и ключевые решения
			(оборонный вариант); CHUCK 3.0 (автопилот); ПО Pix4D (фотограмметрия, картография, точное земледелие) [188].
Volatus Aerospace (Канада)	volatusaerospace.com	0,25	Канадская компания (TSX-V) – интегратор и оператор аэро разведывательных решений полного цикла для коммерческих, промышленных и оборонных заказчиков в Северной Америке и мире: предоставляет услуги БВС-в-аренду, беспилотной доставки грузов, ISR для оборонных структур, а также занимается продажей, сопровождением и обучением применения профессиональных БВС через дочернюю сеть Volatus Drones. Компания имеет специальные регуляторные разрешения на автономные грузовые операции BVLOS над городскими территориями Канады. Ключевые решения: Собственные платформы: DroneSpot (инфраструктура взлета/посадки); FLYTE (ПО автономных операций/доставки); Aerieport (система базирования БВС); оперативный центр управления для удаленных БВС [189].
Ideaforge Technology (Индия)	ideaforgetech.com	0,24	Ведущий индийский производитель БВС для нужд вооруженных сил, правоохранительных органов и гражданского сектора. Компания стала первым индийским производителем БВС, чьи системы сертифицированы для использования в оборонном секторе США через механизм Foreign Military Sales. Обеспечивает большую часть закупок БВС специального назначения Министерства обороны Индии. Компания разрабатывает вертикально интегрированные беспилотные системы самолётного типа и БВС мультироторного типа на собственной аппаратной и программной платформе с акцентом на надежность, продолжительность полета и эксплуатацию в сложных климатических условиях. Ключевые решения: SWITCH (фиксированное крыло VTOL,

Компания (страна)	Сайт	Рыночная капитализация на конец 2025 года, млрд долл.	Характеристика компании и ключевые решения
			до 6 часов автономности, ISR/картография); NINJA (БВС мультироторного типа с высокой ветроустойчивостью); PEGASUS (mini-ISR для городских операций); ATLAS MAX (payload-heavy quad) [190].
Primoco UAV (Чехия)	www.uav-stol.com	0,23	Чешский производитель сверхдальних БВС. Компания специализируется на разработке и производстве экономичных в эксплуатации БВС самолетного типа, способных выполнять взлет и посадку с коротких взлетно-посадочных полос (STOL) без применения дополнительного стартового оборудования. Флагманский продукт One 150 поставляется в ряд стран НАТО и Европейского союза и используется для решения задач разведки, наблюдения и рекогносцировки (ISR), охраны морских рубежей и мониторинга инфраструктуры. Ключевые решения: One 150 (универсальный тактический БВС: дальность >1 500 км, нагрузка до 20 кг, 24 ч. автономности, оснащение EO/IR, SAR, AIS); ГКУ UGCS и совместимые наземные системы [191].
Elsight (Израиль)	elsight.com	0,22	израильский разработчик решений связи для БВС и автономных систем, занимающий ведущие позиции на рынке технологий обеспечения полетов за пределами прямой видимости (BVLOS). Флагманский продукт Halo обеспечивает мультисетевое агрегирование каналов связи (4G/5G, спутниковая связь и Wi-Fi) с интеллектуальным управлением трафиком, поддерживая устойчивую высокоскоростную передачу данных даже в условиях радио-электронного противодействия. Компания была отобрана Агентством оборонных инноваций США (DIU) для участия в третьей фазе программы Project G.I., направленной на оснащение подразделений средствами связи для работы в условиях радиоэлектронного-противодействия. Решение Halo

Компания (страна)	Сайт	Рыночная капитализация на конец 2025 года, млрд долл.	Характеристика компании и ключевые решения
			интегрировано более чем 100 производителями БВС. Ключевые решения: Halo (платформа BVLOS-связи: встроенный Remote ID, low-SWaP форм- фактор); Halo Pro (расширенный диапазон); Halo Edge (для тактических применений DoD) [192].
Draganfly (Канада)	draganfly.com	0,21	Один из первых производителей БВС в мире (основан в 1998 году, Сасун, Канада): компания специализируется на БВС для задач обороны, охраны общественного порядка, спасательных операций и промышленного мониторинга, предлагая как собственные платформы, так и интегрированные решения на базе сторонних систем. Draganfly ведет деятельность по поставкам БВС и обучению пилотов для государственных и специальных структур США и Канады, а также обладает компетенциями в области GPS-независимой навигации и BVLOS-операций. Ключевые решения: Commander 3XL (тактический многоцелевой БВС, PPK/LiDAR/ИК); Draganflyer X4-P (пожарно-спасательного и правоохранительного назначения); Heavy Lift (грузовой); Tango 2 Pro (разведывательный); решения для UAV-обучения и интеграции C-UAS [193].

Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным открытых источников, 2026

Необходимо отметить, что несмотря на определенные различия в позициях компаний-лидеров мирового рынка БВС в зависимости от доступных данных и применяемой методики оценки, в целом, в последние годы положение признанных отраслевых лидеров, как на рынке гражданских БВС (таких как Delair, Parrot и др. [9]), так и на рынке БВС в целом, включающем БВС специального назначения (AeroVironment, Northrop Grumman, Lockheed Martin и т. д. [137–139]), остается достаточно стабильным. В то же время, отраслевые эксперты [194] отмечают тенденцию к консолидации рассматриваемого рынка в 2024–2025 годах. В частности, французская компания Delair, относящаяся к числу лидеров мирового рынка по оценкам ряда международных консалтинговых организаций [137–139], в октябре 2024 года объявила о приобретении компании Squadrone System, специализирующейся в области производства мультироторных БВС для решения сложных задач [195], компания Ondas (США) в сентябре 2025 года завершила сделку по поглощению

израильской инновационной компании Apeiro Motion [196] и т. д. Более подробная информация о слияниях и поглощениях в мировой отрасли БВС приведена в рамках раздела 2.1 настоящего экспертно-аналитического доклада.

Если рассматривать мировой рынок цифрового проектирования и моделирования композиционных материалов, то перечень лидеров данного рынка в последние годы остается стабильным и включает компании, занимающие также ведущие позиции на мировом рынке систем управления жизненным циклом изделия (Product Lifecycle Management, PLM). В частности, по данным Data Insights Market [164] и Market Report Analytics [162] практически половина мирового рынка цифрового проектирования и моделирования композиционных материалов в 2025 году приходится на Manufacturing Intelligent Technology и MSC Software, входившие в структуру международной технологической компании Hexagon [197–199]. В то же время, необходимо отметить, что в сентябре 2025 года заключено соглашение о приобретении подразделения разработки и проектирования (Design & Engineering, D&E) компании Hexagon, включающего подразделение MSC Software компанией Cadence Design Systems (США) – одним из лидеров рынка вычислительного программного обеспечения и ПО для автоматизации проектирования электроники [200]. Кроме того, в числе наиболее заметных участников рассматриваемого рынка выделены такие компании, как Dassault Systèmes, Siemens AG и COMSOL [162,164].

В таблице 10 представлена основная информация об отмеченных выше компаниях – лидерах и предлагаемых ими ключевых решениях.

Таблица 10. Компании – лидеры мирового рынка цифрового проектирования и моделирования композиционных материалов по состоянию на конец 2025 года: основные характеристики и ключевые решения

Компания (страна)	Сайт	Рыночная капитализация на конец 2025 года, млрд долл.	Характеристика компании и ключевые решения
Cadence Design Systems (США)	cadence.com	86,89 [201]	Компания специализируется в области разработки вычислительного ПО и ПО для автоматизации проектирования электроники [202]. Ключевые решения компании на рынке цифрового проектирования и моделирования композиционных материалов: Digimat – платформа нелинейного многомасштабного моделирования материалов и структур, ранее принадлежавшая компании Hexagon [203,204]; MaterialCenter – система управления жизненным циклом материалов, разработанная для централизации и оптимизации управления данными о

Компания (страна)	Сайт	Рыночная капитализация на конец 2025 года, млрд долл.	Характеристика компании и ключевые решения
			материалах, также ранее принадлежавшая компании Hexagon [205]; OpenEye Cadence Molecular Sciences – ПО для моделирования молекулярной динамики и проведения вычислений на базе облачной платформы, разработанной компанией OpenEye Scientific Software, приобретенной Cadence [206].
Dassault Systèmes (Франция)	3ds.com	36,51 [207]	Компания специализируется в области разработки ПО для 3D-проектирования, цифрового моделирования и управления жизненным циклом изделий (PLM). Компания объединяет 13 программных брендов на платформе 3DEXPERIENCE, применяемой ведущими производителями при проектировании конструкций из композиционных материалов, преимущественно авиационной и ракетно-космической техники [208]. Ключевые решения компании на рынке цифрового проектирования и моделирования композиционных материалов: CATIA Composites Design – специализированный модуль 3D-проектирования изделий из композиционных материалов, поддерживающий задание ориентации и порядка укладки слоев, формирование плоской развертки и передачу данных на производство [209]; SIMULIA Abaqus – пакет нелинейного анализа методом конечных элементов (МКЭ), поддерживающий расчет прогрессирующего разрушения, расслоения и усталостной деградации конструкций из композиционных материалов [210]; DELMIA Composites Manufacturing – модуль, предназначенный для планирования и моделирования технологических процессов укладки препрегов и намотки волокна [211].
Siemens AG (Германия)	siemens.com	219,29 [212]	Компания специализируется в области цифровизации и автоматизации производства.

Компания (страна)	Сайт	Рыночная капитализация на конец 2025 года, млрд долл.	Характеристика компании и ключевые решения
			Подразделение Siemens Digital Industries Software является одним из ключевых игроков на мировом рынке систем управления жизненным циклом изделия (PLM-систем) и инженерного анализа (CAE-систем), в том числе для проектирования и моделирования изделий из композиционных материалов [213]. В 2025 году компания завершила приобретение Altair Engineering (США), пополнив свой портфель специализированными инструментами для расчета и оптимизации конструкций из композиционных материалов [214]. Ключевые решения компании на рынке цифрового проектирования и моделирования композиционных материалов: Siemens NX Laminate Composites – модуль CAD/CAE-среды NX, обеспечивающий сквозное проектирование слоистых конструкций их композиционного материала от концепции до технологической документации [215]; Simcenter 3D / MSC Nastran – пакеты линейного и нелинейного анализа МКЭ для расчета прочности, устойчивости и динамики конструкций из композиционных материалов, широко применяемые в авиационной и ракетно-космической отрасли [216]; HyperWorks Suite (Altair) – комплекс инструментов, включающий OptiStruct для топологической оптимизации конструкций из композиционных материалов и ESAComp для проектирования слоистых пластин и оболочек [217].
Altair Engineering (США)	altair.com	9,63 [218] (входит в структуру Siemens AG с 2025 года [214])	Компания специализируется в области CAE-систем и высокопроизводительных вычислений. В 2025 году поглощена компанией Siemens AG [214]. Пакет HyperWorks является одним из наиболее распространенных в авиакосмической и автомобильной отраслях инструментов для оптимизации и расчета

Компания (страна)	Сайт	Рыночная капитализация на конец 2025 года, млрд долл.	Характеристика компании и ключевые решения
			конструкций из композиционных материалов [219]. Ключевые решения компании на рынке цифрового проектирования и моделирования композиционных материалов: OptiStruct – решатель МКЭ, поддерживающий топологическую оптимизацию и расчет прочности конструкций из анизотропных композиционных материалов с учетом критериев разрушения (Tsai-Wu, Hoffman и др.) [220]; Radioss – явный решатель МКЭ для анализа нелинейной динамики, ударной нагрузки и предельных деформаций конструкций из композиционных материалов [221]; ESAComp – специализированный инструмент для проектирования и верификации слоистых пластин, оболочек и сэндвич-конструкций из композиционных материалов по нормативным методикам авиационной и ракетно-космической отрасли (разработан по инициативе Европейского космического агентства) [222].
COMSOL (Швеция)	comsol.com	– (частная компания)	Компания специализируется в области разработки ПО для математического моделирования [223]. Ключевые решения компании на рынке цифрового проектирования и моделирования композиционных материалов: COMSOL Multiphysics – флагманский продукт компании, платформа мультифизического моделирования, включающая библиотеку из более 17 тыс. материалов, в т.ч. полимерных и композиционных материалов с металлической и керамической матрицей [224]; Composite Materials Module – специализированный модуль для анализа и моделирования слоистых композитных структур [225].

Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным открытых источников, 2026

Рынок инженерного ПО, в том числе работающего с композиционными материалами, в последние годы отличается высокой зрелостью [9]. В то же время, можно отметить тенденцию к консолидации рынка. Актуальные рыночные стратегии рассмотренных выше компаний предполагают выход за пределы предоставления точечных инженерных решений и формирование цифровых кросс-функциональных платформ, охватывающих все этапы цепочки создания стоимости. В частности, в конце 2025 года – начале 2026 года Cadence Design Systems (США), приобрела подразделение разработки и проектирования (Design & Engineering, D&E) компании Hexagon, представлявшее решения, лидирующие на рынке цифрового проектирования и моделирования композиционных материалов.

1.2.3. Ключевые события отрасли (кейсы), включая крупные проекты и достижения, в мире

Современный рынок БВС характеризуется ускоренным переходом к применению высокотехнологичных материалов и интеллектуальных систем управления. Ведущие мировые разработчики ориентируются на создание беспилотных систем, способных выполнять сложные задачи в полностью автономном режиме. Существенное внимание в отрасли уделяется интеграции композиционных материалов, что позволяет снижать массу конструкций при сохранении требуемых прочностных характеристик. Цифровые технологии, включая алгоритмы искусственного интеллекта и системы сенсорной навигации (LiDAR, RADAR), становятся неотъемлемым элементом функционирования современных БВС.

Некоторые ключевые события отрасли (кейсы), включая крупные проекты и достижения, иллюстрирующие развитие, как мирового рынка БВС в целом, так и, в частности, цифровых технологий обеспечения эксплуатации композитных и гибридных конструкций БВС, представлены в таблице 11.

Таблица 11. Ключевые события отрасли (кейсы), включая крупные проекты и достижения, в мире в 2025 году

Событие (страна)	Дата	Ключевые участники	Характеристика
Презентация агро-БВС Pelican 2 (США)	21 февраля 2025	Pyka	Крупнейшее в мире БВС сельскохозяйственного назначения (производительность до 90 га/час). Оснащено цифровыми системами LIDAR и RADAR для полностью автономного распыления веществ [226].
Анонс модульного БВС Raider с водородной силовой установкой (Израиль)	25 февраля 2025	HeavenDrones	Представлено модульное БВС с интеграцией технологий ИИ, способное находиться в воздухе до 12 часов и преодолевать 1000 км. Модульность конструкции предполагает использование облегченных композитных и гибридных решений [227].
Разработка системы автоматизации полетов и	7 марта 2025	AeroFlex	Разработка системы «плановых полетов», обеспечивающей полную автоматизацию процессов, включая подзарядку БВС через беспроводное устройство,

Событие (страна)	Дата	Ключевые участники	Характеристика
беспроводной зарядки БВС (Япония)			интегрированное в посадочную площадку [228].
Испытания высокоскоростного электрического аэротакси (США)	21 апреля 2025	Joby Aviation	Проведены испытания судна для перевозки четырех пассажиров со скоростью до 320 км/ч. Конструкция основана на применении передовых композиционных материалов для снижения взлетной массы [229].
Разработка композитного грузового БВС Kona (США)	30 апреля 2025	Natilus	Разработка грузового БВС Kona. Конструкция на 80% состоит из углепластика, что обеспечивает высокую удельную эффективность по массе при грузоподъемности 3,8 т. Ввод в эксплуатацию запланирован на 2028 год [230].
Презентация БВС на базе экраноплана TALAY (Турция)	7 августа 2025	SolidAERO	Автономное БВС с интеграцией технологий ИИ, использующее эффект экрана для полета. Цифровые алгоритмы обеспечивают стабильность гибридной конструкции при движении вблизи поверхности [231].

Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным открытых источников, 2026

Анализ приведенных примеров показывает, что развитие отрасли БВС идет по пути повышения многофункциональности и весовой эффективности конструкций. Использование углепластика и гибридных материалов становится новым промышленным стандартом, что позволяет достигать высокой грузоподъемности при сохранении мобильности. Заметен тренд на внедрение экологически чистых силовых установок, включая водородные двигатели и полностью электрические системы для аэротакси. С целью расширения возможности коммерческого применения БВС реализуются проекты автоматизации процессов обслуживания, включая инновационные системы беспроводной зарядки и автономное планирование полетов. Широкая география разработок, охватывающая компании из США, Израиля, Японии и Турции, подчеркивает глобальный и конкурентный характер данной отрасли. Значительная доля представленных событий проходит на территории США.

По результатам проведенного Инфраструктурным центром «Технет» респонденты отмечают, что в 2025 году мировой рынок авиации eVTOL перешел от стадии демонстрационных проектов к этапу масштабирования производства и практического внедрения технологий. По их оценкам, ключевые регуляторы авиационной отрасли сосредоточились на создании условий для коммерческой эксплуатации новых воздушных судов: в США Федеральное управление гражданской авиации (FAA) продолжило развитие механизмов сертификации и допуска, а в Европе Агентство по авиационной безопасности (EASA) сертифицировало первого провайдера U-space для выполнения BVLOS и автоматизированных полетов. В результате фокус развития сместился в сторону формирования необходимой инфраструктуры и совершенствования нормативно-правового регулирования.

Международные события отрасли БВС выполняют задачу не только обмена опытом, но и формирования межрегиональных партнерств и выработки единых стандартов в области производства композитных конструкций. В частности, участниками обсуждаются не только технические аспекты создания БВС, но и актуальные вопросы сертификации и правового регулирования нового типа

транспорта, что необходимо для управляемого развития рынка беспилотных и гибридных систем в ближайшие годы. В таблице 12 представлены некоторые отраслевые мероприятия по теме цифровых технологий обеспечения эксплуатации композитных и гибридных конструкций БВС в мире.

Таблица 12. Ключевые отраслевые мероприятия в мире в 2025 году

Название (место проведения)	Даты	Тип	Организаторы и ключевые участники	Описание
XPONENTIAL Europe 2025 (Германия, Дюссельдорф)	18–20 февраля 2025	Конференция (в рамках выставки)	Messe Düsseldorf, AUVSI и др.	Ключевая тематика трека «Components, Materials & Propulsion»: легковесные высокопрочные композиты, аддитивное производство, модульные конструкции, а также компоненты с поддержкой ИИ. Обсуждались вопросы оптимизации и надежности конструкций автономных систем [232].
AMPE Germany Symposium 2025 (Германия, Ахен)	2–3 апреля 2025	Национальный симпозиум	SAMPE Germany, RWTH Aachen University (IKV, ITA, AZL, SLA). Участники: Hexagon Purus, Mitsui Chemicals, Envalior, Polytec Group, CTC GmbH и др.	Ключевые темы: применение композитов в авиации для снижения веса, инновационные решения для водородных баллонов (композитные сосуды давления), а также цифровизация производственных систем для композитных компонентов [233].
Amsterdam Drone Week (Нидерланды, Амстердам)	8–10 апреля 2025	Международный форум	RAI Amsterdam	Основные тематические направления мероприятия: складское хранение, техническое обслуживание, логистика, транспорт, авиационные технологии, автоматизированное управление [234].
XPONENTIAL 2025 (США, Хьюстон)	19–22 мая 2025	Международная выставка и конференция	Association for Uncrewed Vehicle Systems International (AUVSI), Messe Düsseldorf North	Ключевые темы: интеграция ИИ в навигацию, передовые технологии коммуникации, компоненты для БВС. На выставке CRP USA продемонстрировала

Название (место проведения)	Даты	Тип	Организаторы и ключевые участники	Описание
			America и др.	применение Windform-композитов (угле- и стекло-наполненных термопластичных полимеров) для 3D-печати высокопрочных и легких конструкций UAS и спутников «кубсат» (CubeSat) [235].
Japan Drone / International Advanced Air Mobility Expo 2025 (Япония, Токио)	4–6 июня 2025	Международная выставка	Japan UAS Industry Development Associa-tion (JUIDA)	Ключевые темы: создание новых отраслей, поддержка реализации инициатив по реализации летающих транспортных средств [236].
Paris Air Show 2025 (Франция, Ле-Бурже)	16–22 июня 2025	Международный авиасалон	SIAE (дочерняя компания Groupement des Industries Françaises Aéronautiques et Spatiales, GIFAS), Airbus, Thales, Dassault, Safran, Toray, Hexcel, Lohia Aerospace Systems, Eve Air Mobility, Quantum Systems, Skydweller Aero и др.	Ключевые темы: применение передовых композиционных материалов в конструкциях БАС и цифровые технологии проектирования. Салон стал площадкой для стратегических альянсов в области БВС, включая партнерство Airbus с Quantum Systems и контракты Lohia Aerospace Systems на поставку композитных узлов для новых беспилотных платформ [237].
ADF x Aviation Africa 2025 (Руанда, Кигали)	4–5 сентября 2025	Международный форум	Управление гражданской авиации Руанды и Министерством ИКТ и инноваций Руанды	Ключевые темы: экономические аспекты применения БВС в Африке с учетом региональной специфики, отраслевое регулирование [238].
CAMX 2025 (США, Орландо)	9–11 сентября 2025	Международная выставка и конференция	ACMA (American Composites Man-ufacturers Associ-ation), SAMPE. Участники: Toray, Hexcel, A&P Technology, NIAR (National	Применение композитов в аэрокосмической отрасли и сегменте городской аэромобильности (Advanced Air Mobility, AAM). Компания Toray представила компоненты для Joby Aviation. NIAR представила систему IAMIS

Название (место проведения)	Даты	Тип	Организаторы и ключевые участники	Описание
			Institute for Aviation Research), Greene Tweed, Dieffen-bacher и др.	для автоматизированной выкладки волокна (Automated Fiber Placement, AFP) с использованием технологий машинного обучения для обнаружения дефектов в режиме реального времени. Также обсуждалась сертификация FAA для overbraided-конструкций (Hexcel, A&P, NIAR) на примере воздухозаборников для БВС Kratos XQ-58A Valkyrie [239].

Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным открытых источников, 2026

Отраслевые события имеют широкую географию, преимущественно представленную США и странами Европы. При этом фиксируются и региональные события с международным участием в странах Азиатско-Тихоокеанский региона и Африки. Крупнейшие авиасалоны и специализированные симпозиумы подтверждают растущий интерес инвесторов к сегменту городской аэромобильности (AAM). Мероприятия, проводимые в Европе, Азии и Африке, направлены на решение задач адаптации беспилотных систем под специфические региональные экономические и логистические потребности. Важным практическим результатом взаимодействия на таких площадках становится формирование стратегических партнерств между поставщиками компонентов и конечными производителями авиационных платформ. В целом отрасль находится на этапе перехода от экспериментальных разработок к масштабному внедрению надежных и безопасных автономных систем.

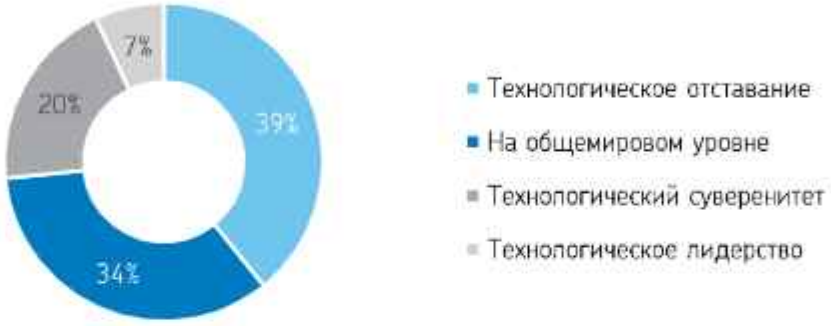
1.3. Текущее состояние рынка и ключевые события отрасли в России

1.3.1. Структура и динамика развития российского рынка по состоянию на конец 2025 – начало 2026 года

В российской практике при анализе рынка БВС рассматривается более широкий сегмент беспилотных авиационных систем (БАС), согласно действующему законодательству, определяемых как «комплексы взаимосвязанных элементов, включающие 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» [240].

По результатам проведенного Инфраструктурным центром «Технет» опроса, 39% респондентов оценивают текущее состоянии развития отрасли БАС в Российской Федерации как технологическое отставание, 34% респондентов считают, отрасль развивается на общемировом уровне. Структура ответов представлена на рисунке 49.

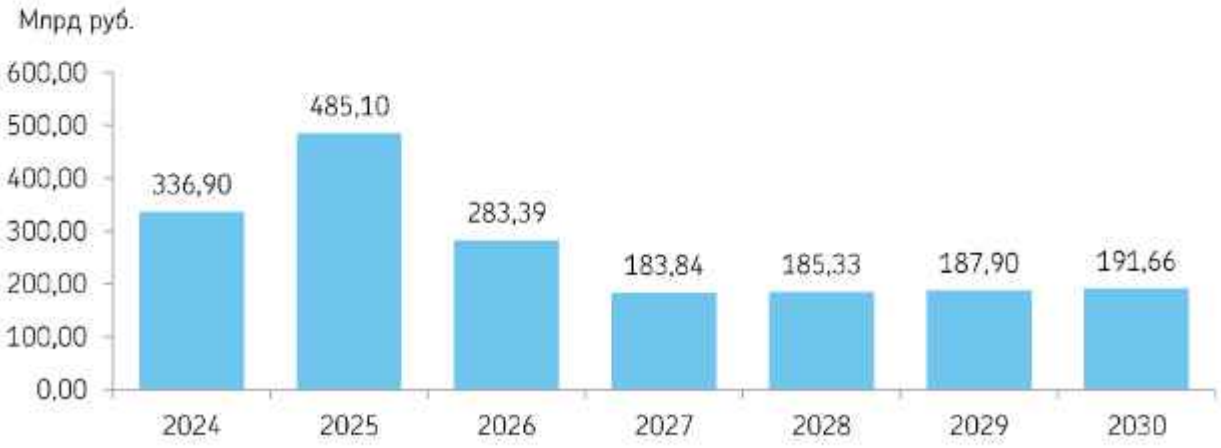
Рисунок 49. Структура ответов по текущему состоянию развития отрасли БАС в Российской Федерации, %



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по результатам опроса, 2026

По состоянию на конец 2025, по данным Ассоциации работодателей и предприятий индустрии беспилотных авиационных систем «АЭРОНЕКСТ», приведенным в аналитическом отчете «Архитектура рынка беспилотной авиации в 2025 году» [241], полный объем рынка БАС в 2025 году составил 485,1 млрд руб. (или 5,78 млрд долл. по курсу Центрального банка Российской Федерации на 21.03.2026 [242]), что на 44% превышает значение аналогичного показателя за 2024 год, а также на 43% превосходит расчетное (ожидаемое) значение объема рынка на 2025 год, приведенное в аналитическом отчете АЭРОНЕКСТ от 30 декабря 2024 года [243]. При этом необходимо отметить, что по актуальным данным оценка объема рынка в 2024 году также была скорректирована с 335,9 млрд руб. по состоянию на конец 2024 года [243] до 336,9 млрд руб. по состоянию на конец 2025 года [241] (рисунок 50).

Рисунок 50. Объем рынка БАС в Российской Федерации в 2024–2030 гг., млрд руб.



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным АЭРОНЕКСТ [241], 2026

По данным мета-анализа АНО «ФЦ БАС» [145] доля российского рынка в общем объеме мирового рынка БВС по состоянию на конец 2025 года оценивается в 10% (рисунок 51).

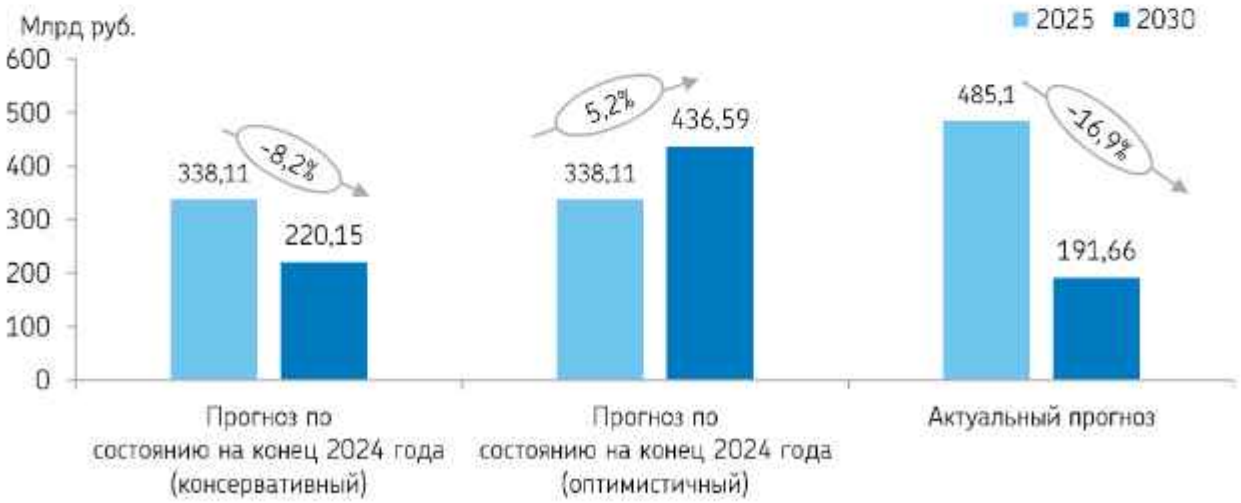
Рисунок 51. Объем рынка БАС в Российской Федерации (млрд долл.) и доля российского рынка в общем объеме мирового рынка БВС (%) в 2024–2030 гг.



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным АНО «ФЦ БАС» [145], АЭРОНЕКСТ [241], Банка России [242], 2026

При этом, по оценкам экспертов АЭРОНЕКСТ [241], в 2025–2030 годах ожидается сокращение общего объема рынка в Российской Федерации, в среднем, на 16,9% в финансовом выражении – с 485,1 млрд руб. в 2025 году до 191,66 млрд руб. в 2030 году или с 5,78 млрд долл. в 2025 году до 2,28 млрд долл. в 2030 году по курсу Центрального банка Российской Федерации на 21.03.2026 [242]. При этом, прогнозные оценки динамики по состоянию на конец 2025 года уступают значениям соответствующих показателей, рассчитанных годом ранее (рисунок 52).

Рисунок 52. Объем рынка БАС в России в 2025–2030 гг., млрд руб.; CAGR, % (сравнение прогнозных данных)

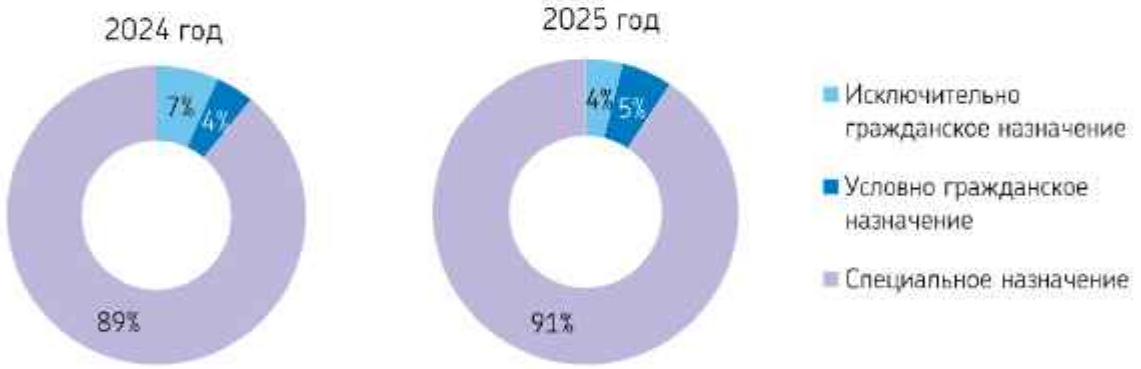


Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным АЭРОНЕКСТ [241,243], 2026

В частности, актуализированное прогнозное значение объема рынка в России в 2030 году оценивается в 191,66 млрд руб., что на 13% ниже значения соответствующего показателя, рассчитанного в рамках консервативного прогноза по состоянию на конец 2024 года, и на 56% ниже соответствующего «оптимистичного» значения. Соответственно, если ориентироваться на мета-анализ АНО «ФЦ БАС» [145] в части глобальных оценок, то доля России в общем объеме мирового рынка сократится с 10% в 2025 году до 2% в 2030 году [241,243]. В то же время, специалисты инвестиционной компании по созданию технологических холдингов в стратегически важных отраслях Sk Capital, согласно оценкам, опубликованным в марте 2025 года, предполагают наращивание российской доли на мировом рынке до 14%–18% к 2030 году при сохранении текущих темпов роста, принятии необходимых регуляторных решений и продолжении государственной поддержки. При этом Россия сможет войти в ТОП–5 стран – лидеров мирового рынка [244]. В рамках опроса Инфраструктурного центра «Технет», респонденты, наряду с ожидаемым ростом потребности в БАС — с 5,5 до 28 тыс. единиц в год, – выделяют оценки потенциальной доли Российской Федерации на мировом рынке БАС в качестве одного из наиболее ожидаемых результатов развития отрасли к 2030 году.

Снижение прогнозных оценок к концу 2025 года, прежде всего, связано с отмечаемым снижением доли гражданского сегмента рассматриваемого рынка в 2024–2025 годах [241], в том числе в связи с сокращением государственного гражданского заказа [245] (рисунок 53).

Рисунок 53. Структура российского рынка БАС в 2024–2025 гг. по назначению, %



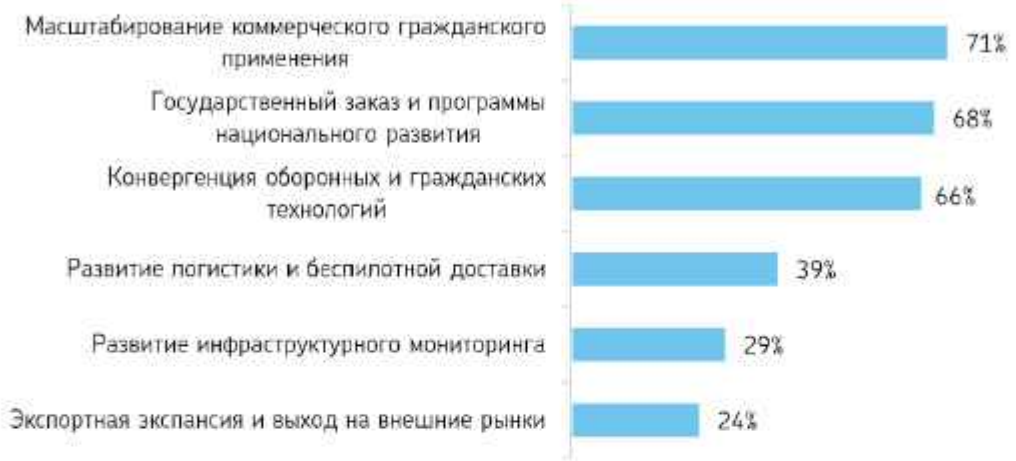
Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным АЭРОНЕКСТ [241], 2026

При этом в финансовом выражении сегмент исключительно гражданского назначения сократился с 22,7 млрд руб. в 2024 году до 15,15 млрд руб. в 2025 году, в то время как сегмент условно гражданского назначения (выручка участников рынка, которую в ходе исследования удается идентифицировать, как относящуюся с вероятностью более 80% к реализации продукции для оборонного сегмента экономики вне рамок государственного оборонного заказа [243]) вырос с 14,2 млрд руб. до 20,9 млрд руб. соответственно [241].

В то же время, отмечается рост интенсивности полетов гражданских БВС в 2025 году по сравнению с 2024 годом на 20%. По данным Правительства Российской Федерации, за два года реализации национального проекта «Беспилотные авиационные системы» произведено более 31 тыс. гражданских БВС для различных сценариев применения [246].

Ключевыми драйверами роста отрасли БАС до 2030 года, по результатам опроса Инфраструктурного центра «Технет», определены масштабирование коммерческого гражданского применения, госзаказ и программы национального развития, конвергенция оборонных и гражданских технологий (рисунок 54). В рамках данного вопроса допускался множественный выбор ответов.

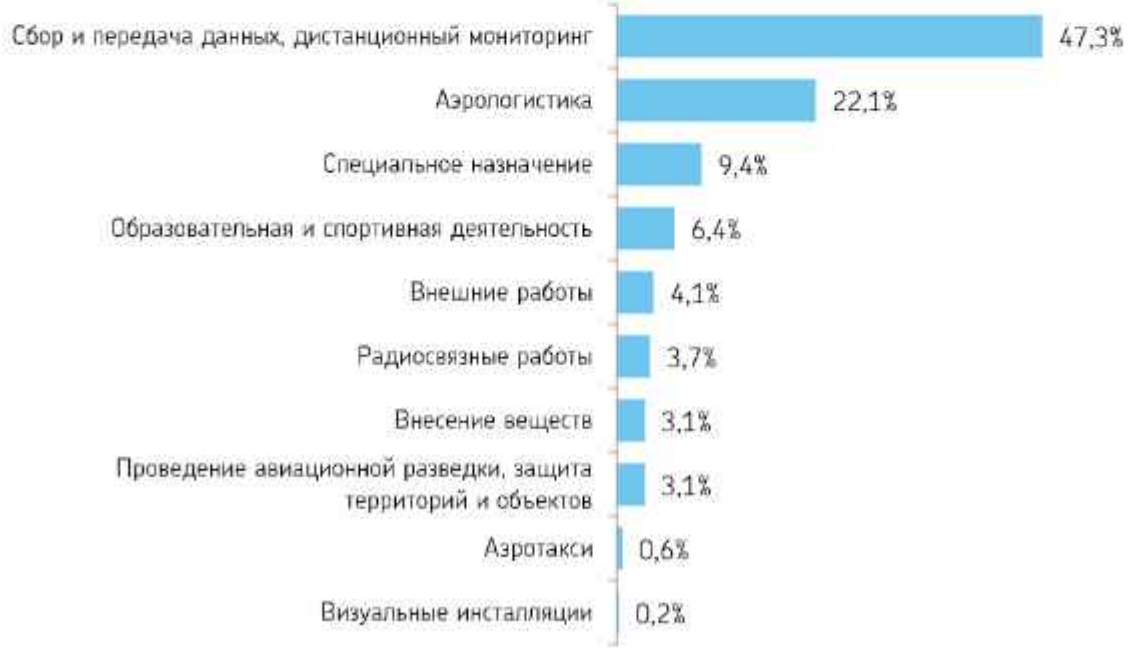
Рисунок 54. Структура ответов о ключевых драйверах роста отрасли БАС до 2030 года, %



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по результатам опроса, 2026

Лидирующей областью применения, по данным Ассоциации работодателей и предприятий индустрии беспилотных авиационных систем «АЭРОНЕКСТ», приведенным в аналитическом отчете «Архитектура рынка беспилотной авиации в 2025 году» [241], остается сбор и передача данных, дистанционный мониторинг (рисунок 55).

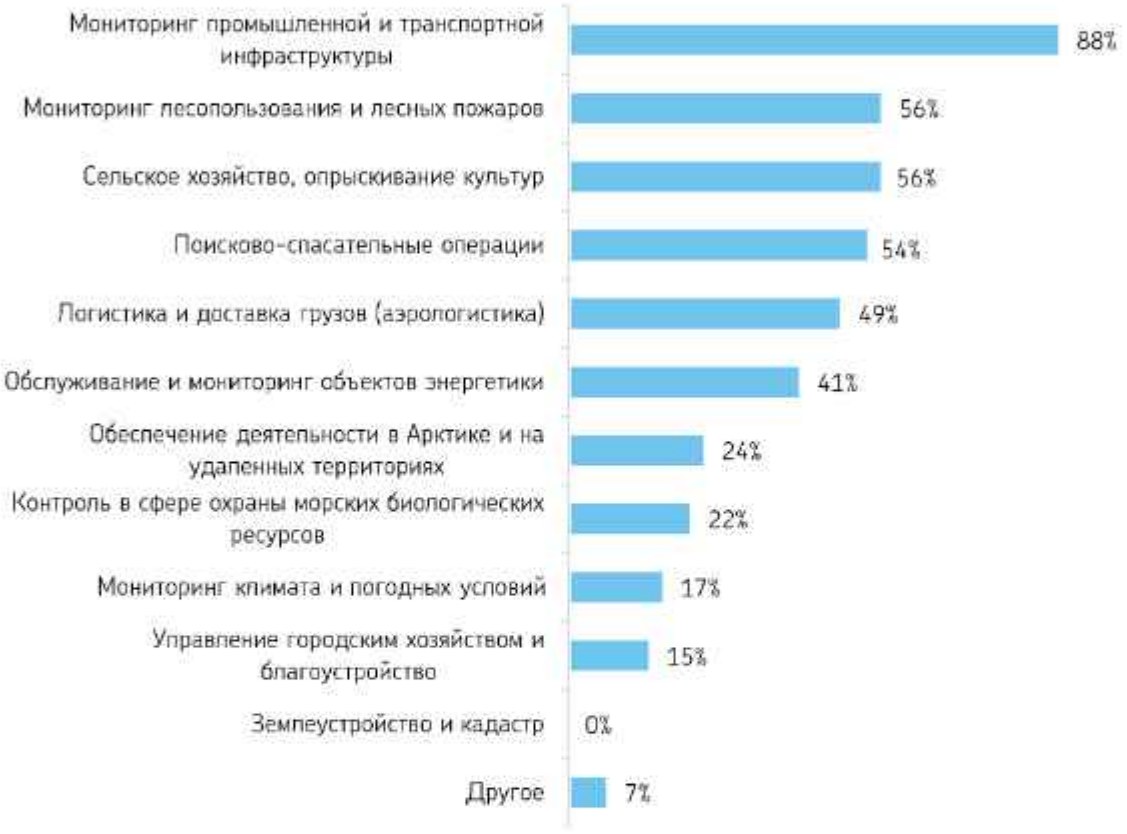
Рисунок 55. Ключевые направления применения БВС в России по состоянию на конец 2025 г., %



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным АЭРОНЕКСТ [241], 2026

Наиболее перспективными сферами применения БАС до 2030 года, по результатам опроса Инфраструктурного центра «Технет», определены мониторинг промышленной и транспортной инфраструктуры, мониторинг лесопользования и лесных пожаров, опрыскивание культур, поисково-спасательные операции и др. Категория «Другое» включает применение БАС в специфических отраслевых задачах, решаемых в автомобильной промышленности и ОПК. Вопрос подразумевает множественный ответ, подробная структура ответов представлена на рисунке 56.

Рисунок 56. Структура ответов о наиболее перспективных сферах применения БАС до 2030 года, %

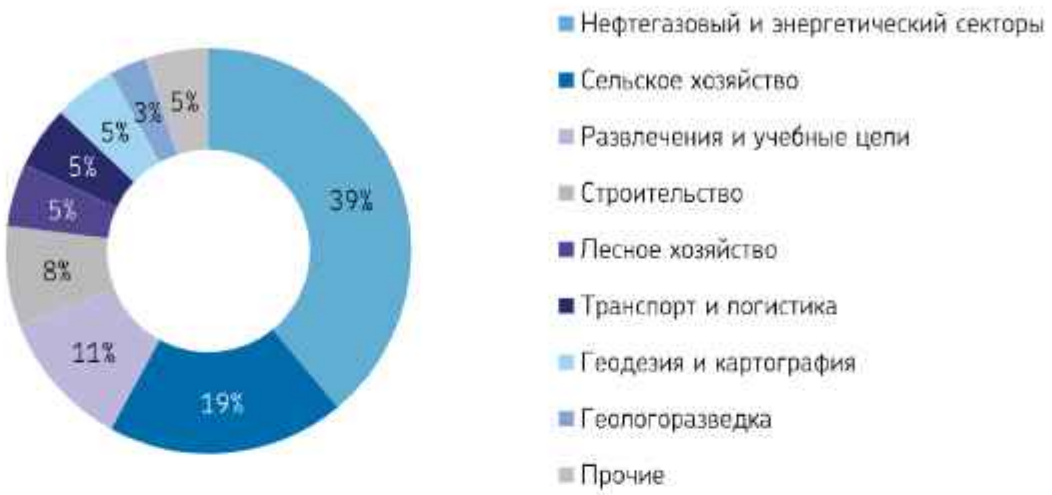


Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по результатам опроса, 2026

В отраслевом разрезе в гражданском сегменте рынка БВС, согласно опубликованным в апреле 2025 года результатам анализа рынка гражданских коммерческих БВС компании «ГидМаркет» [247,248], лидировали нефтегазовый и энергетический секторы, второе место среди отраслей потребления гражданских БВС пришлось на сельское хозяйство (рисунок 57).

По состоянию на 2025 год, отраслевые эксперты также подтверждают значимую роль БВС в контексте энергетики, нефтегазовой отрасли и сельского хозяйства. По данным компании «Сеть свободного сотрудничества», специализирующейся в области разработки средств обеспечения безопасности и защиты от угроз, связанных с БВС, наибольший экономический эффект от применения БАС достигается в агропромышленном секторе, энергетике и нефтегазовой отрасли. По оценкам компании, мониторинг и геологоразведка с использованием БВС в среднем в три раза дешевле по сравнению с традиционными методами, включая спутниковую съемку, а осмотр линий электропередачи с применением БВС выполняется в пять раз быстрее [249].

Рисунок 57. Структура гражданского сегмента рынка БВС в России в 2023 г. по отраслям, %



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным «ГидМаркет» [247,248], 2025

По данным компании ООО «Лаборатория будущего» применение БВС для обслуживания линий электропередачи позволяет заменить работу от трех до пяти бригад электромонтеров. В зимний период с использованием БВС выполняются работы по сбросу снега и нанесению антигололедных составов, в летний период – обработка проводов антикоррозийными составами. При этом возможность посадки БВС на фазные провода, находящиеся под напряжением, обеспечивает проведение работ без необходимости отключения линии. По данным компании ООО «Флай дрон» – компании-резидента Инновационного Фонда Сколково, специализирующейся в области разработкой системы единого окна цифровых сервисов жизненного цикла БВС, отмечает, что в агропромышленном комплексе применение БВС повышает экономические показатели предприятий АПК на 5-10% [249].

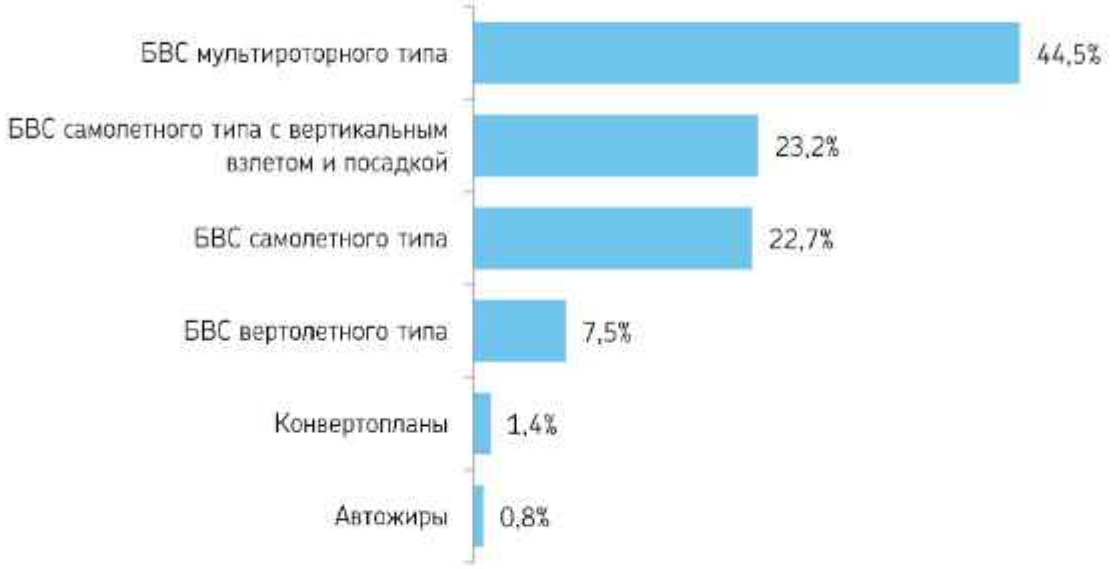
В качестве типов конструкций БВС эксперты Ассоциации работодателей и предприятий индустрии беспилотных авиационных систем «АЭРОНЕКСТ» [241] выделяют:

- БВС вертолетного типа, оснащенные большим ведущим винтом, и иногда – дополнительным винтом на хвосте для контроля траектории полета;
- мультироторные БВС, имеющие больше двух несущих винтов;
- БВС самолетного типа, как уже было сказано выше, оснащенные несущими крыльями, обеспечивающими подъемную силу и полет за счет напора воздуха, набегающего на неподвижное крыло;
- БВС самолетного типа с вертикальным взлетом и посадкой;
- конвертопланы – гибридные винтокрылые БВС с поворотными двигателями, которые на взлете и при посадке работают как подъемные, а в горизонтальном полете – как тянущие или толкающие;
- автожиры – гибридные винтокрылые БВС, использующие для создания подъемной силы свободновращающийся в режиме авторотации несущий винт.

По состоянию на конец 2025 года в качестве преобладающей группы по типу конструкции эксперты «АЭРОНЕКСТ» [241] называют БВС мультироторного типа, на которые приходится 44,5% от общего числа БВС, разрабатываемых и изготавливаемых в России, зарегистрированных на

платформе «Компонент» (рисунок 58). На втором и третьем местах, при этом, находятся БВС самолетного типа с вертикальным взлетом и посадкой, и БВС самолетного типа, на которые приходится 23,2% и 22,7% от общего числа БВС, соответственно.

Рисунок 58. Ключевые типы конструкции БВС в России по состоянию на конец 2025 г., %



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным АЭРОНЕКСТ [241], 2026

Необходимо отметить, что по состоянию на конец 2025 года, в целях стимулирования развития рынка БВС и в целом отрасли БАС в Российской Федерации продолжаются мероприятия, реализуемые в рамках национального проекта «Беспилотные авиационные системы» [5], а также Стратегии развития беспилотной авиации до 2030 года и на перспективу до 2035 года [6]. Кроме того, по итогам совещаний по вопросам развития БАС в Российской Федерации, в марте 2025 года и в феврале 2026 года утверждены перечни поручений Президента Российской Федерации, также направленные на развитие рассматриваемой области в части:

- Расширения использования БАС, в т.ч. в целях осуществления государственного контроля (надзора), предусмотрев при необходимости внесение изменений в законодательство Российской Федерации.
- Обеспечения создания комплекса решений в области связи и инфраструктуры БАС, а также создания и функционирование единой системы мониторинга.
- Нормативного регулирования производства и эксплуатации БАС, в т.ч. устранения избыточных требований, разработки и утверждения технических стандартов и порядка сертификации автономных систем, формирования и утверждения планов мероприятий (включая целевые показатели) по внедрению БАС, а также реализации, актуализации и финансирования мероприятий, предусмотренных планами мероприятий («дорожными картами»), утвержденными в рамках Национальной технологической инициативы.
- Стимулирования разработки и производства российских автономных систем и комплектующих изделий к ним, повышения уровня локализации, а также повышения эффективности механизма государственного гражданского заказа.
- Создания системы подготовки и переподготовки профильных специалистов и т.д. [7,8].

Если рассматривать российский рынок инженерного ПО, включающий цифровые технологии обеспечения эксплуатации композитных и гибридных конструкций БВС, то эксперты Группы компаний Б1, специализирующейся в области аудита, стратегического, технологического и бизнес-консалтинга, сделок, оценки, налогообложения, права и сопровождения бизнеса [250], в рамках исследования рынка ПО и ИТ-услуг [251], опубликованного в 2025 году, оценивают объем рынка инженерного ПО и ПО для автоматизации управления производством в 2025 году в 38 млрд руб., предполагая рост рынка в 2024–2025 годах на уровне 12%. При этом к 2032 году предполагается рост объема рассматриваемого рынка до 66 млрд руб. (рисунок 59).

Рисунок 59. Объем рынка инженерного ПО и ПО для автоматизации управления производством в Российской Федерации в 2024–2030 гг., млрд руб.; CAGR в 2025–2030 гг., %



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным Группы компаний Б1 [251], 2025

В то же время, специалисты компании «Системный софт», специализирующейся в области поставки и установки программного и аппаратного обеспечения, оказания услуг внедрения и сопровождения ПО и аппаратного обеспечения, а также экспертных и консультационных услуг [252], по итогам 2025 года оценивают объем рынка инженерного ПО в Российской Федерации на уровне 50–55 млрд руб., отмечая 20% прирост рынка по сравнению со значением аналогичного показателя по состоянию на конец 2024 года [253]. Аналогичную оценку рынка инженерного ПО в 2025 году в размере 50 млрд руб. дали представители Правительства Российской Федерации в ходе международного цифрового форума «Digital Qazaqstan 2026» в Казахстане, г. Шымкент [254].

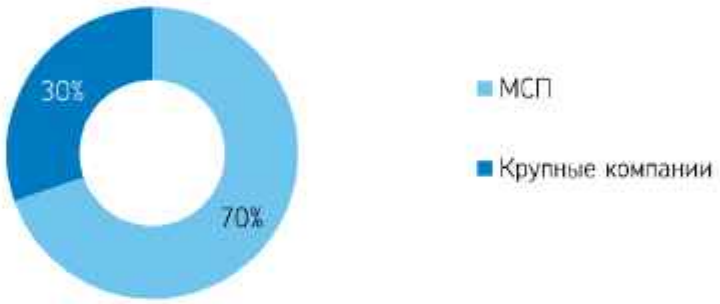
По состоянию на конец 2025 года крупнейшим сегментом рынка инженерного ПО, формирующим его основу, продолжают оставаться системы автоматизированного проектирования (САПР) [252]. Отмечается, что рассматриваемый рынок в целом существенно смещается в сторону комплексных подходов: устойчиво растет спрос на PLM- и PDM-системы, что отражает переход компаний от точечной автоматизации к управлению жизненным циклом изделия и инженерными данными. При этом динамика рынка в среднесрочной перспективе будет во многом определяться макроэкономической ситуацией и инвестиционной активностью предприятий-заказчиков.

1.3.2. Лидеры российского рынка и ключевые предлагаемые решения

Российская Федерация находится на втором месте среди стран БРИКС по числу компаний-производителей беспилотных систем и их компонентов, благодаря как сложившемуся сектору «старых» технологических компаний, так и активному развитию малого и среднего предпринимательства на фоне усиления роли беспилотной авиации в обороноспособности страны [255].

В частности, по состоянию на март 2025 года, число малых и средних предприятий – производителей БАС оценивалось специалистами Федеральной корпорации по развитию малого и среднего предпринимательства» (Корпорации МСП) в 619 единиц, при этом было отмечено, что около 70% от общего числа предприятий отрасли приходится на малый и средний бизнес (рисунок 60) [256].

Рисунок 60. Структура российских производителей беспилотных авиационных систем по состоянию на март 2025 г. в зависимости от размера предприятия, ед.



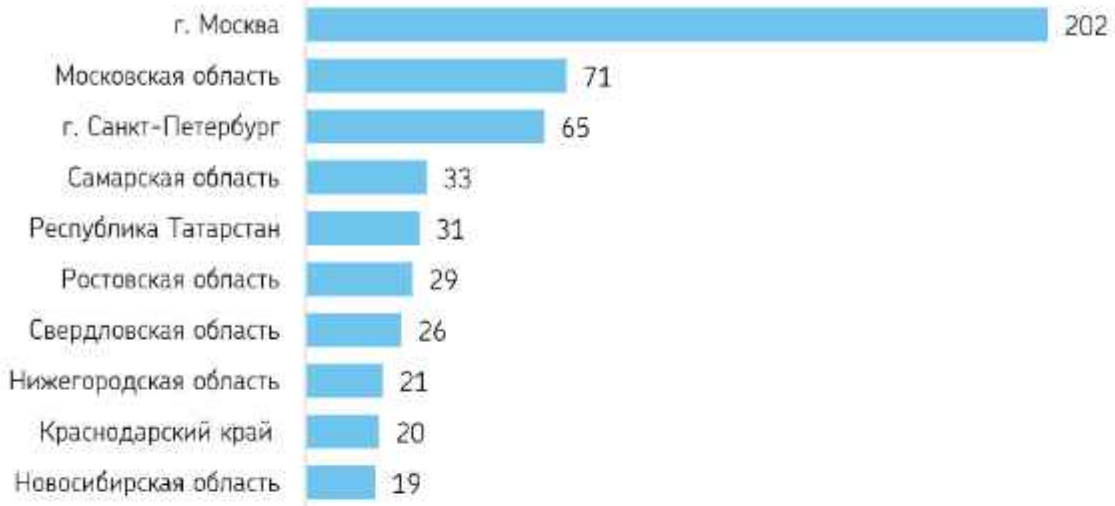
Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным Корпорации МСП (цит. по ТАСС [256]), 2025

При этом, по оценкам специалистов Корпорации МСП [257] по состоянию на февраль 2026 года, только в сфере малого и среднего предпринимательства насчитывается около 3,6 тысяч предприятий, участвующих в производстве БАС, если рассматривать организации, имеющие соответствующий ОКВЭД в качестве дополнительного. В большинстве случаев к выделенной выше группе относятся предприятия, специализирующиеся на производстве отдельных узлов и компонентов для широкого спектра машин и оборудования. В качестве примера можно привести приборостроительные компании, специализирующиеся в сфере выпуска навигационных систем, которые также могут быть использованы при производстве БВС.

В то же время, число предприятий, у которых производство БАС и их компонентов является основным видом деятельности, среди компаний малого и среднего бизнеса, по оценкам специалистов Корпорации МСП, составляет 793 единицы. За последние три года значение данного показателя возросло с 352 компаний, то есть более чем в 2 раза, при этом темп прироста рассматриваемого показателя в течение последних двух лет находился на достаточно высоком уровне – 15%.

По субъектам Российской Федерации абсолютным лидером считается г. Москва, на который приходится более четверти от общего числа малых и средних предприятий – производителей БАС и их компонентов (рисунок 61) [257].

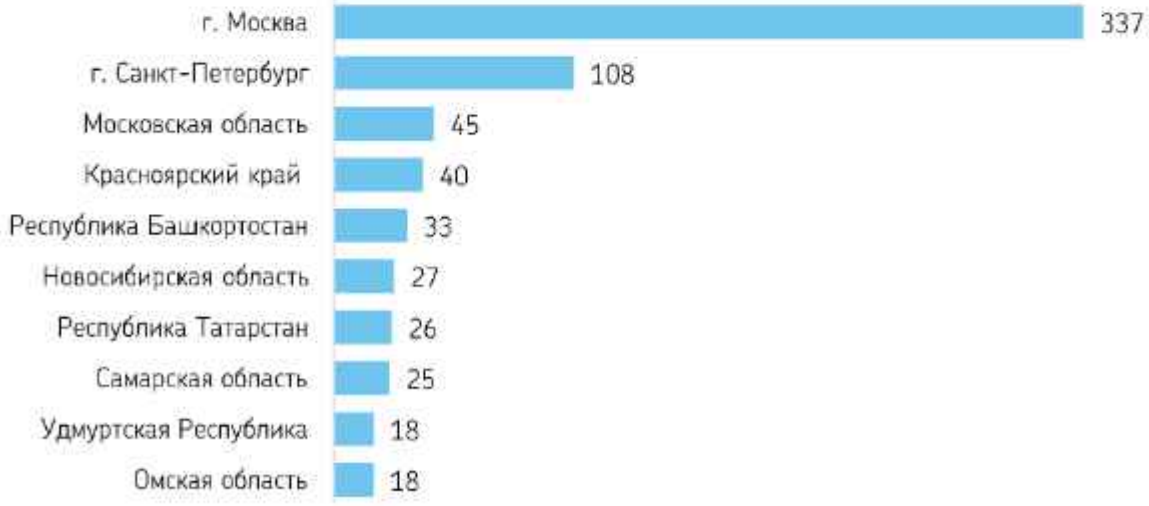
Рисунок 61. ТОП-10 субъектов России по числу малых и средних предприятий – производителей БАС и их компонентов по состоянию на февраль 2026 г., %



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным Корпорации МСП [257], 2026

По данным Ассоциации работодателей и предприятий индустрии беспилотных авиационных систем «АЭРОНЕКСТ» [241], по состоянию на конец 2025 года общее число организаций, зарегистрированных в отраслевой базе статистики рыночной и производственной деятельности технологической платформы «Компонент» [258], составило 1011 единиц. Абсолютным лидером по числу компаний – участников рынка среди субъектов Российской Федерации, как и в случае с малыми и средними предприятиями, является г. Москва, на которую приходится 337 организаций или более 42% от общего числа организаций, зарегистрированных в системе (рисунок 62).

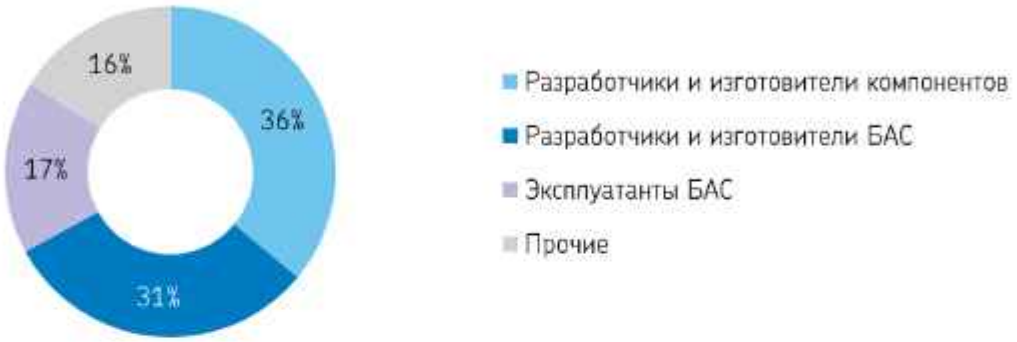
Рисунок 62. ТОП-10 субъектов России по числу предприятий – участников рынка БАС по состоянию на конец 2025 г., %



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным АЭРОНЕКСТ [241], 2026

В структуре организаций отрасли по видам деятельности по состоянию на конец 2025 года лидируют разработчики и изготовители компонентов, на втором месте находятся непосредственно компании – разработчики и изготовители беспилотных систем (рисунок 63).

Рисунок 63. Структура предприятий – участников отрасли БАС по основному виду деятельности по состоянию на конец 2025 г., %



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным АЭРОНЕКСТ [241], 2026

В число «Прочие» входят организации, на каждую из которых приходится менее 5% от общего рассматриваемого числа: научные организации – 4%; разработчики цифровых сервисов и платформ – 3%; разработчики систем защиты– 3%; научно-производственные центры (НПЦ) – 3%; организации, специализирующиеся в области технического обслуживания и ремонта (ТОиР) – 1%; операторы экспериментальных правовых режимов (ЭПР) – 1%; особые экономические зоны – 1%.

Согласно информации о государственной регистрации предприятий, за период с 2020 по 2024 год число ежегодно регистрируемых предприятий возросло более чем в три раза [241]. В то же время, по состоянию на конец 2025 года наблюдается существенный спад предпринимательской активности в рассматриваемой отрасли (рисунок 64).

Рисунок 64. Количество зарегистрированных предприятий в 2020–2025 гг., ед.; CAGR в 2020–2024 гг., %



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным АЭРОНЕКСТ [241], 2026

Несмотря на отмеченный рост общего числа предприятий – участников рынка БАС в последние годы, в т.ч. на увеличение числа малых и средних предприятий – производителей, положение лидеров рынка остается достаточно стабильным. В частности, согласно компании «ГидМаркет» [247,248], к крупнейшим отечественным операторам рынка производства гражданских БВС в России относятся такие организации, как:

- Группа компаний «Геоскан» – российская группа технологических компаний, деятельность которой охватывает оказание услуг с использованием БВС и разработку и производство БАС, включая БВС, малых космических аппаратов формата «кубсат» (от англ. «CubeSat»: «cube» + «satellite»), а также всего комплекса электронного оборудования, предназначенного для работы на борту летательных аппаратов [259];
- Группа компаний «Беспилотные системы» – группа компаний, входит в АО «Концерн «Калашников» (Госкорпорации «Ростех»), один из ведущих российских разработчиков и производителей БВС, целевых нагрузок и мобильных комплексов, специализирующийся в сфере решений для авиационного мониторинга, в т.ч. обеспечивающий оказание услуг воздушного мониторинга, а также обладающий лицензированным учебным центром для профессиональной подготовки операторов на базе собственных индивидуальных курсов обучения программным решениям и тактикам применения систем [260,261].

К числу значимых участников российского рынка БВС относятся компании [247,248]:

- Группа компаний «Аэромакс» – группа компаний, созданная с целью развития гражданских беспилотных проектов и цифровых геоинформационных платформ. Группа компаний является эксплуатантом БВС, а также интегратором цифровых решений с геопространственными данными для различных секторов экономики. Предлагает комплексные решения с использованием БАС и геоинформационных платформ для различных отраслей: нефтегазового сектора, электроэнергетики, лесного комплекса, сельского хозяйства, строительства, градостроительства и землеустройства, охраны окружающей среды. Парк БАС включает беспилотные системы вертолетного типа (SH-3000, SH-450, SH-750, SH-350), самолетного типа (Д-20, Д-20К, Д-12, Д-12К, АС-32-08, АС-32-10) и коптерного типа (АС-МК-4, АС-МК-6). До осени 2025 года группа компаний входила в ПАО АФК «Система», после чего единственным учредителем стал ЗПИФ «ТЕХНОФОНД» [262,263].
- Группа компаний «Икар» – группа компаний, которая занимается проектированием и разработкой БАС и их компонентов, а также работает в сфере инженерных решений, ведет научно-исследовательскую деятельность. Группа компаний «ИКАР» обладает опытом авиационного инжиниринга, что в комплексе с собственными конструкторскими бюро, производством, испытательным и R&D центром делает компанию одним из важных игроков в аэрокосмической отрасли. Группа компаний реализовала более 200 проектов в авиации, машиностроении, автомобильной и железнодорожной промышленности. С 2023 года группа компаний начала проектирование и серийное производство БВС гражданского назначения. До осени 2025 года группа компаний входила в ПАО АФК «Система», после чего единственным учредителем стал ЗПИФ «ТЕХНОФОНД» [262,264].
- Группа компаний «ZALA» – ведущий российский разработчик и производитель БВС, целевых нагрузок и мобильных комплексов. Главными продуктами являются беспилотные комплексы и программные решения для авиационного мониторинга. В настоящее время в

России беспилотные комплексы ZALA применяются для охраны государственных границ, проведения разведывательных и спасательных операций, мониторинга нефтегазовой инфраструктуры, обследования объектов повышенной опасности и мест чрезвычайных ситуаций. ZALA является поставщиком услуг воздушного мониторинга для нефтегазовой промышленности. Обладает учебным центром для подготовки операторов и разрабатывает курсы обучения программным решениям и тактикам применения систем [265].

- АО «НПП «Радар ММС» – один из лидеров в области создания радиоэлектронных систем и комплексов, точного приборостроения, программного обеспечения. АО «НПП «Радар ММС» трижды (в 2010, 2015 и 2019 гг.) удостоено Благодарности Президента Российской Федерации «За большой вклад в развитие радиоэлектронной промышленности и достигнутые трудовые успехи». Направления деятельности компании включают БАС, магнитометрические системы, системы гидрометобеспечения, программно-аппаратные комплексы, изделия микроэлектроники, скоростные суда. Предприятие осуществляет полный цикл научно-производственной деятельности: исследование, разработка, производство, испытания, сбыт, сопровождение в эксплуатации [266].
- ООО «Альбатрос» – компания, которая производит БВС и интеллектуальные авиационные системы, разрабатывает ПО для выполнения полетов и обработки снимков и видеоматериалов. Отдельные направления работы компании – системы анализа данных на основе нейросетей и устройства защиты воздушного пространства от БВС. БВС «Альбатрос» используются для оказания услуг по аэрофотосъемке, созданию ортофотопланов, цифровых моделей местности. БВС применяются в сельском хозяйстве, нефтегазовом секторе, строительстве, транспортной инфраструктуре, лесном хозяйстве, электроэнергетике. В 2023 году компания «Альбатрос» стала резидентом особой экономической зоны «Алабуга» [267].
- ООО «Транспорт Будущего» – компания, которая входит в число лидеров по разработке, производству и эксплуатации БВС в России. Компания развивает локализацию производства компонентов, наращивает сборочные мощности БВС. Производственная структура включает два подразделения: R&D-центр в Белгородской области с мелкосерийным экспериментальным производством новых моделей БАС и компонентов, а также серийный завод БАС в особой экономической зоне Тольятти. За четыре года работы компания инвестировала в проект по созданию тяжёлого агродрона «Гектор» (массой более 30 кг.) более 20 млрд руб. и достигла уровня локализации 70% комплектующих собственного производства. География реализации проекта охватывает пять стран. Важной вехой стало получение сертификата типа БАС для модификации БВС С-80 «Транспорт Будущего», предназначенной для агропромышленного комплекса [268,269].
- ООО «Ирбис Скай Тех» – компания, основным профилем которой является разработка специализированных и универсальных БАС на базе собственных технологий. Разработанные компанией комплексы представляют собой полнофункциональные решения, включающие непосредственно БАС, наземную станцию управления и комплект целевой полезной нагрузки. Компания обеспечивает полный цикл поддержки своей продукции: техническое и сервисное обслуживание, модернизацию и ремонт БАС. Продуктовая линейка включает три основные модели: IRBIS-538 VTOL с временем полета до 10 часов, дальностью до 1000 км и высотой полета до 5000 м; IRBIS-632 с временем полета до 135 минут,

дальностью до 100 км и высотой до 4500 м; а также IRBIS-536E VTOL с временем полета до 3,33 часа, дальностью до 290 км и высотой до 5000 м [270].

- Группа компаний «ГАСКАР», работающая в сфере информационных и беспилотных технологий и являющаяся отечественным лидером в области комплексных беспилотных решений. Ключевыми конкурентными преимуществами группы компаний являются собственный высокотехнологичный завод, база для исследований и разработок, а также высокая степень локализации комплектующих – до 90%. Компания производит БВС с широким спектром применения как в гражданской, так и в сфере специального назначения. Продуктовая линейка включает автономный порт HIVE, роботизированную станцию базирования с автоматической заменой аккумуляторов для мониторинга промышленных и строительных объектов, промышленный квадрокоптер «Пеликан» с дальностью полета до 20 км и временем работы до 45 минут, а также образовательные решения серии «Клевер.Гаскар» для обучения сборке и программированию БВС. Компания также разработала облачную систему управления Exon для интеграции данных с БВС в процессы управления строительными и промышленными проектами [271].
- ООО «Робоавиа» – российский разработчик и производитель комплексов с БВС. Компания разрабатывает и производит беспилотные решения для выполнения различных профильных задач. Ключевым продуктом является БВС «САРЫЧ» – универсальный БВС с электрическим двигателем, обладающий возможностями видео- и тепловизионного наблюдения, аэрофотосъемки, автоматического поиска объектов и сопровождения цели при помощи ИИ (взлетная масса 14 кг, время полета 4+ часа, максимальная высота полета над уровнем моря до 5000 м, воздушная скорость от 63 до 108 км/ч, устойчивость к порывам ветра до 27 м/с, температурный диапазон от -30 до +50°С, дальность связи 60+ км, время развертывания до 20 минут) [272].
- ООО «Аэрокон» – компания, главным направлением деятельности которой является разработка и производство воздушных судов различного назначения и схем. Компания специализируется в области проведения опытно-конструкторских работ по созданию, модернизации и модификации БВС самолетного типа и составных частей, разработки, соответствующей конструкторской, технологической и эксплуатационной документации, а также непосредственно производственной деятельности и обеспечения проведения испытаний. Предприятие способно обеспечить полный цикл производства беспилотного комплекса. Компания сертифицирована на соответствие требованиям ГОСТ Р ИСО 9001–2015 и ГОСТ РВ 0015-002-2020 [273].

В то же время, по оценкам компании «ГидМаркет» [247], по состоянию на 2023 год на рынке производства гражданских БВС в России существенную долю занимали китайские организации, лидирующие также на мировом рынке БВС, такие как SZ DJI Technology Co., Ltd. и Autel Robotics. При этом на лидера среди отечественных компаний – Группу компаний «Геоскан» – в 2023 году приходилось 10,6% рынка в натуральном выражении (рисунок 65).

Рисунок 65. Доли лидеров рынка производства гражданских БВС в России в натуральном выражении по состоянию на 2023 г., %



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным «ГидМаркет» [247,248], 2025

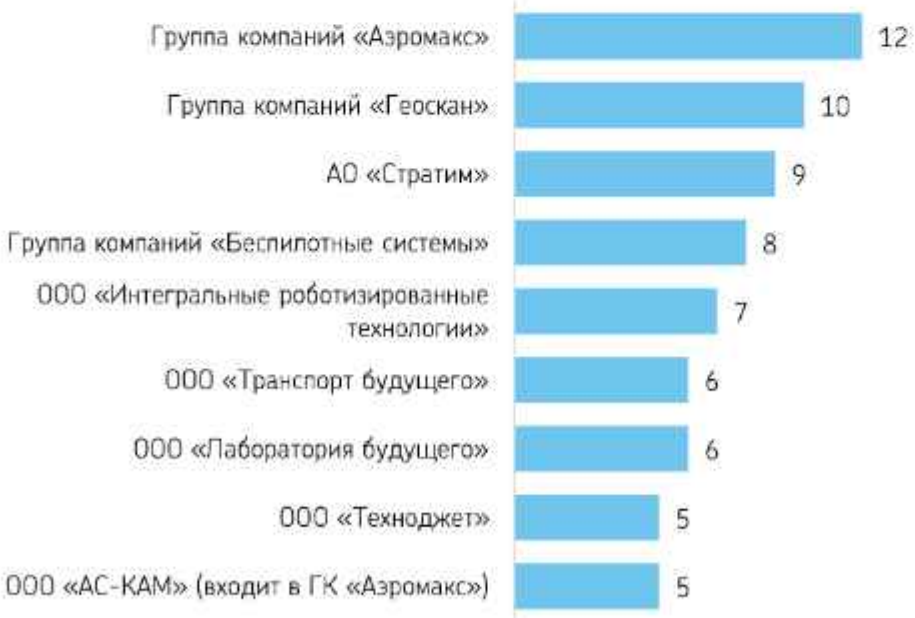
По состоянию на конец 2024 года – начало 2025 года, как отмечено в рамках экспертно-аналитических докладов «Обзор цифровых технологий обеспечения эксплуатации композитных и гибридных конструкций БВС» [9] и «Обзор применяемых технологий проведения цифровых испытаний элементов беспилотных систем в России и странах – участницах БРИКС» [255], подготовленных Инфраструктурным центром «Технет» в 2025 году, ряд отечественных организаций-производителей, а именно – Группа компаний «Геоскан», «ZALA», «Беспилотные системы» и «Аэромакс» также продолжают удерживать ведущие позиции на российском рынке БВС. Устойчивое положение российских компаний-лидеров, по состоянию на 2025 год, подчеркивается также отраслевыми экспертами. В частности, по данным МГТУ имени Н.Э. Баумана [249], прежде всего, среди лидеров рынка выделяются Группа компаний «ZALA» и «Геоскан». В то же время, по данным компании «Сеть свободного сотрудничества» [249] среди наиболее значимых представителей отечественного рынка БВС выступают следующие организации:

- АО «Кронштадт» – один из лидирующих российских разработчиков и производителей оборудования, ПО и комплексных решений для беспилотной авиации и оборонной промышленности, ключевые области специализации которого включают БАС, бортовое оборудование и целевые нагрузки для БВС, программно-аппаратные комплексы для навигации и управления БВС, наземные пункты управления БВС, а также широкую линейку тренажеров и систем обучения для различных заказчиков [274]. Необходимо отметить при этом, что несмотря на признанные позиции флагмана российской отрасли БВС, по состоянию на 2025 год, компания испытывает существенные финансовые трудности, одной из причин которых является выход в 2022 году ключевого акционера холдинга АФК «Система», долгое время являвшегося стратегическим инвестором и основным источником финансирования АО «Кронштадт». В результате на фоне масштабных инвестиционных проектов компании и выполнения ресурсоемких работ в рамках государственного заказа к концу 2025 года критически возросла долговая нагрузка [275].

- ООО «Аэродин» – инжиниринговая компания, специализирующаяся на промышленных БВС мультироторного типа с электрическими и гибридными силовыми установками, создающихся с учетом экстремальных климатических и эксплуатационных условий [273]. Ключевые решения, предлагаемые компанией, включают модульную платформу БВС мультироторного типа «uDrone Пегас» [276], проводное БВС для длительной непрерывной работы, в т.ч. ретрансляции связи и высотного видеонаблюдения «Центурион» [277], а также БВС на базе гибридной силовой установки для длительных автономных миссий «Пилигрим» [278].
- ООО «ВР-Технологии» – организация, основанная как инновационное конструкторское бюро холдинга АО «Вертолеты России» (Госкорпорации «Ростех») для обеспечения вертолетной техники конкурентоспособными научно-техническими решениями. Однако необходимо отметить, что с 2021 года 100% уставного капитала данной организации принадлежат сингапурской компании Aeroter PTE LTD [279], а с 2024 года ООО «ВР-Технологии» объявило о банкротстве [280]. По состоянию на 2025 год организация считается «действующей» [279,281,282], при этом непосредственно информация об актуальных результатах ее деятельности в открытых источниках не приводится.

Если рассматривать производителей БВС, лидирующих по числу моделей БВС, представленных в справочнике «Каталог отечественных моделей беспилотных авиационных систем, малых космических систем, комплектующих и информационных решений в сфере БАС «Аэронет 2035» [283], по состоянию на 2025 год, то первое и второе место, соответственно, будет приходиться на Группу компаний «Аэромакс» и «Геоскан». При этом Группа компаний «Беспилотные системы» занимает четвертое место по числу представленных моделей БВС (рисунок 66).

Рисунок 66. Компании – лидеры по числу моделей БВС, представленных в каталоге «Аэронет 2035» по состоянию на 2025 год, ед.



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным АНО «Платформа НТИ» (Аэронет 2035) [283], 2025

Необходимо учитывать, что перечень решений, представленных в справочнике «Каталог отечественных моделей беспилотных авиационных систем, малых космических систем, комплектующих и информационных решений в сфере БАС «Аэронет 2035» [283], не является исчерпывающим, так как содержит данные, предоставленные для публикации самими компаниями-производителями, однако может служить основой для индикативной оценки рыночной активности соответствующих организаций.

В перечень компаний-производителей, представляющих 5 и более моделей БВС, согласно версии каталога «Аэронет 2035» по состоянию на конец 2025 года [283], также вошли следующие организации:

- АО «Стратим» – компания, разрабатывающая БВС двойного назначения мультироторного и самолетного типов. Компания разрабатывает БВС, которые не требуют прошивки и работают на некоммерческих частотах, а также используют ретранслятор для увеличения дальности каналов управления и видео. Линейка продукции включает самолетные БВС в малосерийной сборке, разведывательные мультироторные БВС, FPV БВС-камикадзе, способные нести полезную нагрузку от 0,8 до 3,5 кг на дальность от 2,5 км с поддержкой ретранслятора. Команда разрабатывает технологии и модули для улучшения летно-технических характеристик, которые могут быть применимы во всех моделях БВС, в том числе в БВС других производителей [284].
- ООО «Интегральные роботизированные технологии» – российское предприятие, которое создает и производит современные БВС, а также программно-аппаратные комплексы для наблюдения за протяженными территориями. Кроме того, компания разрабатывает ПО для управления данными устройствами. В городе Уфа располагается завод по производству БВС, конструкторское бюро и отдел разработки ПО. Специалисты Уфимского университета науки и технологий принимают участие в разработке и проектировании БВС компании. Все этапы производства БВС и ПО к ним осуществляются на территории России. Компетенции компании ориентированы на разработку и оказание инжиниринговых услуг под нужды заказчиков [285].
- ООО «Лаборатория будущего» – российская инновационная компания, разработчик БВС и роботизированных комплексов для энергетики и промышленности. Линейка продукции включает диагностический комплекс «Канатоход» модели «Стрекоза» для комплексной контактной диагностики воздушных линий электропередач 35-500 кВ, комплекс «Канатоход» модели «Паук» для очистки проводов/тросов ВЛ 35-500 кВ от гололедно-изморозевых образований, БАС «Муха» для видеомониторинга и фотофиксации с применением тепловизионной съемки на объектах важной инфраструктуры, БАС «Муравей 24» для доставки разногабаритных грузов до 15 кг, FPV-дроны «Комар FPV» для обучения сборки БВС и для учебных полетов. Компания разрабатывает ПО CableWalker Laser Scanner для визуализации и анализа облаков точек при диагностике линий электропередач, а также CWClient для управления диагностическим оборудованием, установленным на роботизированной платформе «Стрекоза» [286].
- ООО «Технoджет» – группа компаний, разработавшая БАС на базе многоцелевого пилотируемого самолета «Аккорд-201». БВС планируется применять в доставке грузов в сезон паводков, а также в труднодоступные регионы. «Аккорд-201» оснащен шасси с пневматикой большого диаметра, увеличенной базой и большим ходом амортизаторов, что дает

возможность устанавливать лыжи для посадки на зимники. БВС имеет поплавковую систему, позволяющую взлетать с воды и садиться на воду. БВС также оснащен грузовым отсеком объемом 4 куб. м для перевозки габаритных грузов, системой сброса контейнера с парашютом для беспосадочной доставки и встроенной системой спасения, гарантирующей сохранность груза и летательного аппарата в аварийных ситуациях [287].

- ООО «АС-КАМ» – компания в составе группы компаний «Аэромакс», проектирующая и производящая современные БАС самолетного и коптерного типов. При изготовлении авиационной техники специалисты компании используют композиционные материалы собственной разработки, что продлевает срок службы систем и позволяет ремонтировать системы в полевых условиях. Компания разрабатывает ПО и обеспечивает высокий уровень автоматизации продукции. Флагманские модели производителя: БАС АС-32-10 самолетного типа, которая собирает большой объем геопространственных данных благодаря увеличенному времени полета (может находиться в воздухе до четырех с половиной часов и преодолевать расстояние до 350 км), и БАС АС-МК-4 коптерного типа, отличающаяся одной из самых больших продолжительностей полета в своем классе (до 80 минут с полезной нагрузкой 2 кг) [288].

В таблице 13 представлена основная информация о ключевых из отмеченных выше компаниях – лидерах и предлагаемых ими наиболее значимых решениях.

Таблица 13. ТОП-5 компаний – лидеров российского рынка БВС: основные характеристики и ключевые решения

Компания	Сайт	Характеристика компании и ключевые решения	Ключевые события по состоянию на конец 2025 года
Группа компаний «Геоскан»	geoscan.ru	Один из пионеров рынка и основных производителей БВС и компонентов в России [259], также лидирующий (занимающий 2-е место) среди организаций-эксплуатантов по размеру парка БВС по состоянию на конец 2025 г., по оценкам специалистов «АЭРОНЕКСТ» [241]. Ключевые решения компании включают: БВС самолетного типа (Геоскан 201, Геоскан 701), БВС мультироторного типа (Геоскан 801, Геоскан 401, Gemini), Многофункциональный учебно-методический	**Июль 2025.** Запуск на орбиту 9 малых космических аппаратов собственной разработки, включая первый российский кубсат формата 16U (ИнноСат16) [290]. **Апрель 2025.** Представление учебного коптера с ИИ «Геоскан Пионер Мини 2» и компактного полигона «Геоскан Арена Мини» [291]. **Май 2025.** Проведено шоу с участием 2500 БВС к 80-летию Победы в ВОВ [292]. **Сентябрь 2025.** Формирование линейки БАС для видеомониторинга: Геоскан 201 Видео, Геоскан 701 Видео, Геоскан 801, Геоскан 801 Привязной [293].

Компания	Сайт	Характеристика компании и ключевые решения	Ключевые события по состоянию на конец 2025 года
		комплекс с функциями доверенной среды Геоскан Пионер, малые космические аппараты (Геоскан-Эдельвейс, СтратоСат ТК-1, ИнноСат16) и др. [289]	**Сентябрь 2025.** Обновление ПО Pioneer Drone Sim для освоения навыков пилотирования [294]. **Ноябрь 2025.** Обновление Pioneer Station 2.0 для настройки образовательных БВС [295]. **Декабрь 2025.** Подтверждение лидерства по объему аэромагнитной съемки: более 57 000 пог. км. Разработка первой российской односенсорной SWIR-камеры для БАС [245].
Группа компаний «ZALA»	zala-aero.com	Группа компаний входит в АО «Концерн «Калашников» (Госкорпорации «Ростех»), является одним из ведущих российских разработчиков и производителей БВС, целевых нагрузок и мобильных комплексов, специализирующихся в сфере решений для аэромониторинга. Обладает лицензированным учебным центром.	**Февраль 2025.** Участие в международном авиасалоне Aero India 2025, представление модернизированных РУК «Ланцет-Э» вместе с Рособоронэкспортом [261]. **Июнь 2025.** Применение ZALA ZARYA-1 для авиамониторинга лесных пожаров на Кузбассе [261]. **Ноябрь 2025.** Участие в Dubai Airshow 2025, представление модернизированного РУК «Ланцет-Э». Налет в интересах ТЭК превысил 50 тыс. часов. Подписано соглашение на поставку 185 беспилотных комплексов [261]. **Декабрь 2025.** Поставка комплексов ZALA ZARYA-1 и ZALA ZARYA-1M спасателям Забайкальского края, Республики Марий Эл и Камчатки [261].
Группа компаний «Беспилотные системы»	supercam.aero	Российский разработчик и производитель беспилотных авиационных систем платформы Supercam. Серийное производство с уровнем локализации до 95%. Собственный центр	**Январь 2025.** Активное применение разведывательных БВС Supercam S350. Выпуск 75 расчетов по управлению БВС через собственный центр подготовки операторов [296,297].

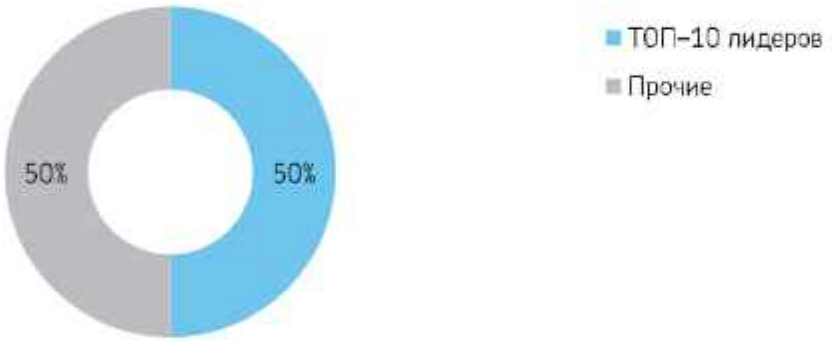
Компания	Сайт	Характеристика компании и ключевые решения	Ключевые события по состоянию на конец 2025 года
		подготовки операторов.	**Август 2025.** Участие в международном форуме «Беспилотные системы: технологии будущего», представление беспилотных решений на базе платформы Supercam [298]. **Декабрь 2025.** Подписание соглашения ПСБ, ЦБСТ и ФЦ БАС о сотрудничестве для развития беспилотных систем гражданского и двойного назначения [299].
Группа компаний «Аэромакс»	aeromax-group.ru	Инновационный центр по развитию гражданских беспилотных проектов и цифровых геоинформационных платформ. Эксплуатант БАС и интегратор цифровых решений с геопространственными данными для нефтегазового сектора, электроэнергетики, лесного хозяйства, сельского хозяйства, строительства и других отраслей.	**Июнь 2025.** Проведение комплексного обследования участка нефтепровода «Грозный-Баку» с аэрофотосъемкой и воздушным лазерным сканированием [300]. **Сентябрь 2025.** Участие в Международном форуме «Крылья Сахалина», представление грузового БВС вертолетного типа В-120. Подписание соглашения о сотрудничестве с Правительством Сахалинской области [301]. **Декабрь 2025.** Поддержка создания Арктического испытательного центра БАС на Ямале. Работа в 57 регионах России [300].
АО «Кронштадт»	kronshtadt.ru	Один из флагманов российской отрасли БВС, остающийся в числе лидирующих российских разработчиков и производителей БВС, комплектующих и специализированного ПО [274].	**2025.** Разработка ПО для роевого применения БВС [302].

Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным открытых источников, 2026

По состоянию на конец 2025 года в целом общее число предприятий – участников рынка БВС продолжает возрастать. При этом позиции лидеров отрасли, таких как Группа компаний «Геоскан» и «ZALA» остаются достаточно устойчивыми. В то же время, участники рынка [245,303] отмечают ряд сложностей, обусловленных геополитическим и социально-экономическим контекстом (таких как организация полетов БВС в условиях радиоэлектронной борьбы, в т.ч. соблюдение требований по обязательной удаленной идентификации БВС, сокращение государственного гражданского заказа в рамках национального проекта «Беспилотные авиационные системы» и др.), преодоление которых будет во многом определять архитектуру рынка БВС России в долгосрочной перспективе.

Если рассматривать российский рынок инженерного ПО, включающий цифровые технологии обеспечения эксплуатации композитных и гибридных конструкций БВС, то эксперты Группы компаний Б1 [250], в рамках исследования рынка ПО и ИТ-услуг [251], опубликованного в 2025 году, отмечают, что примерно половина рассматриваемого рынка приходится на ТОП–10 компаний-лидеров (рисунок 67).

Рисунок 67. Структура рынка инженерного ПО в России по оценкам на 2025 г., %



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным Группы компаний Б1 [251], 2025

В число отмеченных выше компаний-лидеров входят следующие организации (в порядке убывания долей рынка в коммерческом сегменте, без учета работы подразделений, дочерних структур или штатных сотрудников в интересах материнской компании или якорного заказчика) [251]:

- **Группа компаний «АСКОН» (АСКОН)** – один из крупнейших российских разработчиков САПР, работает с 1989 года. Широко известен системой КОМПАС-3D – отечественным стандартом для конструкторского проектирования на машиностроительных предприятиях. Помимо КОМПАС-3D, в линейку входят ЛОЦМАН: PLM, ВЕРТИКАЛЬ, ПОЛИНОМ: MDM и др. В 2025 году компания выпустила КОМПАС-Композиты – первый российский аналог Fibersim для проектирования и моделирования изделий из полимерных композиционных материалов. C3D Modeler геометрическое ядро, разработанное компанией C3D Labs (дочерним предприятием АСКОН и резидентом «Сколково») для систем автоматизированного проектирования (САПР), лицензируется сторонними разработчиками инженерного ПО по всему миру [304].
- **ООО «СиЗД Лабс» (C3D Labs)** – дочерняя компания АО «АСКОН», разработчик геометрического ядра C3D Modeler и решателя C3D Solver. Технологии C3D лежат в основе КОМПАС-3D и КОМПАС-Композиты. Готовых CAD/CAE-продуктов конечным

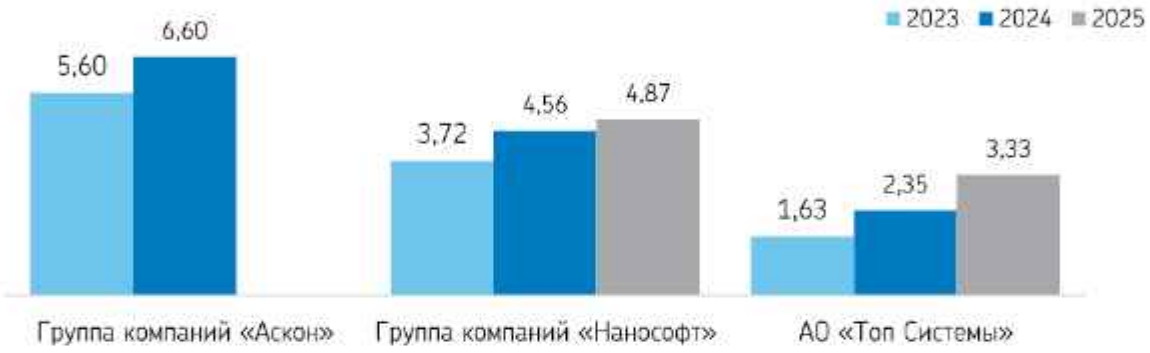
пользователям не продает, однако технологии компании обеспечивают работу российских решений для проектирования полимерных композиционных материалов [305].

- **Группа компаний «Нанософт» (Нанософт)** – российский разработчик САПР-платформы nanoCAD с открытым API. Компания позиционирует nanoCAD как основу, на которой сторонние разработчики создают отраслевые приложения. В собственной линейке представлены модули для машиностроения, строительства и геодезии. По объему выручки входит в тройку лидеров российского рынка САПР наряду с «АСКОН» и «Топ Системы». Специализированных решений для расчета или проектирования и моделирования композиционных материалов не разрабатывает [306].
- **АО «Топ Системы» (Топ Системы)** – российский разработчик комплексного PLM-решения T-FLEX, работающий с 1992 года. Компания построила полную линейку: от САПР T-FLEX CAD с собственным геометрическим ядром RGK до PDM-системы T-FLEX DOCs, расчетного модуля T-FLEX Анализ и CAM-модуля T-FLEX ЧПУ и др. Версия T-FLEX Анализ 18 реализует расчет конструкций из слоистых полимерных композиционных материалов с критериями прочности Цая-Ву и Цая-Хилла [307].
- **Группа компаний «Си Софт» (Csoft)** – разработчик инженерного ПО в области САПР, BIM (Building Information Modeling), PLM-систем, комплексных решений для машиностроения, промышленного и гражданского строительства, архитектурного проектирования, землеустройства, электронного документооборота, обработки сканированных чертежей и др., а также один из крупнейших российских дистрибьюторов инженерного ПО и ИТ-оборудования. Собственных решений для расчета или проектирования композиционных материалов не разрабатывает [308].
- **ООО «ЗБ Сервис»** – поставщик инженерного ПО и промышленного оборудования, специализирующийся на комплексном оснащении предприятий решениями в области САПР и инженерного анализа. Собственных программных продуктов не разрабатывает [309].
- **ПАО «Фабрика ПО» (FabricaOne.AI | Bimeister)** – группа компаний, предоставляющая комплексный портфель ИТ-решений и продуктов с особым фокусом на технологиях ИИ [310]. Одним из ключевых промышленных решений компании является платформа Bimeister [311,312] для управления промышленными активами (EAM/APM) и цифровыми двойниками объектов капитального строительства и производственной инфраструктуры. Продукты ориентированы на задачи эксплуатации и технического обслуживания. Специализированных решений для расчета или проектирования и моделирования композиционных материалов не разрабатывает.
- **Strata Solutions** – российская инжиниринговая компания, разрабатывающая ПО для нефтегазовой отрасли (моделирование месторождений, Industrial Data Science) и занимающаяся системной интеграцией. Среди заказчиков – Газпром, Газпром нефть, Лукойл. Специализированных решений для расчета или проектирования и моделирования композиционных материалов не разрабатывает [313].
- **ООО «ЦУС» (ЦУС)** – российский разработчик платформы для управления строительными проектами: документооборот, контроль хода работ, формирование исполнительной документации. Включена в реестр Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации для субъектов градостроительной деятельности. Специализированных решений для расчета или проектирования и моделирования композиционных материалов не разрабатывает [314].

- **ООО «Сарекс» (Sarex)** – российский разработчик облачной платформы для управления строительными проектами на основе BIM (Building Information Modeling) - моделей и геопространственных данных: среда общих данных, строительный контроль, цифровой мониторинг объектов. Специализированных решений для расчета или проектирования и моделирования композиционных материалов не разрабатывает [315].

При этом, если отдельно рассматривать доступные данные по общим объемам выручки российских разработчиков систем автоматизированного проектирования (САПР), то в тройку лидеров также войдут Группа компаний «Аскон», «Нанософт» и АО «Топ Системы» (рисунок 68).

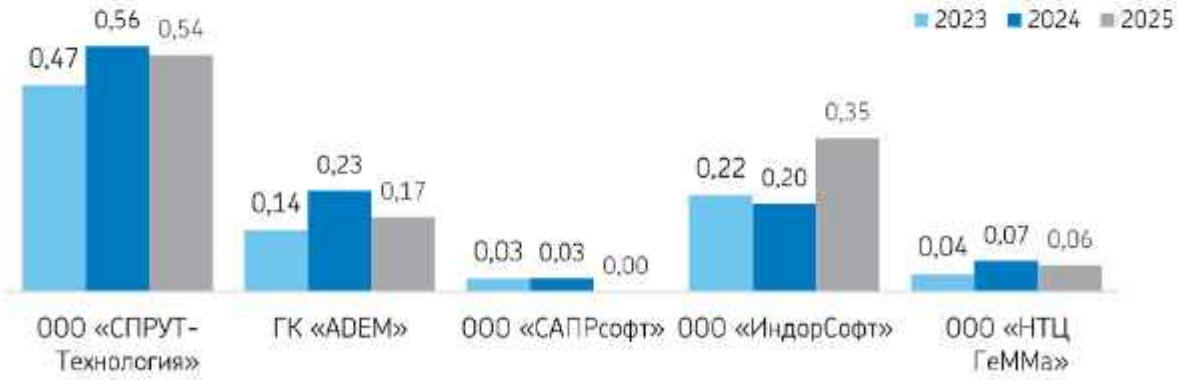
Рисунок 68. Выручка ТОП–3 ведущих российских разработчиков САПР в 2023–2025 гг., млрд руб.



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным [316–318], 2026

Необходимо отметить, что другие участники отечественного рынка САПР, по оценкам экспертов [316], на порядок уступают указанным выше компаниям-лидерам по объемам выручки (рисунок 69).

Рисунок 69. Выручка прочих ведущих российских разработчиков САПР в 2023–2025 гг., млрд руб.



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным Государственного информационного ресурса бухгалтерской (финансовой) отчетности [316], 2026

ООО «СПРУТ-Технология» – разработчик CAD/CAM системы для программистов ЧПУ. СПРУТКАМ обеспечивает любой тип обработки и технологий, включая высокоскоростную обработку, токарно-

фрезерную обработку, 3-осевую обработку, 5-осевую обработку и работу с аддитивными технологиями. Функционал системы включает параметрический CAD, интеграцию с различными системами, многодетальную обработку, простой современный интерфейс, поддержку API, модуль обработки импеллеров, обработку с учетом реальной кинематики станка и др. [319].

Группа компаний «ADEM» –разработчик систем автоматизированного проектирования и производства. В группу входят ООО «АДЕМ-Инжиниринг» (с 1987 г.), ООО «Крона» (с 1986 г.) и ООО «Уральское Отделение ADEM». Главный продукт – интегрированная CAD/CAM/CAPP/PDM система ADEM-VX [320].

ООО «САПРсофт» (до 31 января 2023 г. – ООО «ЗВСофт») – авторизованный дистрибьютор китайской компании ZWSOFT (HK ZWCAD SOFTWARE LIMITED, ранее ZWCAD Software Co, Ltd) на территории России, продвигающий локализованную версию продукта ZWCAD. Компания обеспечивает поставку и поддержку ПО для автоматизированного проектирования с 2007 года [321].

ООО «ИндорСофт» – разработчик IndorCAD для проектирования автомобильных дорог. Линейка продуктов включает IndorCAD Topo (подготовка топопланов), IndorCAD Site (проектирование генпланов), IndorCAD River (русловые работы), IndorCAD Road (проектирование автодорог), IndorCAD BIM (BIM/ТИМ автодорог), а также расширенные комплектации IndorCAD Road + IndorCulvert, IndorCAD Road + IndorPavement, IndorCAD BIM + IndorCulvert, IndorCAD BIM + IndorPavement. Функционал включает трассирование линейных сооружений, инженерные коммуникации, инструменты генплана, подсчет объемов, кадастровые данные, анализ водоотвода, проектирование автомобильных дорог, инженерное обустройство, редактирование дорожных знаков, проектирование водных путей, подготовку информационных моделей (IndorBIM), проектирование водопропускных труб (IndorCulvert) и расчет дорожных одежд (IndorPavement) [322].

ООО «НТЦ ГеММа» – научно-технический центр, разработчик CAD/CAM-системы «ГеММа-3D». Система представляет собой инструмент для разработки управляющих программ изготовления деталей, с возможностью создания и редактирования 3D моделей. Система ГеММа-3D обеспечивает подготовку управляющих программ практически для всех видов обработки, включая фрезерование деталей любой сложности (корпусные детали, инструментальная оснастка, шнеки, лопатки, блиски и др.), токарную и токарно-фрезерную обработки, все типы обработки отверстий (сверление, нарезание резьбы метчиком, резьбофрезерование и т. д.), гравирование, электроэрозионную обработку, гидроабразивную, лазерную и плазменную резку, вырубку и пробивку листового материала. Базовый функционал включает геометрический редактор 2D и 3D, модуль визуализации результатов обработки фрезерованием G-mill, модуль редактирования управляющих программ с произвольным машинным кодом CheckNC, модуль создания и редактирования шрифтовых библиотек в формате GSH – Gshv, табличный и универсальный постпроцессор. Программное обеспечение CAD/CAM-система ГеММа-3D модифицировано при финансовой поддержке Фонда содействия инновациям [323].

В рамках настоящего экспертно-аналитического доклада в контексте анализа текущего состояния цифровых технологий обеспечения эксплуатации композитных и гибридных конструкций БВС необходимо отдельно отметить ключевые российские компании, в портфель которых входят специализированные продукты и решения для моделирования и анализа композиционных материалов, а также изделий из них (таблица 14).

Таблица 14. Ведущие российские компании, в портфель которых входят специализированные решения для моделирования и анализа композиционных материалов и изделий из них

Компания	Сайт	Характеристика компании и ключевые решения	Ключевые события по состоянию на конец 2025 – начало 2026 года
Группа компаний «АСКОН» (АСКОН)	ascon.ru kompas.ru	Крупный российский разработчик систем автоматизированного проектирования. Ключевые решения: КОМПАС-3D. САПР для конструкторского и технологического проектирования. ЛОЦМАН:PLM. Система управления инженерными данными и жизненным циклом изделия). Технологическая система ВЕРТИКАЛЬ. Справочно-информационная система ПОЛИНОМ:MDM [324]. В 2025 году в состав КОМПАС-3D v24 включен модуль КОМПАС-Композиты – система для проектирования и технологической подготовки производства изделий из слоистых полимерных композиционных материалов (ПКМ). Решение позиционируется как отечественная альтернатива Fibersim (Siemens) [325]. Предусмотрена интеграция с ПОЛИНОМ:MDM [326].	Ноябрь 2024: публичный анонс КОМПАС-Композиты [326]. Апрель 2025: открытое бета-тестирование КОМПАС-3D v24 с участием промышленных предприятий [327]. Июнь 2025 (ЦИПР-2025): презентация КОМПАС-Композиты министру промышленности и торговли Алиханову А.А.; заключено партнерское соглашение с Нижегородским государственным университетом им. Н.И. Лобачевского [304]. Август 2025: коммерческий релиз КОМПАС-3D V24 с КОМПАС-Композиты в составе [324]. Сентябрь 2025: АО «ОДК-Авиадвигатель» впервые в России спроектировало и изготовило деталь авиадвигателя ПД-14 с применением полностью отечественного программного обеспечения, включая КОМПАС-Композиты [328].
АО «Топ Системы» (Топ Системы)	tflex.ru	Российский разработчик комплексной PLM-системы для управления полным жизненным циклом изделия, работающий с 1992 года. Ключевые решения: T-FLEX CAD. САПР с собственным геометрическим ядром RGK. T-FLEX Анализ. Расчетный	Май 2024 (Форум T-FLEX PLM 2024): анонс T-FLEX CAD 18 и кроссплатформенной версии T-FLEX DOCs 18 с поддержкой Linux [330]. Август 2025: публикация статьи о развитии расчетного модуля T-FLEX Анализ в журнале «САПР и Графика» (N 8-2025): расчет ламинатов, балочные

Компания	Сайт	Характеристика компании и ключевые решения	Ключевые события по состоянию на конец 2025 – начало 2026 года
		CAE-модуль. T-FLEX ЧПУ. Модуль технологической подготовки производства. T-FLEX DOCs. Система управления инженерными данными. Модуль T-FLEX Анализ 18 поддерживает расчет методом конечных элементов слоистых ламинатов с двухуровневым описанием структуры (монослой / пакет слоев), схемой укладки, критериями прочности Цая-Ву и Цая-Хилла и отображением результатов по каждому слою. Постпроцессор принимает результаты из CAE Fidesys и CADFlo (отечественная CFD-система). Заявленные целевые отрасли T-FLEX CAD 18 – авиастроение и ракетно-космическая промышленность [329].	элементы, нелинейные модели материалов, интеграция с Fidesys и CADFlo [331]. Октябрь 2025: коммерческий релиз T-FLEX CAD 18; заявленные целевые отрасли – авиастроение, ракетно-космическая и автомобильная промышленность [332]. Январь 2026: публикация статьи о новых возможностях T-FLEX Анализ 18 [329].
ООО «Фидесис» (Фидесис)	cae-fidesys.com	Российский разработчик CAE-системы для прочностного анализа, основанный в 2009 году. Система аттестована НТЦ ЯРБ (Ростехнадзор), что допускает применение системы при расчетах объектов ядерной и промышленной безопасности. Резидент Сколково. Ключевые решения: CAE Fidesys. Система численного анализа прочности конструкций методами конечных и спектральных элементов. CAE Fidesys Composite. Специализированный модуль расчета ПКМ. Prove.Design. Облачный CAE-сервис на технологиях CAE Fidesys.	Декабрь 2023: соглашение о технологическом партнерстве с АО «МЦД» – планируется совместное развитие расчетных модулей, баз данных материалов и плагинов [333]. Сентябрь 2025: релиз CAE Fidesys 8.0. Ключевые новшества: фильтр «Запас прочности КМ» для многослойных оболочек, модуль роторной динамики, упругопластический расчет оболочечных элементов. Добавлена поддержка отечественных ОС Astra Linux и Alt Linux [334]. Декабрь 2025: релиз CAE Fidesys 8.1. Расширены

Компания	Сайт	Характеристика компании и ключевые решения	Ключевые события по состоянию на конец 2025 – начало 2026 года
		CAE Fidesys Composite обеспечивает микроструктурное моделирование (слоисто-волокнистые, тканые, пористые структуры), определение эффективных механических характеристик методом представительного объема и анализ поведения материала после разрушения. Фильтр «Запас прочности КМ» поддерживает критерии Цая-Хилла, Хоффмана, Цая-Ву, максимальных напряжений (версия 8.0) и Пака на основе теории Мора (версия 8.1). Система применяется для расчета конструктивных элементов БВС из ПКМ. Интегрирована с T-FLEX CAD и T-FLEX DOCs.	возможности прочностного анализа. В части расчета ПКМ добавлен критерий Пака на основе теории Мора. Улучшены интерфейсы пре- и постпроцессора. Расширена поддержка отечественных ОС: Astra Linux, Alt Linux и РЕД ОС [335].
ООО НТЦ «АПМ» (Научно-технический центр «АПМ»)	apm.ru	Российский разработчик модульной CAE-системы для инженерных расчетов, работающий с 1992 года. Система аттестована НТЦ ЯРБ (Ростехнадзор) – допущена к применению при расчетах объектов ядерной и промышленной безопасности. Ключевые решения: APM WinMachine. Модульная CAE-система. APM Structure3D. Система конечно-элементного (МКЭ) расчета конструкций. Включает опцию Composite для расчета слоистых ПКМ и опцию TopOpt для топологической оптимизации. APM FEM. Приложение для КОМПАС-3D на базе расчетного ядра APM Structure3D, распространяется через	Март 2025: выпуск APM WinMachine v21. Расширены возможности топологической оптимизации, реализован контакт типа «поверхность-поверхность», реализовано моделирование посадок с натягом, добавлена Python-консоль для автоматизации расчетов [336]. Апрель 2025 (Форум «РазвИТие.Прочность'25»): представлена дорожная карта развития APM – нелинейная динамика, явная динамика, роторная динамика; анонсирована интеграция с пакетом «Универсальный механизм» (ООО «Вычислительная механика») [337]. Август 2025: выпуск

Компания	Сайт	Характеристика компании и ключевые решения	Ключевые события по состоянию на конец 2025 – начало 2026 года
		сеть АСКОН. Опция Composite модуля APM Structure3D обеспечивает расчет ламинатов в оболочечных и пластинчатых конечных элементах, что позволяет анализировать прочность несущих конструкций БВС из слоистых ПКМ. Топологическая оптимизация применяется для проектирования облегченных конструктивных элементов БВС.	APM FEM v24 – версия приложения, совместимая с КОМПАС-3D v24; добавлены стержневые конечные элементы для расчета металлоконструкций [338]. Октябрь 2025: совместный вебинар НТЦ «АПМ» и ООО «Вычислительная механика» по новым возможностям APM WinMachine v21 и вопросам взаимодействия с передовыми инженерными школами [339].
ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» (входит в Госкорпорацию «Росатом»)	logos.vniief.ru tech-plm.ru	Федеральное государственное предприятие в составе Госкорпорации «Росатом». Государственный научный центр РФ (статус присвоен в декабре 2025 года). С 2009 года разрабатывает «Логос» – мультифизическую HPC CAE-систему, включенную в Единый реестр российского ПО. Ключевые решения: «Логос Аэро-Гидро». Программный комплекс для высокопроизводительного 3D-моделирования процессов аэро- и гидродинамики (CFD-расчет). «Логос Тепло». Программный комплекс (CAE-система), предназначенный для высокоточного 3D-моделирования процессов теплообмена и термодинамики. «Логос Прочность». Программное обеспечение (CAE-система) для высокоточного численного моделирования прочности,	Октябрь 2024 (Форум ИТОПК-24, Архангельск, около 1000 участников): РФЯЦ-ВНИИЭФ выступил ключевым партнером форума, представив разработки в области инженерного ПО, включая пакет «Логос» [340]. Март 2025: выпуск версии «Логос» 5.3.24.014. Обновления: новые модели турбулентности в модуле «Аэро-Гидро»; поддержка совместных расчетов с SimInTech и pSeven в модуле «Тепло»; модели материалов Муни-Ривлина и Geologic cap в модуле «Прочность»; Python-скрипты и нейросетевая оптимизация в модуле «Платформа» [341]. Июнь 2025: расчетные модули пакета «Логос» («Прочность», «Тепло», «Аэро-Гидро») интегрированы в цифровую платформу CML-Bench® СПбПУ; интеграция направлена в том числе на задачи

Компания	Сайт	Характеристика компании и ключевые решения	Ключевые события по состоянию на конец 2025 – начало 2026 года
		деформаций и разрушения конструкций. «Логос ЭМИ». Модуль CAE-пакета «Логос» для суперкомпьютерного моделирования электромагнитных процессов. «Логос Платформа». Цифровая платформа для инженерного анализа и суперкомпьютерного моделирования. Оркестровка расчетов, оптимизация, нейросетевые суррогатные модели. Все модули поддерживают параллельные вычисления OpenMP/MPI на кластерных системах. Модуль «Логос Прочность» обеспечивает расчет методом конечных элементов конструкций из ПКМ с расширенной библиотекой моделей материалов. Модуль «Логос Аэро-Гидро» применяется для аэродинамического анализа корпусов БВС. В 2025 году модули «Логос» интегрированы в цифровую платформу разработки и применения цифровых двойников CML-Bench®, разработанную ПИШ СПбПУ «Цифровой инжиниринг» СПбПУ, для задач проектирования БАС.	проектирования БАС [342]. Декабрь 2025: РФЯЦ-ВНИИЭФ присвоен статус Государственного научного центра РФ (ГНЦ РФ) [343].
Передовая инженерная школа СПбПУ «Цифровой инжиниринг» (ПИШ СПбПУ)	cml-bench.ru pish.spbstu.ru	Структурное подразделение экосистемы технологического развития СПбПУ. Разрабатывает цифровую платформу CML-Bench® (по ГОСТ Р 57700.37-2021) для многодисциплинарного проектирования, цифровых	Июль 2024: заключен контракт с АНО «Федеральный центр беспилотных авиационных систем» на разработку системы виртуальных испытательных стендов и полигонов для БВС [344]. 2023-2024: на платформе

Компания	Сайт	Характеристика компании и ключевые решения	Ключевые события по состоянию на конец 2025 – начало 2026 года
		испытаний и цифровой сертификации изделий. Ключевые решения: ЦП CML-Bench®. Российская SPDM-система. Сертифицирована ФСТЭК по 6 уровню доверия. Представляет собой цифровую платформу по разработке и применению цифровых двойников высокотехнологичных изделий, материалов и физико-механических / технологических процессов, эксплуатационных режимов и специализированных бизнес-процессов; поддерживает моделирование многослойных композиционных материалов с прогрессирующим разрушением и остаточной прочностью (CAI, Compression After Impact). CML-Bench®.UAV /.DRONE /.БАС. Специализированные модули для проектирования, цифровых испытаний и сертификации БВС (самолетный, вертолетный, мультироторный тип, конвертоплан). Многомасштабный анализ ПКМ (микро-, мезо-, макроуровень, прогрессивное разрушение); технологии переработки термопластичных ПКМ – индукционная сварка, автоматизированная выкладка, оверпринтинг (нанесение материала методом печати поверх готовой детали); 3D-печать из непрерывного углево-локна (проект с АО «Юматекс», госкорпорация «Росатом»). Цифровая платформа разработки	CML-Bench® за 5 месяцев разработан БВС «Снегирь-1»; модификация «Снегирь-1.5» представлена на форуме «Армия-2024». ПИШ СПбПУ выступила организатором консорциума производителей компонентов и систем для БВС [345]. Июнь 2025: расчетные модули пакета «Логос» (Госкорпорация «Росатом») интегрированы в CML-Bench® [342]. Июнь 2025 (ПМЭФ-2025): СПбПУ и ПАО «Промсвязьбанк» подписали соглашение о стратегическом партнерстве в области цифровых двойников для оборонно-промышленного комплекса и гражданских высокотехнологичных отраслей [346]. Август 2025 (ТЕХНОПРОМ-2025): доклад А.И. Боровкова о многомасштабном анализе ПКМ и технологиях переработки термопластичных ПКМ применительно к авиастроению и производству БВС [347]. 2024-2026: представлены архитектура ЦП РПЦД БАС, включая программные модули «Проектирование», «База знаний», «Интеграция с ИТ-инфраструктурой», «Данные об изделиях», «Цифровая сертификация», а также иерархическая структура цифровых (виртуальных) испытаний БВС на ЦП РПЦД БАС. Цифровая платформа обеспечит

Компания	Сайт	Характеристика компании и ключевые решения	Ключевые события по состоянию на конец 2025 – начало 2026 года
		и применения цифровых двойников беспилотных авиационных систем (ЦП РПЦД БАС) на базе Цифровой платформы CML-Bench® (реализуемой во исполнение п. 2.4 плана реализации Стратегии развития беспилотной авиации Российской Федерации в интересах АНО «ФЦ БАС».	оптимизацию методик проектирования беспилотных авиационных систем и их компонентов, а также станет площадкой для проведения «цифровой сертификации» БПЛА всех типов: самолетного, вертолетного, мультироторного, квадрокоптерного, включая конвертопланы, гидросамолеты и гидроамфибии. Среди проектов для тестирования ЦП РПЦД БАС – разработки ООО «КБ7», ООО «Радар ММС», ООО «Флайтус», АО «Эколибри», ИТ СО РАН, АО «ЦАРС» и других организаций [348].
ООО «Тесис» (ТЕСИС)	tesis.com.ru flowvision.ru	Российский разработчик системы FlowVision, работающий с 1994 года. Компания входит в консорциум «РазвИТие». Ключевые решения: FlowVision. Программный комплекс для трехмерного моделирования гидрогазодинамики, теплообмена и химических процессов. Используется для расчета обтекания конструкций, внутренних течений, горения, многофазных течений и взаимодействия жидкости с конструкцией. ЭЦПС (экспериментально-цифровая платформа сертификации). Система, предназначенная для оценки соответствия композитных изделий требованиям заказчиков и регуляторов с помощью цифровых испытаний.	2024: FlowVision внедрена на Уральском заводе гражданской авиации (УЗГА) для расчета аэродинамики и теплообмена при проектировании авиатехники [349]. Октябрь 2024 («День FlowVision 2024», Москва, более 400 участников): мероприятие приурочено к 30-летию компании; проведено 6 отраслевых секций, в том числе по аэродинамике БВС и крупнокапельному обледенению [350]. Апрель 2025: семинар для специалистов предприятий Госкорпорации «Росатом» в МГТУ им. Н.Э. Баумана – кейсы применения FlowVision для моделирования теплообменников, систем вентиляции, активных

Компания	Сайт	Характеристика компании и ключевые решения	Ключевые события по состоянию на конец 2025 – начало 2026 года
		FlowVision применяется для CFD-анализа аэродинамики и тепловых режимов корпусов БВС, в том числе из ПКМ. ЭЦПС обеспечивает сертификацию авиационных конструкций из ПКМ. Моделирование крупнокапельного обледенения актуально для подтверждения летной годности БВС.	зон и запроектных аварий; рассмотрено взаимодействие FlowVision с пакетом «Зенит» в задачах FSI [351]. Ноябрь 2025: ТЕСИС и ООО «Трамплин Электроникс» подписали соглашение о разработке доверенного программно-аппаратного комплекса на базе процессоров «Иртыш» (архитектура LoongArch) [352]. Декабрь 2025: Участие в круглом столе «Сертификация БАС» на форуме в СПбПУ [353]. Декабрь 2025: выпущен релиз FlowVision 3.15.03, направленный на увеличение скорости работы решателя и улучшение работы с двухфазными средами [354].
МГТУ им. Н.Э. Баумана	cmmp.bmstu.ru fn.bmstu.ru	Разрабатывает платформу Manipula/SMCM 4.0 для конечно-элементного многомасштабного (микро-мезо-макро) моделирования композиционных материалов, композитных конструкций и технологий их изготовления, с пре- и пост-процессингом и возможностью моделирования на высокопроизводительных вычислительных системах. Научно-образовательный центр «Суперкомпьютерное инженерное моделирование и разработка программных комплексов» при кафедре ФН-11 МГТУ им. Н.Э. Баумана (НОЦ «СИМПЛЕКС») специализируется на алгоритмах МКЭ и программных средствах для суперкомпьютерного	Июль 2025 (Москва, МИАН): МГТУ им. Н.Э. Баумана выступил соорганизатором VI Международной конференции «Суперкомпьютерные технологии математического моделирования» (СКТеММ'25, 15-19 июля) совместно с Математическим институтом им. В.А. Стеклова РАН и ИПМ им. М.В. Келдыша РАН. Тематика: параллельные алгоритмы, многомасштабный МКЭ, суперкомпьютерные методы расчета конструкций [355]. Октябрь 2025: конференция по математическому моделированию в МГТУ им. Н.Э. Баумана в рамках конгресса «Русский инженер». В мероприятии

Компания	Сайт	Характеристика компании и ключевые решения	Ключевые события по состоянию на конец 2025 – начало 2026 года
		моделирования конструкций. Ключевые решения: алгоритмы параллельного МКЭ для HPC-кластеров; методы многомасштабного моделирования ПКМ. Издает журнал ММЧиМ (ВАК, РИНЦ, Scopus). Разрабатываемые алгоритмы многомасштабного МКЭ направлены в том числе на расчет конструкций из ПКМ – материалов, широко применяемых в силовых элементах планеров БВС. Центр является площадкой для отработки численных методов, которые впоследствии внедряются в коммерческие CAE-системы.	приняли участие представители разработчиков отечественного инженерного ПО: «Логос», FlowVision, CADFlo, DTSeven (отечественная система многотельного динамического моделирования) и др. [356].
ООО «Метатекс» (Юникомпозит)	metatex.ru	Российский разработчик ПО для сквозного проектирования изделий из ПКМ на основе трехмерных тканых структур (концепция ICME – Integrated Computational Materials Engineering, сквозное вычислительное материаловедение). Ключевые решения: Metatex. Система проектирования армирующего каркаса из 3D-тканей. Позволяет получить ПКМ с трехмерной архитектурой армирования, устойчивостью к расслоению, управляемой анизотропией и возможностью объединить силовые элементы, крепеж и теплоотводы в единой детали. ПКМ с трехмерным армированием, проектируемые в Metatex, применяются в несущих и оболочечных конструкциях БВС – в первую очередь там, где критична устойчивость	Октябрь 2024: первый коммерческий релиз Metatex v1.0 (уровень готовности технологии TRL 4 по ГОСТ Р 58048-2017); зарегистрировано свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ ФИПС № 2024616657 [357]. Май 2025 (HeliRussia 2025, МВЦ «Крокус Экспо»): участие в отраслевой конференции «Композиционные материалы, технологии и оборудование для переработки в авиастроении» [358]. На HeliRussia 2025 компания представила решение в контексте авиастроительного применения.

Компания	Сайт	Характеристика компании и ключевые решения	Ключевые события по состоянию на конец 2025 – начало 2026 года
		к расслоению и требуется интеграция нескольких функций в единой детали (например, обшивка с встроенными силовыми элементами).	

Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным открытых источников, 2026

В целом, по состоянию на конец 2025 года, на российском рынке инженерного ПО сохраняется доминирование ограниченного ряда ведущих компаний-вендоров. При этом с усилением внешнеэкономических ограничений, а также с усилиями со стороны представителей рынка и органов государственной власти в течение последних лет, направленными на обеспечение технологического суверенитета Российской Федерации, рыночные позиции компаний-лидеров продолжают укрепляться. В то же время, в контексте анализа текущего состояния цифровых технологий обеспечения эксплуатации композитных и гибридных конструкций БВС необходимо отметить развитие специализированных продуктов и решений, предназначенных для анализа и моделирования композиционных материалов, а также изделий из них.

1.3.3. Ключевые события отрасли (кейсы), включая крупные проекты и достижения, в России в 2025 году

В настоящее время российская отрасль БАС переживает этап активного формирования и поиска новых технологических решений. Приоритетным направлением становится достижение технологического суверенитета и лидерства, что отражается в запуске новых производственных площадок и научно-производственных центров с широким географическим охватом. Особое внимание уделяется разработке отечественных компонентов, таких как аккумуляторные батареи, элементы летных конструкций из инновационных материалов и ПО для цифрового проектирования и моделирования. Научно-исследовательские центры и университеты активно внедряют результаты своих исследований в реальный сектор, проводя цифровые испытания БВС с адаптивными конструкциями. Таблица 15 демонстрирует некоторые ключевые события отрасли (кейсы), включая крупные проекты и достижения, и охватывает широкий спектр направлений: от создания новых материалов до интеграции сложных цифровых систем управления.

Таблица 15. Ключевые события отрасли (кейсы), включая крупные проекты и достижения, в России

Событие	Дата	Ключевые участники	Характеристика
Визит Президента Российской Федерации	28 января 2025	Президент Российской Федерации В.В. Путин, Правительство	В Тольятти на площадке НПЦ БАС «Самара» Президенту Российской Федерации представлены текущая

Событие	Дата	Ключевые участники	Характеристика
В.В. Путина в НПЦ БАС «Самара» и совещание по развитию беспилотной авиации		Российской Федерации (вице-премьер В.Г. Савельев, Минпромторг России, Минобрнауки России), НТИ, Университет 2035, АО «ГТЛК», ГК «Транспорт будущего»	ситуация в отрасли БАС и предложения по развитию национального проекта технологического лидерства БАС. Проведено федеральное совещание по развитию беспилотной авиации. Обозначена задача выстраивания «бесшовной архитектуры воздушного и космического пространства» и формирования на базе Тольятти исследовательского, образовательного и производственного кластера БАС [359–361].
Открытие научно-производственного центра «БАС» Томской области	13 февраля 2025	НПЦ «БАС» Томской области, Минпромторг России, АО «Спутниковая система «Гонец»	Создание инфраструктурной площадки для развития отрасли. Центр стал местом демонстрации малогабаритных спутниковых модемов для обеспечения БВС беспрерывной связью на всей территории России [362].
Запуск производства сверхлегких деталей из сферопластика	25 февраля 2025	ООО «Техноресурс», территория строящегося «Кампуса Академпарка»	В Новосибирске организовано производство воздушных винтов и лопастей для БВС из сферопластика с локализацией 95%. Технология основана на добавлении в смолу стеклянных микросфер, масса которых значительно меньше веса, связующего в композиционном материале [363,364].
Испытания БВС с эластичным бесшовным крылом	22 марта 2025	ФГБОУ ВО «МГТУ им. Н. Э. Баумана», ФГБОУ ВО «РЭУ им. Г. В. Плеханова»	Проведены испытания БВС с крылом, меняющим профиль в полете. Использование цифрового проектирования и эластичных конструкций позволило повысить аэродинамическую эффективность на 20% [365].
Распределение федеральных субсидий семи регионам на создание сети НПЦ БАС	24 марта 2025	Правительство Российской Федерации, Минпромторг России Нижегородская, Новгородская, Оренбургская, Тульская области, Республика Саха (Якутия), Кабардино-Балкарская Республика, Пермский край	Постановлением Правительства Российской Федерации на 2025 г. распределены 4,0 млрд руб. на создание сети НПЦ испытаний и компетенций в области развития технологий гражданских БАС в семи регионах в рамках федерального проекта «Разработка, стандартизация и серийное производство БАС и комплектующих». На 2026 г. запланировано 10,0 млрд руб. еще пяти регионам, на 2027 г. – 7,1 млрд руб. четырем регионам [366].

Событие	Дата	Ключевые участники	Характеристика
Публичный анонс проекта концепции «Цифрового неба России»	22 мая 2025	АО «ГЛОНАСС», АНО «Платформа НТИ», Минтранс России, Госкорпорация «Роскосмос», Минэкономразвития России	АО «ГЛОНАСС» совместно с Платформой НТИ и рабочей группой экспертов подготовило проект концепции «Цифрового неба России», объединяющий воздушное, космическое и цифровое пространства в единую систему. Документ предусматривает введение новой отрасли права – «цифрового транспортного права» – и создание единой сети передачи данных на базе спутников и БВС с применением ИИ [367,368].
Интеграция производителя композиционных материалов в отраслевую ассоциацию	30 июня 2025	АО «Препрег-СКМ» (Композитный дивизион Госкорпорации «Росатом»), Ассоциация «АЭРОНЕКСТ»	Предприятие Госкорпорации «Росатом» вошло в крупнейшее отраслевое объединение для продвижения новых материалов в сфере БВС. Цель объединения – замещение импорта и повышение эксплуатационных характеристик БВС за счет использования композиционных материалов российского производства [369].
Презентация демонстратора ПО для проектирования винтомоторных групп БВС на «Архипелаге-2025»	14 августа 2025	ПИШ СПбПУ «Цифровой инжиниринг», Фонд НТИ, АНО «ФЦ БАС», холдинг Т1	Представлен демонстратор программного комплекса для автоматизированного проектирования и расчета электрических винтомоторных групп БВС. Уникальность разработки заключается в возможности проектирования систем «с нуля» в единой среде, автоматизирующей сложные расчеты. Проект подтвердил заявленные характеристики и получил Сертификат экспертной комиссии. Запланирована интеграция комплекса на цифровую платформу CML-Bench® для создания полноценных цифровых двойников БВС [370].
Открытие НПЦ БАС «Инмар» в Удмуртии	25 августа 2025	НПЦ БАС «Инмар»	Запуск площадки для координации производства и испытаний БВС, включая применение композиционных материалов и цифровых систем управления [371].
Разработка полимерных композиционных материалов	30 августа 2025	ФГБОУ ВО «МГТУ им. Н. Э. Баумана»	Созданы композиционные материалы на основе термопластичных связующих для изготовления корпусов БВС. Материалы повышают ударную стойкость конструкций на 20% [372].

Событие	Дата	Ключевые участники	Характеристика
повышенной ударной стойкости			
Разработка цифровой системы прогнозирования ресурса конструкций	12 сентября 2025	ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (НИУ)»	Создание цифровой системы прогнозирования остаточного ресурса композитных и гибридных конструкций в авиации. Проект использует цифровые двойники и многоуровневое моделирование микротрещин [373].
Запуск третьей волны перспективных НИОКР для отрасли БАС	19 сентября 2025	Фонд НТИ, Минпромторг России	В рамках федерального проекта «Перспективные технологии для беспилотных авиационных систем» нацпроекта БАС Фонд НТИ направит более 5 млрд руб. на НИОКР по 18 темам в 9 приоритетных направлениях, включая разработку высокотехнологичных материалов, обеспечивающих легкость и прочность конструкций БВС, совершенствование двигателей и средств навигации, автономное управление на основе ИИ. Максимальный грант – 300 млн руб. на проект. Срок исследований – 2 года, финансирование поэтапное в 2025-2027 гг. [374].
Анонс производства ударопрочного композиционного материала на основе 3D-ткани	2 октября 2025	ООО «Карбонтекс»	Подготовка серийного выпуска листового композиционного материала на основе 3D-ткани для БВС. Материал исключает расслоение и обладает повышенной прочностью при ударах [375].
Пятая волна конкурсного отбора резидентов НПЦ БАС	16 октября 2025	Фонд НТИ, резиденты НПЦ БАС	Объявлен конкурсный отбор получателей субсидии из федерального бюджета на организацию серийного производства новых видов БАС, комплектующих, компонентов и подсистем, в том числе на основе прототипов и опытных образцов, разработанных на базе НПЦ. Поддержка – в форме грантов (до 30 млн руб. на прототип) [376].
Решение о создании промышленного технопарка «НПЦ	10 ноября 2025	Правительство Республики Татарстан, Министерство	В Казани началась процедура создания промышленного технопарка «НПЦ БАС Республики Татарстан» в рамках реализации нацпроекта «Беспилотные авиационные системы». Управляющей

Событие	Дата	Ключевые участники	Характеристика
БАС Республики Татарстан»		экономики РТ, ООО «Унипарк»	компанией назначено ООО «Унипарк». На создание сети НПЦ в регионе направлено 2 млрд руб. федеральной субсидии [377].
Модернизация БВС «Форпост-Р»	19 ноября 2025	АО «Концерн «Калашников»	Композитные силовые элементы повысили полезную нагрузку и дальность полета разведывательного БВС [378].
Концепт БВС «Снегирь-2» с композитным крылом	26 ноября 2025	ПИШ СПбПУ «Цифровой инжиниринг»	Разработан прототип нового поколения БВС со стелс-композитным крылом и цифровыми двойниками для моделирования аэродинамики [379].
Подтверждение охвата сети НПЦ БАС в IV квартале 2025 г.	2 декабря 2025	Минпромторг России, Управление беспилотных систем и робототехники, региональные НПЦ	По данным на IV квартал 2025 г. статус НПЦ присвоен управляющим компаниям в 28 субъектах РФ, резидентами стали более 480 организаций отрасли. Резидентам доступны мощности центров коллективного пользования, объекты лабораторно-исследовательского комплекса и инфраструктура летно-испытательных центров. Выпуск БАС по итогам года втрое превысил запланированные объемы [380].
Подведение итогов федерального проекта «Кадры для БАС» за 2025 г.	10 декабря 2025	Университет 2035, Минпромторг России, Минобрнауки России, АНО «Национальные приоритеты»	К концу 2025 г. в рамках нацпроекта БАС завершили обучение свыше 11 тыс. специалистов отрасли. Запущены массовые программы по пилотированию, применению БАС, разработке ПО, обслуживанию и ремонту БВС. Итогом года стал запуск цифрового реестра кадров БАС – единой платформы, консолидирующей мероприятия федерального проекта [381].

Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным открытых источников, 2026

Данные таблицы наглядно показывают, что отрасль БАС в России смещается в сторону массового производства высокотехнологичных решений. Значительную долю крупных отраслевых событий в России составляют проекты в области разработки и производства БВС, а также развития цифровых платформ. В целом, отрасль демонстрирует высокую поисковую активность способов перехода на новый уровень эксплуатации сложных гибридных и композитных конструкций.

По результатам проведенного Инфраструктурным центром «Технет» респонденты также отметили ряд ключевых событий, повлиявших на развитие отрасли в 2025 году, а именно:

- **Изменения в нормативно-правовом регулировании отрасли,** включая централизацию всех проектов БАС под управление Минпромторгом России, а таже принятие 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».
- **Совершенствование регулирования воздушного пространства и эксплуатации БВС,** включая внесение изменений в Воздушный кодекс Российской Федерации, регулирующих эксплуатацию БВС, выделение нового класса воздушного пространства – класса H, а также смягчение правил выполнения полетов, в особенности, для агро-БВС .
- **Развитие институциональной и программной поддержки отрасли,** включая проведение конкурсов Национальной технологической инициативы (НТИ), открытие научно-производственных центров (НПЦ), проведение мероприятия «Архипелаг», запуск национальных программ развития композиционных материалов, а также рост инвестиций в цифровые технологии и исследования.
- **Развитие механизмов цифрового регулирования,** включая возможность регистрации БВС на цифровых платформах и внедрение средств идентификации.
- **Рост производственного потенциала отрасли,** в том числе за счет мер государственной поддержки, включая начало серийного выпуска отечественных композитных конструкций, а также повышение доступности использования технологий аддитивного производства (3D-печати) для прототипирования и изготовления элементов конструкций БВС).

Респонденты также отмечают, что в Российской Федерации в 2025 году началось формирование отраслевого контура БАС. В частности, государством были выделены средства на создание научно-производственных центров БАС, продолжилось развитие инфраструктуры эксплуатации, а также утверждена федеральная государственная информационная система «Авиасерт», направленная на повышение прозрачности процедур сертификации. По мнению респондентов, указанные меры создают условия для расширения возможностей испытаний и упрощения допуска изделий к эксплуатации.

По мнению респондентов, 2025 год характеризуется противоречивой динамикой развития отрасли БАС: при достижении большинства целевых показателей национального проекта и росте производственного потенциала наблюдается снижение активности на рынке услуг, обусловленное ограничениями на выполнение полетов и воздействием средств радиоэлектронной борьбы (РЭБ). Дополнительным сдерживающим фактором выступает сокращение объемов бюджетного финансирования.

Для динамичного развития технологий рынка БВС критически важно наличие площадок для профессионального диалога и обмена опытом между всеми участниками отрасли. В России сложилась

разветвленная сеть отраслевых мероприятий, включающая международные выставки, научно-практические конференции и стратегические сессии. Тематикой обсуждений являются не только технические аспекты создания БВС, но и вопросы нормативно-правового регулирования, логистики и защиты объектов. Также данные площадки используются для демонстрации новейших разработок. Важное место в повестке занимают вопросы цифровизации процессов проектирования и перехода на отечественное ПО.

В таблице 16 представлены некоторые значимые мероприятия, относящиеся к теме цифровых технологий обеспечения эксплуатации композитных и гибридных конструкций БВС в России.

Таблица 16. Ключевые отраслевые мероприятия в России в 2025 году

Название (место проведения)	Даты	Тип	Организаторы и ключевые участники	Описание
NAIS-2025 (Москва)	5–6 февраля 2025	Национальная выставка и форум	Концерн ВКО «Алмаз-Антей», ООО «Микран», АО «Московские микроволны», ООО «НЕОСКАН», ООО «Транспорт будущего», ОАО «Авангард», АО «НПФ «ЦКБА», ООО «Системы Механической Защиты», ООО «ЗГМ», Группа компаний «Урал», АО «ЮМИРС», ООО «Стратус», АО «ОДК» (входит в Госкорпорацию «Ростех»), ООО «Спектра Эйркрафт» (входит в S7 Group),ООО «Диджитал Скрипка», УК «Аэропорты Регионов», Группа компаний «Южполиметалл-холдинг», холдинг «Росэлектроника», концерн КРЭТ (Госкорпорация «Ростех»), ОАО «МАЗ» и др.	Обсуждение развития инфраструктуры гражданской авиации и внедрения новых технологий [382].
«Аэрологистика. Новый уровень» (Москва)	14 февраля 2025	Стратегическая сессия	Ассоциация «АЭРОНЕКСТ» (при поддержке Фонда НТИ, Минобрнауки России); системные заказчики БАС, ФОИВ и др.	Рассмотрение вопросов развития логистических сервисов с применением БВС [383].
«Авиацифра 2025» (Казань)	10–12 марта 2025	Конференция	Компания ВИПФОРУМ, представители Госкорпорации «Ростех» и др.	Внедрение цифровых технологий в авиационной индустрии [384].

Название (место проведения)	Даты	Тип	Организаторы и ключевые участники	Описание
17-я Международная выставка «Композит-Экспо 2025» (Москва, Экспоцентр)	25–27 марта 2025	Международная специализированная выставка	ООО «ВК «Мир-Экспо»; производители композиционных материалов: ООО «ИТЕКМА», ООО «Карбон Студио», ООО «Формула Карбон» и др.	Демонстрация новых композиционных материалов, технологий и оборудования. Особое внимание уделено цифровым решениям для проектирования изделий для авиации и БВС [385].
VII Всероссийская конференция ExpoUAV (Санкт-Петербург)	27–28 марта 2025 года	Конференция	Организационный комитет ExpoUAV (руководитель Д.О. Дацыков); АО «НИИ «Вектор», ООО «Специальный технологический центр», АО «ГЛОНАСС», ПАО «Транснефть», ЗАО НПЦ «Фирма «Нелк», ООО «Элиарс», ООО «Специальные технологии контроля», ООО «СЭМ», ООО «Мобил-груп», RunAvia, Сколтех, КБ «Талламхо», ООО «Лазербазз», ИТМО, ФГБУ «НИИР», ООО «Ланит Интеграция», ТЕХКЛЮЧИ.РФ и др.	Обсуждение научно-технических достижений в области беспилотных систем [386].
«Беспилотная авиация – 2025» (Москва)	25 апреля 2025	Отраслевая конференция	ЦСР ГА (стратегический партнер ЦСРТ), ген. спонсор ООО «БАС Глори Эйр»; Минтранс РФ, Минпромторг РФ, МАК, ЕЭК, ООО «БАС», Консорциум БАС, Группа компаний «Беспилотные системы», ООО «Радар ммс», ООО «Дрон Солюшнс» и др.	Экспертный анализ состояния и перспектив развития рынка БАС [387].
«Технологии «Геоскана» 2025» (Москва)	28 апреля 2025	Технологическая конференция	ООО «Геоскан», Ассоциация «АЭРОНЕКСТ» и др.	Презентация новых разработок в сфере БВС и ПО для обработки данных [388].

Название (место проведения)	Даты	Тип	Организаторы и ключевые участники	Описание
HeliRussia-2025 (Москва, Крокус Экспо)	15–17 мая 2025	Международная выставка	ООО «ХЕЛИРАША», АО «ЮТэйр-Вертолетные услуги» (генеральный спонсор) и др.	Обсуждение применения композиционных материалов и инновационных технологий их переработки для авиационной техники [389].
«Подготовка кадров для индустрии беспилотных технологий» (Санкт-Петербург)	20 мая 2025	Конференция	Организационный комитет ExpoUAV: СПбПУ, НПЦ БАС СПб, RuDrones, АНО «Университет НТИ 2035» и др.	Формирование образовательных программ для специалистов в области проектирования и эксплуатации БВС [390].
ЦИПР (Цифровая индустрия промышленной России) (Нижний Новгород)	2 июня 2025	Форум (открытое заседание рабочей группы)	Ассоциация «АЭРОНЕКСТ», ИТ-компании, Минцифры России; Госкорпорация «Ростех», ПАО «Ростелеком», ОАО «РЖД», Госкорпорация «Росатом», ПАО «Северсталь», ГК «Роскосмос», ПАО «Россети», ПАО «Сбербанк России», ПАО «Газпром нефть», АО «CSoft», ООО «Топ Системы», ТМХ, АО «Т-Банк», АО «Еврохим», ПАО «Аэрофлот» и др.	Создание интегрированного цифрового пространства для БАС [391].
«Беспилотная авиация: состояние, проблемы и перспективы развития» (Москва)	3–4 июня 2025	Международная конференция	Межгосударственный авиационный комитет (МАК); представители авиационных администраций государств-участников Соглашения, ИКАО, IATA и др.	Обзор трендов и барьеров в развитии беспилотной отрасли [392].
«Роль беспилотной авиации в изменении текущего	18 июня 2025	Научный форум	Ассоциация «АЭРОНЕКСТ», АО «НПП «Радар ммс»; Минпромторг РФ, ООО «Транспорт Будущего», ООО «Кронштадт	Анализ влияния БВС на экономику и промышленность [393].

Название (место проведения)	Даты	Тип	Организаторы и ключевые участники	Описание
технологического уклада» (Санкт-Петербург)			Инновации», АО «Технопарк Санкт-Петербурга» и др.	
ИННОПРОМ (Екатеринбург)	7–10 июля 2025	Международная промышленная выставка	Правительство Свердловской области, Минпромторг РФ; Госкорпорация «Ростех», Госкорпорация «Росатом», АО «Нацпроектстрой», Уралвагонзавод (УТЗ), ПАО «Транснефть», ПАО «1С», ГК «Роскосмос», Группа Синара и др.	Демонстрация достижений промышленного производства, включая компоненты для БВС [394].
«Беспилотная эволюция» (Калуга)	24–25 июля 2025	Отраслевой форум	Правительство Калужской области, АНО «Федеральный центр БАС», Минпромторг России, Минцифры России, Минтруд России и др.	Обмен опытом внедрения БВС в региональную экономику [395].
Интенсив «Архипелаг-2025»	11 августа 2025	Интенсив	Инфраструктурный центр «Технет», ПИШ СПбПУ «Цифровой инжиниринг» и др.	Представлены результаты исследований рынка «Технет» для отрасли БАС, включая анализ технологий для эксплуатации композитных и гибридных конструкций БВС [396].
Международная выставка и Форум «Дрон Экспо 2025» (Казань)	26–28 августа 2025	Выставка и Форум	Ассоциация «АЭРОНЕКСТ»; участники: «ИТЕКМА», «Carbon Studio» и др.	Демонстрация ПКМ и оборудования для переработки. Обсуждение драйверов рынка и перехода на российские комплектующие [397].
Молодежный фестиваль «Композиты без границ» (Москва)	27–28 сентября 2025	Фестиваль	Госкорпорация «Росатом» (в рамках молодежной программы World Atomic Week)	Фестиваль с секциями по применению композитов в различных отраслях промышленности [398].

Название (место проведения)	Даты	Тип	Организаторы и ключевые участники	Описание
«Защита гражданских объектов от атак беспилотных систем и коммерческая эксплуатация БАС» (Санкт-Петербург)	7–9 октября 2025	Всероссийский форум	EXPOUAV, «RuDrones. Беспилотные технологии» (при поддержке СПбГУТ и АНО «НПЦ Ушкуйник»); АО «НИИ Вектор», ООО «Элиарс», ЦБКР, ПМЦ «Авангард», Asel Labs, КБ «ОКО», ООО «Мобил-груп», АНО «НПЦ Ушкуйник», ООО «Перегуд», ООО «СЗМ».	Правовые и технические аспекты использования БВС в гражданском секторе [399].
XVIII Научно-практическая конференция «Композитные материалы: производство, применение, тенденции рынка 2025» (Москва)	26 ноября 2025	Научно-практическая конференция	Объединение «Союз производителей композитов», Комитет по композитам «Деловая Россия» (патронаж ТПП РФ, поддержка Минпромторга РФ) и др.	Обсуждение перехода на отечественные цифровые технологии в процессах разработки и производства композиционных материалов для авиации и беспилотной техники [400].
Отраслевой форум по развитию беспилотной авиации «АЭРОНЕКСТ 2025» (Москва)	12 декабря 2025	Отраслевой форум	Ассоциация «АЭРОНЕКСТ» и др.	Подведение итогов года и определение стратегии развития отрасли БАС на следующий период [401].

Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным открытых источников, 2026

Широкий охват тематики мероприятий способствует реализации комплексного подхода как к развитию отдельных проектов, так и к развитию отрасли БАС в России в целом. Рассматриваемые мероприятия охватывают широкий круг вопросов — от применения инновационных материалов и технологий в авиастроении (в частности, в рамках выставок «Композит-Экспо» и HeliRussia) до подготовки кадров для цифровой экономики и высокотехнологичных отраслей промышленности. В целом регулярное проведение таких мероприятий способствует формированию единого информационного и технологического пространства, развитию профессионального взаимодействия участников отрасли и ускорению внедрения перспективных технологических решений.

ГЛАВА 2. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ КОМПОЗИТНЫХ И ГИБРИДНЫХ КОНСТРУКЦИЙ БВС

По состоянию на конец 2025 года сохраняется рост отрасли БАС, а также связанных с ней цифровых технологий, обеспечивающих проектирование, моделирование и эксплуатацию БВС (в т.ч. композитных и гибридных конструкций БВС). В то же время, необходимо отметить усиление влияния ряда сдерживающих факторов, а таюже появление новых возможностей для развития рассматриваемой отрасли. В рамках настоящего раздела анализ проводится по следующим блокам (подразделам):

Основные тенденции развития отрасли по состоянию на конец 2025 года, включая тенденции развития отрасли в мире (в т.ч. глобальные технологические тренды) и российскую специфику адаптации к мировым тенденциям.
Наиболее значимые барьеры, препятствующие развитию отрасли, и ключевые возможности для роста по состоянию на конец 2025 года в России и в мире в целом.

2.1. Основные тенденции развития отрасли по состоянию на конец 2025 года

2.1.1. Общемировые технологические тенденции

На фоне макроэкономической нестабильности последних лет и рецессионных явлений, наблюдаемых на отдельных мировых рынках, происходит трансформация глобального технологического ландшафта, что отмечается в исследованиях международных консалтинговых компаний и аналитических агентств, включая Deloitte [402], Capgemini [403], KPMG [404], Gartner [405,406] и др. В частности, в рамках обзора технологических тенденций компании McKinsey (McKinsey Technology Trends Outlook 2025) [407] по состоянию на 2025 год, выделяется три ключевых категории глобальных технологических трендов:

- **Революционные технологии в сфере искусственного интеллекта** (ИИ), включая:
  - технологии ИИ общего назначения;
  - агентный ИИ (agentic AI), предполагающий использование автономных ИИ-агентов, способных взаимодействовать с информационной средой и выполнять поставленные пользователем задачи — от универсальных агентских платформ до специализированных решений для проведения анализа и исследований.
- **Передовые вычислительные и коммуникационные технологии,** включающие:
  - облачные и периферийные вычисления;
  - технологии кибербезопасности и обеспечения цифрового доверия;
  - передовые коммуникационные технологии;
  - технологии дополненной и виртуальной реальности (AR/VR);
  - специализированные интегральные схемы;
  - квантовые технологии.
- **Передовые инженерные разработки**, к числу которых относятся:

- робототехнические системы, способные выполнять задачи автономно или полуавтономно, включая автономных мобильных роботов, человекоподобных роботов и коллаборативные робототехнические комплексы;
- технологии мобильности, включая автономные транспортные средства, электромобили, БВС, решения городской воздушной мобильности, а также средства микромобильности;
- технологии биоинжиниринга;
- космические технологии;
- передовая энергетика и технологии устойчивого развития [407].

На рисунке 70 представлено текущее состояние выделенных выше технологических трендов на основе оценки уровня инновационной активности и уровня интереса к соответствующим направлениям, рассчитанных специалистами McKinsey [407]. Оценка инновационной активности сформирована на базе данных о патентах и научных публикациях, в то время как уровень интереса определен на основе анализа новостных публикаций и поисковой активности пользователей в сети Интернет.

Рисунок 70. Ключевые глобальные технологические тенденции (размер пунсона – инвестиции в акционерный капитал по направлению в 2024 г., млрд долл.)



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным McKinsey [407], 2026

По состоянию на конец 2025 года наиболее значимыми «сквозными» глобальными технологическими направлениями, по оценкам ведущих консалтинговых и аналитических организаций [403,404,407], продолжают оставаться технологии ИИ, облачные вычисления и технологии

кибербезопасности. В то же время на мировом уровне возрастает актуальность вопросов обеспечения технологического суверенитета, при этом одной из ключевых задач становится поиск баланса между международным технологическим сотрудничеством и стратегической самодостаточностью [403,405].

2.1.2. Тенденции развития отрасли в мире

Основные тенденции развития отрасли БАС тесно связаны с глобальными технологическими трендами. В актуальных отраслевых исследованиях [136] особое внимание уделяется возрастающей роли технологий ИИ в развитии мирового рынка БВС. В частности, значение технологий ИИ подчеркивается по следующим направлениям:

- **Повышение автономности БВС,** позволяющее выполнять сложные задачи — от аэрофотосъемки и инспектирования инфраструктурных объектов до доставки грузов — с минимизацией необходимости постоянного контроля со стороны оператора.
- **Повышение операционной эффективности,** обеспечиваемое за счет оптимизации траекторий полета, снижения потребности в ручном управлении и автоматизации отдельных операций, в том числе в сельском хозяйстве, логистике и мониторинге объектов, что способствует снижению затрат и повышению производительности.
- **Расширение возможностей наблюдения и мониторинга,** в том числе в контексте решения задач специального назначения и обеспечения безопасности объектов инфраструктуры и территорий, за счет сочетания автономного функционирования БВС и анализа данных в режиме реального времени для выявления угроз, отклонений и аномалий.
- **Совершенствование процессов сбора и анализа данных,** включая обработку больших массивов информации, что имеет критическое значение для мониторинга окружающей среды, эксплуатации инфраструктурных объектов и управления сельским хозяйством, где точность и полнота данных определяют качество принимаемых решений [136].

Вместе с тем быстрое развитие и внедрение решений на базе ИИ в сфере БВС сопровождается возникновением дополнительных регуляторных и этических вызовов, включая обеспечение надежности, безопасности и контролируемости применяемых решений [136].

В сфере цифровых технологий, обеспечивающих проектирование, моделирование и эксплуатацию БВС (в том числе композитных и гибридных конструкций), международная консалтинговая компания CIMdata, специализирующаяся в области систем управления жизненным циклом изделия (PLM) и цифровой трансформации, в исследовании мирового рынка моделирования и анализа за 2025 год (2025 Simulation & Analysis Market Analysis Report) [408] также относит интеграцию технологий ИИ/МО к числу наиболее значимых отраслевых тенденций.

По оценкам CIMdata, развитие графических процессоров (GPU), обеспечивающих ускорение вычислений за счет параллельной обработки данных, а также рост интереса к генеративному ИИ со стороны разработчиков и инвесторов приводят к пересмотру подходов к проектированию и моделированию как со стороны крупных участников рынка, так и новых технологических компаний и стартапов. В частности, актуальными направлениями трансформации являются:

- **Разработка моделей на основе исторических данных моделирования и испытаний,** включая использование методов базового машинного обучения для выявления закономерностей и повышения качества прогнозирования.
- **Использование ИИ, основанного на физических законах (physics-informed AI),** позволяющего сократить время обучения моделей и уменьшить объем данных, необходимых для их подготовки.
- **Применение методов геометрического глубокого обучения (geometric deep learning)** для обработки и анализа трехмерных инженерных данных, включая геометрию изделий, расчетные модели и иные представления объектов.
- **Переход от пилотного внедрения к масштабному использованию технологий цифровых двойников** в различных отраслях промышленности, который, по оценкам отраслевых экспертов, наблюдается начиная с 2024 года [408–410].

Таблица 17 содержит ключевые отраслевые тренды развития БАС. Таблица сформирована на основе данных отчета «Обзор цифровых технологий обеспечения эксплуатации композитных и гибридных конструкций БВС» [9], выполненного Инфраструктурным центром «Технет» в 2025 году с последующей актуализацией и дополнением с учетом изменений технологической и рыночной повестки. Представленные тренды сохраняют актуальность как на текущем этапе развития отрасли, так и в долгосрочной перспективе.

Таблица 17. Ключевые технологические тенденции, решения и примеры их реализации на мировом рынке

Тенденция	Решение	Примеры реализации (проекты / продукты / мероприятия, организации)
Повышение автономности БВС за счет программно-аппаратных средств управления полетом и обработки данных, включая технологии на базе ИИ	Системы технического зрения, дополненные ИИ-алгоритмами, позволяющие БВС действовать в неизвестной и/или динамично изменяющейся среде	В сентябре 2025 года в США компания Northrop Grumman анонсировала испытания беспилотного летательного аппарата Beacon, который может полностью управляться посредством ИИ. Платформа создана для интеграции автономного ПО от компаний Applied Intuition, Merlin Labs, Shield AI и др. [411]. В октябре 2025 года в Германии компания Quantum Systems приобрела разработчика ИИ Spleenlab, интегрировав технологию VISIONAIRY AI для автономного восприятия среды и навигации без GPS в реальном времени [412]. В 2025 году в Турции компания Baykar продолжила развитие технологий ИИ для беспилотных систем, включая алгоритмы компьютерного зрения и автономного принятия решений [413].
	Навигационные системы на базе лидаров, обеспечивающие 3D-картографирование местности и обход препятствий	В США компания YellowScan представила LiDAR-систему Voyager с дальностью сканирования до 440 метров, точностью сантиметрового уровня и способностью фиксировать до 32 эхо-сигналов от одного импульса [414]. В США компания ZenaTech представила ZenaDrone IQ Nano – тактический БВС, оснащенный лидаром

Тенденция	Решение	Примеры реализации (проекты / продукты / мероприятия, организации)
		и HD/тепловизионными камерами для автономных миссий в условиях отсутствия GPS [415]. В Австралии компания Aerometrex входит в число ведущих мировых поставщиков услуг воздушного LiDAR-картографирования, работая на рынках Северной Америки, Европы и Азиатско-Тихоокеанского региона [416].
	Мультисенсорные навигационные системы, объединяющие информацию от различных датчиков	В Канаде компания L3Harris Wescam продолжила развитие мультисенсорных и мультиспектральных систем наблюдения, интегрируемых на борту БВС для разведки [417].
	Системы навигации для движения внутри помещений	В США компания Skydio представила БВС R10, созданный для работы внутри помещений. Технология Skydio Autonomy с функцией NightSense позволяет обходить препятствия в полной темноте [418].
	Инструменты для обработки данных на борту БВС	В США компания Red Cat Holdings завершила летные испытания БВС Black Widow с интегрированным ПО визуальной навигации VNav от Palantir Technologies, использующим краевые вычисления для генерации оценки местоположения в реальном времени без дополнительного оборудования [419].
Оптимизация конструкции с использованием передовых композиционных материалов и модульного подхода	Модульный подход	В США на выставке AUSA концепция модульности стала ключевой в развитии систем «Launch Effects». Компания L3Harris представила семейство «Wolf Pack» с модульными отсеками полезной нагрузки и общими узлами крепления [420].
	Гибридная конструкция	В Турции компания Baykar продолжила испытания ударного БВС «Kizilelma», выполненного по гибридной аэродинамической схеме и способного действовать в связке с пилотируемыми истребителями F-16 [421].
Увеличение продолжительности полета за счет повышения срока службы батареи и совершенствования работы двигателя	Водородные топливные элементы и гибридные системы, сочетающие топливные элементы и аккумуляторы	Французская компания H3 Dynamics развивает водородные системы, увеличившие время полета БВС до 4–10 часов [422].
Реорганизация систем связи через стандартизацию протоколов и использование современных и перспективных сетей мобильной связи	Современные и перспективные сети мобильной связи, включая 5G	В 2025 году в Европе в рамках концепции U-space (цифровая система управления движением БВС) статус сертифицированных провайдеров услуг получили первые компании, в частности, пионером стала компания ANRA Technologies [423].
	Спутниковые системы связи	В США на выставке AUSA обсуждалась концепция «Assured PNT» (гарантированного позиционирования, навигации и синхронизации), включающая использование низкоорбитальных спутников

Тенденция	Решение	Примеры реализации (проекты / продукты / мероприятия, организации)
		для повышения надежности навигации в условиях глушения или отсутствия сигнала GPS [424].
	Технологии, обеспечивающие групповое взаимодействие БВС	В 2025 году Минобороны США провело испытания F-35 Lightning II с БВС XQ-58A Valkyrie в рамках концепции «беспилотный ведомый» (Loyal Wingman), достигнув обмена данными в реальном времени [425]. В 2025 году в Швеции в ходе учений «Arctic Strike» впервые применена система «роевого взаимодействия», позволяющая одному оператору управлять роем из БВС для разведки [426]. В ноябре 2025 года в Турции проведены успешные испытания, в ходе которых ударный БВС «Kızılelma» выполнил применение по воздушной мишени совместно с истребителем F-16 [427].
	Стандартизация протоколов взаимодействия, разработка средств защиты от помех и перехвата сигнала; программные средства для обеспечения кибербезопасности, включая решения на базе ИИ	В августе 2025 года в США Федеральное управление гражданской авиации (FAA) опубликовало Уведомление о предлагаемом нормотворчестве по части 108 (Part 108), вводящее двухуровневую систему (разрешения для низкого риска и сертификаты для сложных миссий) для регулярных полетов BVLOS [428]. В 2025 году ЕС продолжил внедрение стандартов НАТО для формирования и обработки данных воздушной разведки, включая требования к структуре пакетов данных, целостности информации и кибербезопасности [429].
Развитие технологий производства БВС, включая использование аддитивных технологий и увеличение доли композиционных материалов	Аддитивное производство	Компании Siemens, Stratasys (Германия/США) и Renishaw (Великобритания) внедряют производственные ячейки для печати несущих элементов, корпусов и металлических силовых узлов из Ti-6Al и AlSi10Mg [430].

Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным открытых источников, 2026

Можно отметить, что повышение уровня автономности БВС по-прежнему остается критически значимым условием эффективного решения широкого спектра задач гражданского и специального назначения, включая мониторинг инженерных сооружений и окружающей среды, проведение поисково-спасательных операций, инспектирование объектов инфраструктуры и аэрологистику. При этом принципиальное значение приобретает способность БВС к автономному функционированию в условиях плотной городской застройки, сложного рельефа местности, а также в условиях отсутствия, деградации или подавления сигналов спутниковой навигации.

Одновременно сохраняется потребность в совершенствовании конструкции БВС на основе применения передовых композиционных материалов и модульного подхода, обеспечивающих достижение необходимых эксплуатационных характеристик, соответствие требованиям безопасности и

экономической эффективности. Особое значение в данном контексте приобретает развитие производственных технологий, включая использование аддитивного производства и расширение применения композиционных материалов.

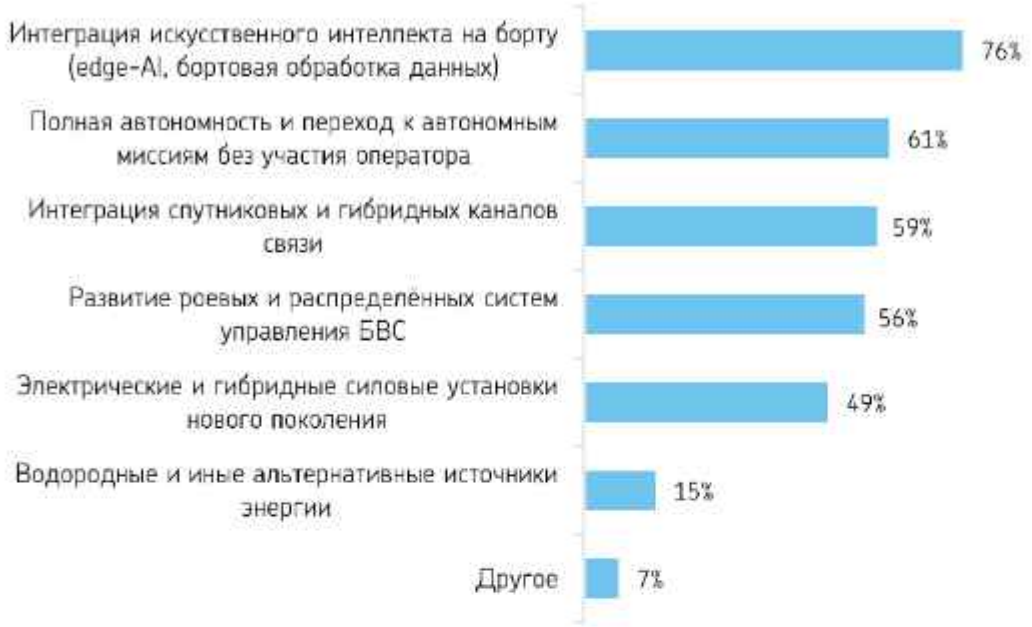
Отраслевые эксперты подчеркивают, что широкое внедрение композиционных материалов на основе углеродного и арамидного волокна в производство БВС существенно трансформировало их тактико-технические характеристики, обеспечив создание легких и одновременно высокопрочных конструкций. Переход от традиционных металлических материалов к современным композиционным решениям позволил снизить массу воздушных судов на 30–50 % при одновременном повышении прочностных характеристик и устойчивости конструкций к воздействию факторов внешней среды. Для сегмента БВС специального назначения особую значимость приобретают решения нового поколения, при производстве которых используются радиопоглощающие композиционные материалы, обеспечивающие снижение радиолокационной заметности при сохранении устойчивости к высоким эксплуатационным нагрузкам [159].

Кроме того, применение композиционных материалов, прежде всего на основе углеродного волокна, способствует увеличению продолжительности полета современных БВС. По оценкам отраслевых экспертов, длительность полета конструкций, выполненных преимущественно из углеродных композитов, может достигать 40–60 минут, что практически вдвое превышает показатели сопоставимых моделей с алюминиевыми элементами конструкции [159]. В коммерческом сегменте мирового рынка БВС, где продолжительность полета выступает одним из ключевых факторов операционной эффективности, данная тенденция приобретает особую значимость. В этой связи сохраняется устойчивый спрос на технологические решения, обеспечивающие увеличение продолжительности полета БВС, необходимой для выполнения как гражданских, так и специальных задач [9].

Долгосрочной отраслевой тенденцией также остается развитие систем связи и передачи данных, включая стандартизацию протоколов взаимодействия и использование современных и перспективных сетей мобильной связи. Указанная тенденция поддерживается как инициативами государств в сфере нормативно-правового регулирования, так и международной корпоративной практикой внедрения беспилотных технологий.

Результаты опроса Инфраструктурного центра «Технет» подтверждают выявленные технологические тренды, которые будут определяющими для развития БАС в средне- и долгосрочной перспективы (рисунок 71). Так, наибольшее значение приходится интеграцию ИИ на борту (edge-AI, бортовая обработка данных), полную автономность и переход к автономным миссиям без участия оператора, интеграции спутниковых и гибридных каналов связи и развитие роевых и распределенных систем управления БВС. Категория ответа «Другое» включает формирование альтернативных каналов связи и повышение эффективности решений в соответствии с поставленными задачами.

Рисунок 71. Структура ответов о технологических трендах, которые будут определяющими для развития БАС до 2030 года, %



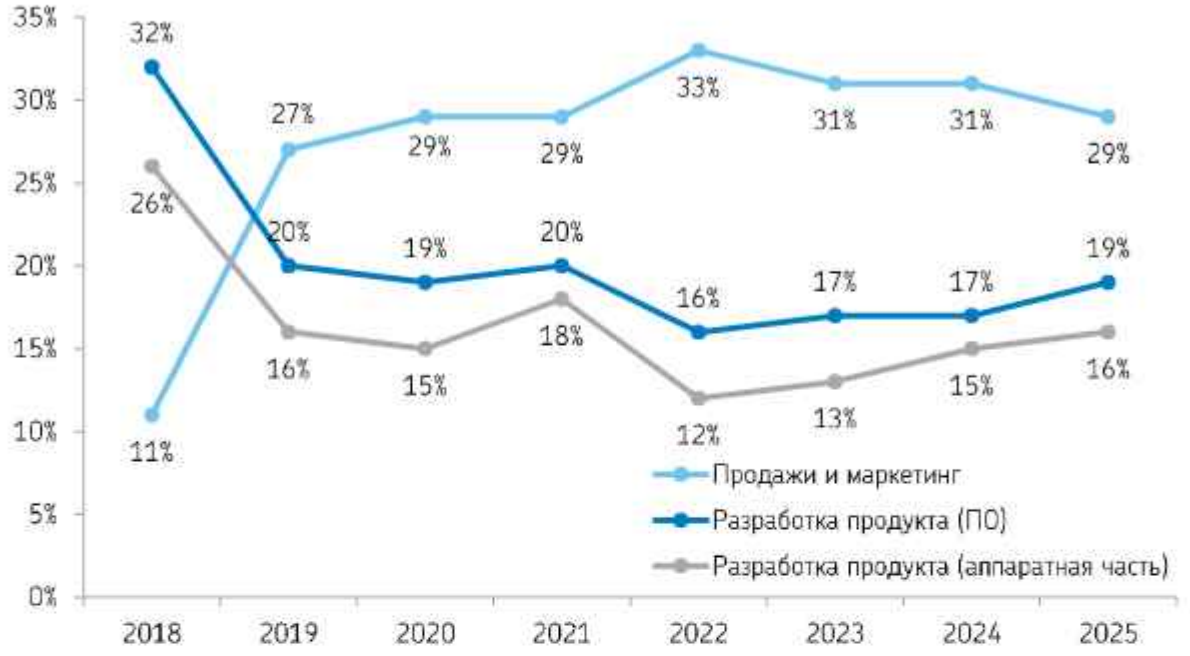
Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по результатам опроса, 2026

Среди рыночных трендов по состоянию на конец 2025 года сохраняют актуальность распространение модели «дрон-как-услуга» (DaaS), а также комплексных программных и программно-аппаратных платформенных решений [9].

Кроме того, как было отмечено ранее, в 2021–2024 годах наблюдалось последовательное сокращение объемов инвестиций в коммерческий сегмент мирового рынка БВС [142], усиливает значимость анализа перераспределения ресурсов ключевыми участниками отрасли по приоритетным направлениям. Согласно результатам ежегодного опроса Droneii [140,141], несмотря на колебания доли респондентов, указывающих отдельные направления в качестве инвестиционных приоритетов в 2022–2025 годах, в долгосрочной ретроспективе (2018–2025 гг.) сохраняется выраженный сдвиг инвестиционного фокуса в сторону продаж и маркетинга. Данное направление продолжает занимать ведущие позиции, тогда как интерес к разработке продукта (как программной, так и аппаратной части) демонстрирует относительное снижение (рисунок 72).

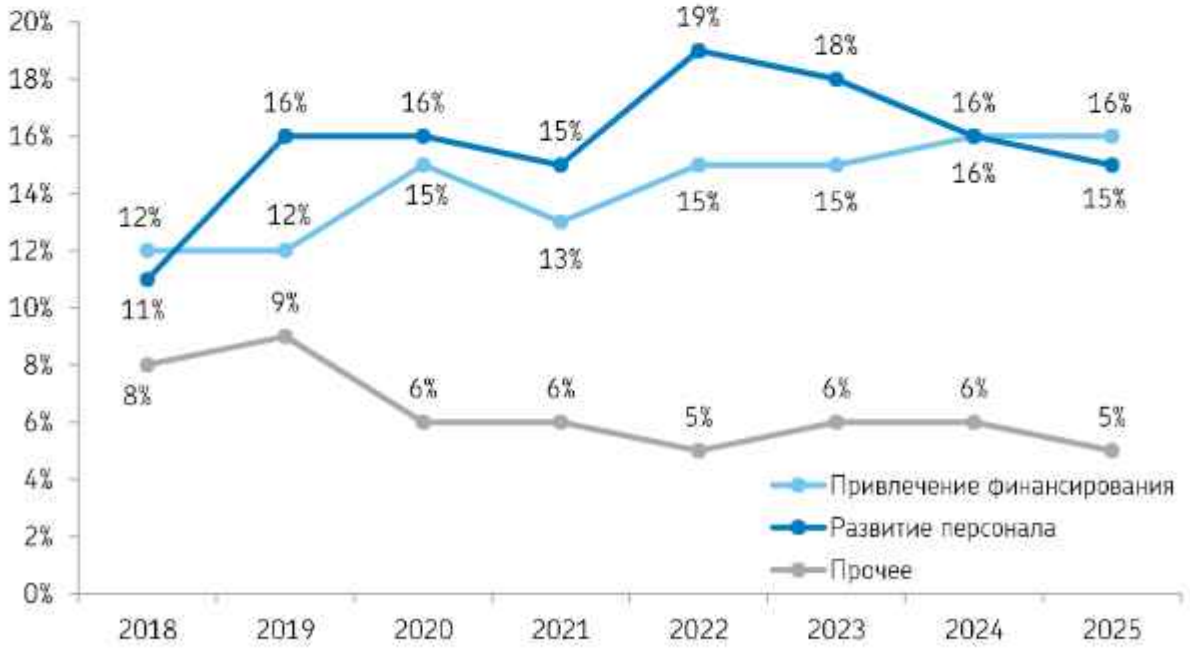
Кроме того, отмечается постепенное увеличение внимания представителей мирового рынка БВС к привлечению дополнительного финансирования. При этом вложения в развитие персонала после пиковых значений 2022 года демонстрируют тенденцию к снижению приоритетности (рисунок 73).

Рисунок 72. Инвестиционные приоритеты представителей мирового рынка БВС в 2018–2025 гг. на перспективу следующих 12 месяцев: лидирующие направления, доля респондентов, отметивших направление в качестве приоритетного, %



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным Droneii [140,141], 2026

Рисунок 73. Инвестиционные приоритеты представителей мирового рынка БВС в 2018–2025 гг. на перспективу следующих 12 месяцев: прочие направления, доля респондентов, отметивших направление в качестве приоритетного, %



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным Droneii [140,141], 2026

В то же время, при анализе динамики инвестиций в рынок БВС за последние 10 лет эксперты Droneii отмечают наличие корреляции между фактическими значениями объемов инвестиций [143] (в сочетании с результатами ежегодных опросов [140,141]) и моделью технологического развития «Цикл хайпа» международной консалтинговой организации Gartner (Gartner Hype Cycle), а также с моделью диффузии инноваций Э. Роджерса [142].

Модель «Цикл хайпа» предполагает выделение 5-ти ключевых стадий жизненного цикла технологии:

- **Запуск технологии или «инновационный триггер» (Innovation Trigger)** – стадия возникновения потенциального технологического прорыва, сопровождаемая первыми подтверждениями концепции (proof-of-concept) и ростом интереса со стороны СМИ и инвесторов при отсутствии зрелых коммерческих решений.
- **Пик завышенных ожиданий (Peak of Inflated Expectations)** – этап резкого роста интереса к технологии, формируемого за счет отдельных успешных кейсов, при этом значительная часть участников рынка сохраняет позицию ожидания.
- **Пропасть разочарования (Trough of Disillusionment)** – стадия снижения интереса к технологии вследствие несоответствия ожиданий фактическим результатам; происходит сокращение числа участников рынка, инвестиции концентрируются в наиболее устойчивых направлениях.
- **Склон просвещения (Slope of Enlightenment)** – этап постепенного распространения практических кейсов применения технологии, появления продуктов второго и последующих поколений и расширения числа компаний, реализующих пилотные проекты.
- **Плато продуктивности (Plateau of Productivity)** – стадия массового внедрения технологии после подтверждения ее технологической и экономической эффективности [431].

В рамках модели диффузии инноваций Э. Роджерса выделяются следующие категории потребителей:

- **Инноваторы (Innovators)** – наиболее склонная к риску группа, осуществляющая первичную апробацию технологий; составляет около 2,5% потребителей.
- **Ранние последователи (Early Adopters)** – лидеры мнений, активно внедряющие новые технологии на основе положительного опыта инноваторов; около 13,5% потребителей.
- **Раннее большинство (Early Majority)** – группа, принимающая инновации после подтверждения их эффективности значительной частью рынка; около 34% потребителей.
- **Позднее большинство (Late Majority)** – потребители, внедряющие инновации на поздней стадии, после подтверждения их практической ценности; около 34% потребителей [432].

Обобщенная схема, отражающая соотношение указанных моделей и динамику объемов инвестиций в коммерческий сегмент мирового рынка БВС в 2015–2025 годах, представлена на рисунке 74.

Рисунок 74. Сопоставление объема инвестиций в коммерческий сегмент мирового рынка БВС в 2015–2025 гг. с этапами, выделяемыми в рамках модели развития технологий «Цикл хайпа» компании Gartner (Gartner Hype Cycle), а также с моделью диффузии инноваций Э.Роджерса, млрд долл.



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным Droneii [142,143], 2026

Эксперты Droneii [142] отмечают высокую корреляцию при сопоставлении объема инвестиций в коммерческий сегмент мирового рынка БВС в 2015–2025 годах с этапами, выделяемыми в рамках модели развития технологий «Цикл хайпа» компании Gartner (Gartner Hype Cycle), а также с моделью диффузии инноваций Э. Роджерса. В то время как «Цикл хайпа» отражает динамику общественного и медийного интереса на различных этапах развития технологии, модель Роджерса описывает процесс принятия инноваций различными категориями потребителей. Совместное применение данных подходов позволяет сформировать комплексное представление о механизмах рыночного освоения технологий и характерных закономерностях их распространения.

В частности, текущая стадия развития мирового рынка БВС может быть соотнесена с фазой «ранних последователей», при этом переход к стадии «раннего большинства» ожидается в среднесрочной перспективе. Пик инвестиционной активности соответствует фазе пика завышенных ожиданий, тогда как последующее снижение объемов финансирования коммерческого сегмента соотносится с фазой «пропасти разочарования». Данная ситуация указывает на вступление отрасли в этап рыночной турбулентности, в рамках которого в теории маркетинга выделяется так называемый «разрыв» (chasm). На данном этапе, как правило, наблюдаются процессы рыночной консолидации, включая слияния и поглощения, переориентацию компаний на смежные сегменты, а также уход с рынка отдельных участников [142,194].

Характерным примером является шведская компания Aerit, специализировавшаяся на доставке с использованием БВС, которая заявила о банкротстве в мае 2024 года вследствие невозможности привлечения дополнительного финансирования [194,433]. В 2024 году также были зафиксированы случаи прекращения деятельности компаний PrecisionHawk (США) [434] и Skydrop (ранее Flirtey; США) [435]. Обе компании относились к числу заметных участников рынка и

демонстрировали рост клиентской базы, однако, несмотря на привлечение значительных инвестиций (в частности, PrecisionHawk — более 130 млн долл.), не обеспечили устойчивости бизнес-моделей. При этом в 2025 году патентный портфель Skydrop перешел к компании Valqari, чикагскому стартапу, специализирующемуся на разработке автономных сетей БВС [436].

Процессы консолидации затронули и другие сегменты рынка. Британская компания Unmanned Life [437] и голландский производитель ATMOS UAV [438] прекратили деятельность, что оказало влияние на корпоративный и геодезический сегменты, где данные компании занимали устойчивые позиции [194]. Кроме того, корпорация Sony (Япония) объявила о завершении программы разработки БВС Airpeak S1 с прекращением продаж к марту 2025 года [439]. Несмотря на технологический потенциал и брендовый ресурс, отказ от дальнейшего развития продукта отражает высокий уровень конкурентного давления со стороны специализированных производителей БВС с устоявшимися цепочками поставок и клиентской базой [194].

Тенденция к консолидации также проявляется в стратегических сделках по приобретению технологических компаний. В частности, в 2025 году американская компания Ondas осуществила ряд приобретений, включая Sentrycs (Израиль) [440,441], 4M Defense Ltd. (Израиль) [442], Roboteam (Израиль) [443], Apeiro Motion (Израиль) [444], а также Insight Intelligent Sensors (Израиль) [445], расширяя компетенции в области противодействия БВС, робототехники и сенсорных систем. Французская компания Delair в октябре 2024 года объявила о приобретении компании Squadrone System (Франция), специализирующуюся на противодействии БВС и разработке мульти-роторных систем, включая решения для роевых применений и автоматизированных промышленных инспекций. Данная сделка соответствует стратегии компании, ориентированной на развитие направлений энергетики, обработки изображений, радиоэлектронных технологий, роевых систем и сертификации [195].

Дополнительно следует отметить, что в 2024 году Airbus Helicopters (Франция/Германия) завершила приобретение компании Aerovel (США) [446], получив таким образом доступ к беспилотной платформе Flexrotor. доступ к платформе Flexrotor — беспилотной системе вертикального взлета и посадки с продолжительностью полета до 12–14 часов и максимальной взлетной массой до 25 кг. Это расширило портфель тактических решений компании в сегменте БВС [194]. Компания Robinson Helicopter Company (США) также развивает направление беспилотных систем (в частности – в области тактических беспилотных вертолетов) за счет приобретения Ascent AeroSystems (США) [447] что позволяет интегрировать платформы Spirit и NX30 в собственную продуктовую линейку. Данные сделки в совокупности отражают усиливающуюся конвергенцию между традиционным вертолетостроением и разработчиками БВС.

Указанные стратегические шаги отражают тенденцию к консолидации технологических компетенций, прежде всего в области автономных систем и специализированных применений беспилотных воздушных судов. Современные сделки по приобретению компаний преимущественно ориентированы на активы, обладающие передовыми технологическими решениями в таких направлениях, как рои БВС, автономные полеты и выполнение специализированных задач [194].

В секторе производства БВС ключевые представители мировой отрасли реализуют целенаправленные стратегии расширения технологического портфеля за счет интеграции профильных компаний и решений. В качестве примера можно привести приобретение компанией Red Cat (США),

также входящей в число значимых участников мирового рынка БВС, компании FlightWave Aerospace Systems (США), специализирующейся на разработке беспилотных летательных аппаратов вертикального взлета и посадки (VTOL), а также сенсорных систем и программного обеспечения [448]. После завершения сделки трикоптер специального назначения Edge 130 был включен в линейку беспилотных систем разведки, наблюдения и рекогносцировки (ISR) компании Red Cat [449].

Указанная тенденция распространяется и на сегмент систем управления беспилотным воздушным движением (UTM), где ведущие участники рынка расширяют компетенции за счет развития сервисных и программных решений. В частности, приобретение компанией Thales (Франция) компании AstraUTM (ОАЭ, Дубай), специализирующейся на разработке решений для управления беспилотным воздушным движением, демонстрирует переход крупных аэрокосмических корпораций к модели развития UTM-сервисов, ориентированной на предоставление программных платформ, а не только инфраструктурных решений.

Подобные стратегии вертикальной интеграции отражают процесс становления технологической отрасли, в рамках которого компании формируют комплексные технологические экосистемы, а не ограничиваются расширением рыночной доли за счет горизонтальной интеграции. Вместе с тем часть сделок в сфере слияний и поглощений обусловлена как стратегическими целями расширения, так и необходимостью адаптации к изменяющимся рыночным условиям [194].

По состоянию на конец 2025 года также наблюдаются процессы консолидации и структурной трансформации рынка инженерного ПО, включая решения для работы с композиционными материалами. Лидеры мирового рынка цифрового проектирования и моделирования композиционных материалов при этом, также занимающие заметные позиции на глобальном рынке систем управления жизненным циклом изделия (PLM), за последние пять лет переходят от предоставления отдельных CAD/CAM/CAE и PDM/PLM инструментов к цифровым кросс-функциональным платформам, охватывающим все этапы цепочки создания стоимости [450].

В таблице 18 представлена основная информация о сделках слияний и поглощений компаний, являющихся ключевыми участниками мирового рынка цифрового проектирования и моделирования композиционных материалов, по состоянию на конец 2025 года.

Таблица 18. Компании – лидеры мирового рынка цифрового проектирования и моделирования композиционных материалов по состоянию на конец 2025 года: слияния и поглощения

Компания (страна)	Приобретаемая компания, характеристика	Год сделки	Сумма сделки, млрд долл.
Cadence Design Systems (США)	Hexagon Design & Engineering (Швеция), вкл. MSC Software – ПО для цифрового моделирования и структурного анализа. Ключевые продукты: MSC Nastran (МКЭ), Adams (динамика многотельных систем), Marc (нелинейный анализ), Patran, Simufact (аддитивное производство и сварка), Digimat (многомасштабное моделирование	2025	3,12 на 12.03.2026 (€2,7 млрд)

Компания (страна)	Приобретаемая компания, характеристика	Год сделки	Сумма сделки, млрд долл.
	композиционных материалов). Отрасли: авиационная и ракетно-космическая отрасль и ОПК (Lockheed Martin, Boeing, BAE Systems), автомобилестроение (Volkswagen, BMW, Toyota), судостроение, электроника. Цель сделки: вход Cadence на рынок структурного анализа и мультифизического и многодисциплинарного моделирования [200].		
	BETA CAE Systems International AG (Швейцария/Греция) – специализируется на решениях в области мультифизического и многодисциплинарного моделирования, включая анализ методом конечных элементов (МКЭ), вычислительную гидродинамику (CFD) и электромагнитное моделирование. Ключевые продукты: ANSA (препроцессор МКЭ/CFD), META (постпроцессор), EPILYSIS (конечно-элементный решатель), FATIQ (анализ усталости), SPDRM (система управления процессами, данными и ресурсами компьютерного моделирования). Отрасли: автомобилестроение, авиационная и ракетно-космическая отрасль, энергетика, железнодорожный транспорт, биомедицина. Цель сделки: расширение портфеля Cadence в области структурного анализа и мультифизического моделирования [451].	2024	1,24
Dassault Systèmes (Франция)	AMCAD Engineering (Франция) – ПО для моделирования и проектирования СВЧ-компонентов, схем и РЧ-подсистем. Ключевые продукты: IVCAD (измерение и моделирование СВЧ-компонентов), QSTAR (оценка нелинейности и эффективности усилителей), VISION (моделирование РЧ-схем и систем), WHITEBOARD (модуль управления рабочими процессами). Отрасли: беспроводная связь (5G/6G), авиационная и ракетно-космическая отрасль, ОПК. Цель сделки: интеграция в бренд SIMULIA (Dassault) для расширения мультифизического моделирования в области РЧ/СВЧ [452].	2024	Не раскрывается

Компания (страна)	Приобретаемая компания, характеристика	Год сделки	Сумма сделки, млрд долл.
	Diota (Франция) – ПО цифрового сопровождения производственных процессов с использованием технологий дополненной реальности (AR). Решения компании применяются для поддержки сборочных операций, а также автоматизированного и роботизированного контроля качества. Ключевые продукты: ПО AR-поддержки сборочных операций и контроля качества (интерактивные 3D-инструкции, компьютерное зрение, ИИ и глубокое обучение для инспекции); решения для цифровой операционной деятельности и роботизированной инспекции. Отрасли: авиационная и ракетно-космическая отрасль, ОПК, промышленное оборудование, транспорт. Цель сделки: интеграция решений Diota на платформу DELMIA обеспечивает взаимодействие инженерного подразделения и производственной площадки [453].	2023	Не раскрывается
Siemens AG (Германия)	Altair Engineering Inc. (США) – цифровое моделирование (механика, электромагнетизм и др.), высокопроизводительные вычисления (HPC), анализ инженерных данных. Ключевые продукты: HyperWorks (CAE-система: анализ методом конечных элементов (МКЭ), вычислительная гидродинамика (CFD), электромагнитный анализ, задачи оптимизации и др.), OptiStruct (топологическая и структурная оптимизация), HyperMesh (препроцессор), SimLab (среда мультифизического моделирования), RapidMiner/SLC (анализ данных с ИИ), PBS Works (управление вычислительными ресурсами). Отрасли: автомобилестроение, авиационная и ракетно-космическая отрасль, ОПК, тяжелое машиностроение, судостроение, электронная промышленность. Цель сделки: создание наиболее полного портфеля решений на базе ИИ в рамках платформы Siemens Xcelerator; сделка объявлена в октябре 2024 г., закрыта в 2025 г. [32].	2024-2025	10,00

Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным открытых источников, 2026

Конкурентоспособность компаний-вендоров в современных условиях определяется не столько широтой функциональных возможностей их решений, сколько масштабом экосистемного подхода и глубиной интеграции компонентов технологического стека.

В частности, стратегия Intelligent System Design™ компании Cadence Design Systems (США) ориентирована на переход от проектирования компонентов к системному анализу, включая развитие направлений мультифизического моделирования. Данный подход подтверждается сделками по расширению технологического портфеля и усилению позиций компании на смежных рынках.

Стратегия Dassault Systèmes основана на развитии цифровых двойников, объединяющих расчетные и физические данные. Это позволяет осуществлять моделирование, анализ и оптимизацию производственных процессов в режиме, приближенном к реальному времени. Эффективность данного подхода определяется согласованностью цифровых моделей и рабочих процессов, а также уровнем междисциплинарной интеграции данных.

В свою очередь, стратегия Siemens базируется на кросс-отраслевом анализе и моделировании, что предполагает, в частности, сквозную интеграцию средств цифрового инжиниринга и систем операционного управления. Потенциал платформенного подхода компании заключается в формировании масштабной цифровой экосистемы, эффективность которой зависит от сохранения удобства использования при усложнении архитектуры [450].

В отличие от компаний, активно реализующих стратегию роста через слияния и поглощения, развитие COMSOL носит преимущественно органический характер и основано на расширении международного присутствия. По состоянию на конец 2025 года компания объединяет 16 офисов, включая штаб-квартиру в Стокгольме, и глобальную дистрибьюторскую сеть [223].

Также необходимо отметить, что по состоянию на конец 2025 года сохраняют актуальность такие рыночные тенденции, как регионализация производства, а также расширение экспортных ограничений и иных внешнеторговых барьеров, в том числе в отношении программного обеспечения и компонентов, что приводит к перестройке глобальных цепочек создания стоимости [9]. Более того, как было сказано выше, все более значимыми становятся вопросы обеспечения технологического суверенитета и национальной безопасности в контексте развития глобальных технологических рынков [403,405].

2.1.2. Российская специфика адаптации к мировым тенденциям

В Российской Федерации сохраняют актуальность ключевые технологические тенденции развития мировой отрасли БАС [9], а именно:

- Повышение автономности БВС за счет программно-аппаратных средств управления полетом и обработки данных, включая использование технологий ИИ.
- Оптимизация конструкции с использованием передовых композиционных материалов и модульного подхода.
- Увеличение продолжительности полета за счет улучшения работы батарей и двигателей.
- Реорганизация систем связи через стандартизацию протоколов и использование современных мобильных сетей.

- Развитие технологий производства БВС, включая аддитивные технологии и использование композиционных материалов [9].

Некоторые примеры реализации вышеуказанных тенденций, а также более подробное описание соответствующих технологических решений представлены в таблице 19.

Таблица 19. Ключевые технологические тенденции, решения и примеры их реализации на российском рынке

Тенденция	Решение	Примеры реализации (проекты / продукты / мероприятия, организации)
Повышение автономности БВС за счет программно-аппаратных средств управления полетом и обработки данных, включая использование технологий ИИ	Системы технического зрения и ИИ-алгоритмы для динамической среды	Самарский университет им. Королева представил программный комплекс «Навигатор» со стереозрением и ИИ для автономного обхода препятствий и выбора площадок для посадки [454]. На выставке HeliRussia-2025 МАИ представил серийный полетный контроллер, российскую альтернативу Pixhawk, со встроенным модулем ИИ для компьютерного зрения, классификации объектов и автономной прокладки маршрута [455]. МАИ разработал навигационный комплекс с элементами ИИ, использующий нейронные сети для определения местоположения БВС при потере спутникового сигнала в условиях плотной городской застройки [456]. Компания ZALA сообщила о внедрении на объектах ТЭК системы ИРРА с ИИ для автономного обнаружения и классификации объектов на видеотрансляции в реальном времени [457]. Компания «Сател» развивает систему «Смарт АВР» на базе нейросетей для автоматического выявления дефектов инфраструктуры [458].
	Навигационные системы на базе современных сенсоров	В Иннополисе прошли испытания компактного радарного комплекса «Вектор-Х» с синтезированной апертурой для всепогодного картографирования местности [459].

Тенденция	Решение	Примеры реализации (проекты / продукты / мероприятия, организации)
		ФГБНУ «Вим» запатентовало БВС для сбора фруктов, оснащенное 3D-стереокамерами и системой ГЛОНАСС [460].
	Инструменты для обработки данных на борту БВС	Группа компаний «Геоскан» продемонстрировала БВС «Пионер Мини 2» с 8-ядерным процессором и нейроускорителем для обработки данных нейросетей непосредственно на борту [291,461].
	Технологии группового взаимодействия БВС	Компания «Сверх» разработала образовательную платформу на базе квадрокоптера (250 г) для отработки алгоритмов роевого взаимодействия с использованием ROS, машинного зрения и обучения [462].
		Исследователи из Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева (КНИТУ-КАИ) создали алгоритм для взаимодействия БВС при поиске наземных объектов [463].
Оптимизация конструкции с использованием передовых композиционных материалов и модульного подхода	Модульный подход и гибридные конструкции	Объединенная авиастроительная корпорация (ОАК) представила на выставке HeliRussia 2025 полноценный летный образец транспортного БВС С-76 с модульной архитектурой и вертикальным взлетом, и посадкой [464]. Студенты МГТУ им. Баумана и РЭУ им. Плеханова провели испытания экспериментального БВС «Нева» с адаптивным крылом из двухматричных композиционных материалов на основе углепластика [365]. МАИ и ООО «БАС Глори Эйр» успешно испытали систему беспилотной доставки грузов с гибридной транспортировкой и ИИ для распределения заказов [465].
	Новые композиционные материалы	«Росатом Композитные технологии» запустил первое в России серийное производство термопластичных

Тенденция	Решение	Примеры реализации (проекты / продукты / мероприятия, организации)
		композитных материалов (препреги, тоупреги, филаменты для 3D-печати) для авиации и космоса [466]. Компании «Ампертекс» и «Карбонтекс» представили стелс-материал с интегрированной системой антиобледенения для БВС по технологии 3D-ткачества [467].
Увеличение продолжительности полета за счет улучшения работы батарей и двигателей	Развитие аккумуляторных технологий	На базе НПЦ БАС «Самара» открыт цех по выпуску первых российских литий-ионных аккумуляторов из собственных ячеек для БВС [468].
	Создание специализированных двигателей внутреннего сгорания (ДВС), гибридных установок и увеличение времени полета	Ученые передовой инженерной школы Московского авиационного института разработали универсальный электродвигатель для тяжелых БВС массой от 30 до 120 кг, который можно использовать как для коптеров, так и для планеров. В комплекте с двигателем создается блок управления и соответствующее ПО [469]. ООО «Тюльганский электромеханический завод» начал выпуск бензинового двигателя Т-40 (40 см³) для БАС [470]. Разработчики Кулибин-клуба «Народного фронта» представили БВС «Зефир-М», способный непрерывно находиться в воздухе до 24 часов (в режиме зависания) с полезной нагрузкой до 30 кг [471]. НИЯУ МИФИ начал разработку высотной атмосферной платформы (гибрид самолета и дирижабля) с автономностью до 1000 часов [472]. Томский научный центр СО РАН в рамках взаимодействия с НПЦ БАС Томской области разработал отечественный компактный роторно-поршневой двигатель внутреннего сгорания объемом 300 см³ мощностью 26 кВт (36 л.с.), который может применяться

Тенденция	Решение	Примеры реализации (проекты / продукты / мероприятия, организации)
		для беспилотных конструкций с полной массой до 300 кг. Успешная сборка и запуск двигателя состоялись в конце 2025 года [473].
Реорганизация систем связи через стандартизацию протоколов и использование современных мобильных сетей	Спутниковые системы связи	АО «Спутниковая система «Гонец» завершило разработку малогабаритного спутникового модема «Гонец» (менее 100 г) [474]. ГК «Геоскан» и АО «СС „Гонец"» протестировали решение «Купольная связь», превращающее БВС в базовую станцию с зоной покрытия ~40 км [475]. МАИ совместно с АО «Газпром космические системы» и АО «РЕШЕТНЕВ» впервые в России провели испытания системы управления БВС через геостационарный спутник «Ямал-601» на высоте 36 тыс. км, обеспечив стабильный канал связи на дальностях свыше 1000 км [476].
	Стандартизация протоколов, кибербезопасность	ТУСУР и компании «ИнфоТеКС» анонсирована разработка системы информационной безопасности для БАС на основе квантовой криптосистемы ViPNet QSS [477].
	Интеграция в системы управления воздушным движением	Росавиация тестировала систему удаленной идентификации БАС [478].
	Обнаружение и идентификация БВС в воздушном пространстве	Компания «Сервиснейро» с проектом «Воздушный дозор» получила грант Фонда НТИ. Система на базе ИИ анализирует радиоэфир и сигналы Wi-Fi, обнаруживая и классифицируя БВС в воздухе с точностью до 98% [479].
Развитие технологий производства БВС, включая аддитивные технологии и использование композиционных материалов	Аддитивное производство (3D-печать)	Компания «Азимут» (госкорпорация «Ростех») приступила к полигонным испытаниям универсального БВС с полностью напечатанным на 3D-принтере фюзеляжем [480].
		Российская компания «Керамет» (резидент Сколково) впервые в России

Тенденция	Решение	Примеры реализации (проекты / продукты / мероприятия, организации)
		внедрила в серийное производство технологию трехмерной печати металлическими порошками MBJ (Metal Binder Jetting), став первым предприятием в стране, освоившим данную технологию в массовом производстве. Компания освоила производство комплектующих для отрасли беспилотных авиационных систем, включая крыльчатки для малоразмерных турбореактивных двигателей [481].
	Локализация комплектующих	Согласно обновленной стратегии Минпромторга России от октября 2025 года, доля отечественных БАС к 2030 году должна достичь 70,3%, уровень технологической независимости – 81,1% [482].

Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным открытых источников, 2026

Примеры демонстрируют определенные успехи в импортозамещении и инновациях, прежде всего, по направлениям: автономность и ИИ, конструкционные материалы, энергетика и двигатели, связь и аддитивные технологии.

По состоянию на 2025 год можно говорить о переходе отрасли БАС в Российской Федерации от этапа преимущественно экспериментального производства к стадии индустриального развития, поддерживаемого реализацией национального проекта «Беспилотные авиационные системы». Одной из ключевых тенденций в данном направлении выступает формирование сети научно-производственных центров (НПЦ). В 2025 году Правительством Российской Федерации было выделено более 4 млрд руб. семи субъектам Российской Федерации на создание НПЦ БАС, которые становятся инфраструктурной основой для апробации и внедрения цифровых технологий, включая решения в области эксплуатации композитных конструкций [483].

Одновременно трансформируется парадигма государственной поддержки отрасли. В частности, Минпромторг России отмечает завершение этапа первоначального формирования отрасли и необходимость перехода к развитию так называемого «сервисного слоя» отрасли [484]. В результате акцент государственной политики постепенно смещается от проектирования и производства беспилотных систем к формированию условий для развития организаций, оказывающих услуги по эксплуатации, техническому обслуживанию и сопровождению беспилотных систем, а также подготовке кадров.

Структурная трансформация рынка инженерного ПО, включая решения для работы с композиционными материалами, к 2025 году характеризуется решением ключевых проблем, связанных с

замещением зарубежного программного обеспечения. Основной акцент сместился от внедрения отдельных инструментов автоматизации (в частности, САПР) к развитию комплексных PDM- и PLM-систем, обеспечивающих управление полным жизненным циклом изделия.

Примером указанных структурных изменений на рынке инженерного программного обеспечения является консолидация усилий ПАО «Газпром», ПАО «СИБУР Холдинг», ПАО «НК «Роснефть» и АО «МХК «ЕвроХим» совместно с разработчиком АО «СиСофт Девелопмент» по созданию координационного центра разработки «тяжелой» системы автоматизированного проектирования [485]. Заявленной целью консорциума является формирование единой платформы, способной конкурировать с ведущими мировыми решениями и обеспечивать технологический суверенитет.

Кроме того, в 2025 году российскими разработчиками в значительной степени закрыта критическая ниша специализированного программного обеспечения для проектирования слоистых композитных структур, ранее представленного преимущественно зарубежными решениями (в частности, Siemens NX Laminate Composites и Autodesk Fusion 360 Composites). В качестве одного из первых промышленных результатов внедрения данного класса отечественных решений можно привести разработку специалистами АО «ОДК-Авиадвигатель» (Пермь) деталей авиационного двигателя ПД-14 с использованием системы «КОМПАС-Композиты» [486], что обеспечило автоматизацию ряда сложных задач технологической подготовки производства.

Ключевыми тенденциями развития отрасли являются:

- переход к цифровому управлению полным жизненным циклом изделия, предполагающий интеграцию цифровых двойников, предиктивной аналитики и автоматизированных систем мониторинга в процессы эксплуатации БВС;
- стандартизация цифровых технологий. С 1 января 2022 года введен в действие ГОСТ Р 57700.37-2021, регламентирующий создание и применение цифровых двойников, что обеспечивает унификацию подходов к разработке цифровых моделей и проведению цифровых испытаний;
- внедрение систем удаленной идентификации и контроля. С 1 марта 2025 года установлено требование обязательного оснащения БВС массой от 250 г до 30 кг модулями удаленной идентификации [487], что формирует новый сегмент решений в области защиты каналов связи и управления от несанкционированного доступа и подмены сигналов, включая применение БВС для задач защиты гражданской и промышленной критической инфраструктуры.

Реализация указанных тенденций в 2025 году продолжает развитие ранее сформировавшихся направлений, включая:

- цифровые двойники;
- аддитивные технологии и гибридные конструкции;
- автоматизированный мониторинг технического состояния (Structural Health Monitoring);
- дополнение традиционного неразрушающего контроля встроенными сенсорными системами;
- ПО для эксплуатации, технического обслуживания и ремонта (ТОиР).

В качестве примеров практической реализации данных подходов можно отметить разработку

Московского авиационного института (Центр композиционных конструкций) цифровой системы прогнозирования остаточного ресурса композитных конструкций. Проект включает создание цифрового двойника и внедрение системы интеллектуального мониторинга с элементами прогнозирования развития повреждений, включая зарождение микротрещин, их слияние и распространение в структуре композита [373]. Также в рамках Международной конференции ICIEAM 2025 представлены результаты разработки цифровых двойников телеметрических сенсоров БВС, направленных на выявление и диагностику неисправностей телеметрических систем [488].

В 2025–2026 годах наблюдается усиление перехода от инструментов параметрического проектирования к системам генеративного проектирования, использующим методы искусственного интеллекта для оптимизации конструкций и подбора материалов. Данное направление приобретает особую значимость для композиционных материалов вследствие их структурной сложности и анизотропии. В частности, платформа МГТУ им. Н. Э. Баумана и ВНИИЭФ на базе Центра НТИ «Цифровое материаловедение» разрабатывает систему проектирования изделий из полимерных композиционных материалов с применением методов искусственного интеллекта, учитывающую более 40 параметров материала, включая анизотропные свойства [489]. По оценкам экспертов, внедрение данной платформы позволит сократить сроки проектирования компонентов БВС на 30–40 %, а затраты на испытания — на 20 % [490].

В целом российский рынок БВС демонстрирует переход к стадии технологической зрелости, характеризующейся сочетанием развития цифровых технологий (искусственный интеллект, цифровые двойники, новые материалы) и расширением гражданского сервисного сегмента, а также углубленной интеграцией цифровых решений в процессы проектирования и эксплуатации.

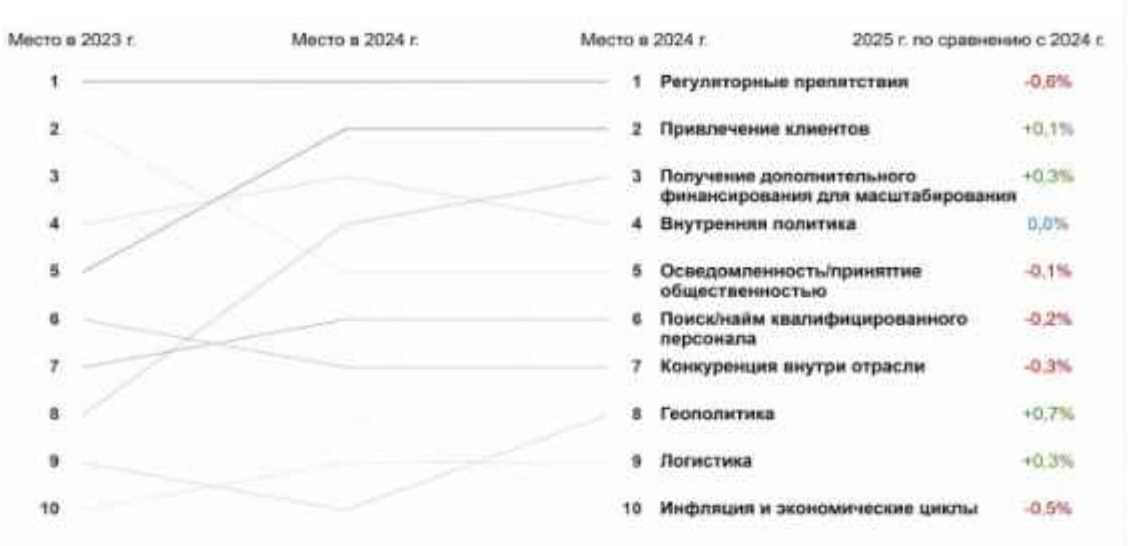
2.2. Наиболее значимые барьеры, препятствующие развитию отрасли, и ключевые возможности для роста отрасли по состоянию на конец 2025 года

2.2.1. Ключевые барьеры и возможности развития отрасли в мире

Мировой рынок гражданских БВС достиг стадии зрелости и переходит к этапу структурной трансформации. Несмотря на сохраняющуюся положительную динамику роста, рынок сталкивается с совокупностью неблагоприятных факторов, включая регуляторную неопределенность, резкое сокращение объемов венчурного финансирования (–73 % в 2021–2024 гг.), нарушения цепочек поставок, обусловленные геополитическими факторами, а также усиление процессов рыночной консолидации.

Ключевые барьеры развития ранка, сохраняющие актуальность на мировом уровне, представлены в ежегодных отчетах Droneii [140,141], подготовленных по результатам опросов представителей мировой отрасли БАС (рисунок 75).

Рисунок 75. Оценка ключевых барьеров мирового рынка БВС в 2023–2025 гг.



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным Droneii [140,141], 2026

Барьер 1. Регуляторные препятствия

Согласно результатам ежегодного опроса участников отрасли БАС, проведенного компанией Droneii в 2025 году, регуляторные ограничения продолжают рассматриваться в качестве ключевого барьера развития мирового рынка, сохраняя первое место по значимости, как и в исследованиях 2023–2024 годов. Более 60 % респондентов отметили определяющее влияние органов государственного регулирования на развитие рынка БВС.

К числу основных проблемных аспектов участники рынка относят сложность процедур сертификации летной годности (airworthiness), ограничения на выполнение полетов вне прямой видимости оператора (Beyond Visual Line of Sight, BVLOS) без получения индивидуальных разрешений, а также существенную фрагментированность национальных нормативно-правовых режимов и отсутствие их международной гармонизации [140]. Компании, оказывающие услуги с применением БВС, нередко сталкиваются с продолжительными сроками получения разрешительной документации, которые в отдельных случаях достигают нескольких месяцев. Данное обстоятельство существенно ограничивает возможности масштабирования деятельности и в ряде случаев приводит к сокращению операций или уходу отдельных компаний с рынка [491].

В 2025 году в США были предприняты меры, направленные на снижение административно-регуляторной нагрузки на компании, использующие БВС, одновременно с усилением требований к безопасности цепочек поставок. Подписанный 6 июня 2025 года Указ президента США «**Unleashing American Drone Dominance**» («Раскрытие лидерства США в сфере беспилотных авиационных систем») предусматривает ускорение процедур допуска БПЛА к эксплуатации, упрощение регулирования полетов, а также меры, ориентированные на укрепление национальной безопасности.

Центральное место в документе занимает устранение институциональных ограничений, сдерживающих развитие коммерческого сегмента рынка БПЛА, прежде всего — длительности и сложности разрешительных процедур, регулируемых Федеральным управлением гражданской авиации США (FAA). В частности:

- Министерству транспорта США и Федеральному управлению гражданской авиации (FAA) поручено разработать обновленный нормативный режим выполнения полетов вне прямой видимости оператора (BVLOS), определить существующие барьеры, сформировать критерии оценки безопасности и обеспечить подготовку окончательной редакции соответствующих правил.
- Для сокращения сроков рассмотрения заявок предусмотрено внедрение инструментов на основе ИИ при обработке запросов на получение индивидуальных разрешений для операторов БВС.
- FAA также поручено актуализировать дорожную карту интеграции БВС в национальную систему использования воздушного пространства.

В отличие от США, в Европейском Союзе регулирование развития БВС ориентировано преимущественно на обеспечение высокого уровня безопасности и гармонизацию национальных правовых режимов. Европейская модель предполагает координацию деятельности национальных авиационных органов при унификации базовых правил функционирования рынка на общеевропейском уровне. Существенное внимание при этом уделяется вопросам защиты персональных данных и соблюдению процедур оценки безопасности, что нередко сопровождается продолжительными сроками согласования.

В 2025 году был выдан первый общеевропейский сертификат поставщика услуг U-space (U-space Service Provider, USSP) компании ANRA Technologies для работы в специально выделенных зонах эксплуатации БВС [492]. Вместе с тем европейский подход в меньшей степени ориентирован на ускоренное снижение зависимости производителей БВС от иностранных комплектующих по сравнению с США, при одновременном усилении внимания к развитию беспилотных систем специального назначения.

Барьер 2. Привлечение клиентов

Рост значимости барьера, связанного с привлечением клиентов, свидетельствует как о переходе мирового рынка БВС к более зрелой стадии развития, так и о влиянии макроэкономических ограничений в отраслях — потребителях услуг с применением беспилотных воздушных судов. Согласно результатам опроса Global State of Drones, в 2025 году данный барьер переместился со второй половины рейтинга проблем отрасли (5-е место в 2023 году) на 2-е место, что отражает возрастающую сложность коммерциализации решений в сфере БВС [145,146].

Характерно, что в структуре расходов участников рынка наибольшую долю занимают затраты на маркетинг и продажи (29 %), превышающие расходы на разработку программного обеспечения (19 %), закупку БВС и сопутствующего оборудования (16 %), а также оплату труда персонала (15 %). Данное обстоятельство указывает на смещение конкурентной динамики от технологического развития к вопросам масштабирования спроса, формирования клиентской базы и подтверждения экономической эффективности применения БВС.

Сложности привлечения клиентов в преобладающем B2B-сегменте обусловлены совокупностью факторов, включая:

- длительный цикл принятия решений в корпоративном секторе, предполагающий согласование со стороны нескольких функциональных подразделений (производственных, закупочных, юридических, подразделений информационной и промышленной безопасности и др.);
- сохраняющийся высокий уровень технологического консерватизма корпоративных заказчиков, при котором управленческие решения зачастую ориентированы на апробированные технологические решения, а беспилотные технологии воспринимаются как инструменты с неопределенным уровнем риска и отдачи;
- наличие устойчивой конкуренции со стороны альтернативных методов выполнения аналогичных задач, уже встроенных в существующие бизнес-процессы;
- необходимость подтверждения экономической целесообразности внедрения БВС посредством пилотных проектов, накопления эмпирических данных и сопоставления результатов с традиционными подходами, что создает дополнительные барьеры для новых участников рынка, не располагающих сформированной клиентской базой и подтвержденными кейсами внедрения [493].

В сложившихся условиях ключевыми механизмами преодоления обозначенных ограничений становятся специализация компаний на отдельных прикладных сегментах (в частности, в нефтегазовой отрасли, сельском хозяйстве, геодезии, мониторинге инфраструктуры), демонстрация практической результативности БВС при решении прикладных задач, а также распространение сервисных моделей Drone-as-a-Service (DaaS). Использование модели DaaS позволяет снизить входные барьеры для заказчиков за счет отказа от необходимости приобретения дорогостоящего оборудования и формирования собственных компетенций по эксплуатации БВС.

По оценкам отраслевых экспертов, по мере расширения практики выполнения полетов вне прямой видимости оператора (BVLOS) и постепенного смягчения соответствующих регуляторных ограничений ожидается дальнейшее расширение рынка сервисных моделей применения БВС, включая привлечение новых категорий заказчиков из различных отраслей экономики.

Барьер 3. Получение дополнительного финансирования

Проблема привлечения дополнительного финансирования на мировом рынке БВС существенно обострилась к 2025 году. По данным отраслевой аналитики, объем инвестиций в гражданский сегмент мирового рынка БВС сократился с 3,67 млрд долл. в 2021 году до 820 млн долл. в 2024 году, что свидетельствует о переходе рынка к фазе повышенной инвестиционной избирательности.

Согласно оценкам Droneii, снижение инвестиционной активности обусловлено совокупностью макроэкономических и институциональных факторов, включая:

- сохранение в 2022–2024 годах относительно высоких процентных ставок в развитых экономиках, что привело к удорожанию капитала и снижению привлекательности высокорисковых венчурных вложений;
- недостаточную скорость изменений в нормативно-правовом регулировании, ограничивающую перспективы масштабирования коммерческого применения БВС, прежде всего в части выполнения полетов вне прямой видимости оператора (BVLOS), что снижает предсказуемость инвестиционных сценариев;

- сокращение объемов поздних раундов венчурного финансирования на фоне неоднозначных результатов выхода компаний сектора БАС на публичный рынок (IPO), что усилило осторожность инвесторов в отношении долгосрочных вложений.

В условиях сокращения либо стагнации венчурного финансирования, за исключением сегмента технологий искусственного интеллекта, аккумулирующего значительную часть прироста глобальных инвестиций, часть участников рынка БВС скорректировала стратегии развития, расширив ориентацию на решения двойного назначения, а также на государственные механизмы финансирования и закупок.

Одновременно усиливается процесс отбора устойчивых бизнес-моделей. Участники мирового рынка БВС находятся в поиске технологических и организационных решений, обеспечивающих достижение долгосрочной экономической устойчивости и возможность масштабирования деятельности. Наиболее уязвимыми в текущих условиях оказываются компании, ориентированные на капиталоемкие и технологически сложные проекты, коммерческая реализуемость которых не была подтверждена в рыночной практике.

Показательными примерами в данном контексте являются случаи финансовой несостоятельности ряда высокотехнологичных компаний. Так, в 2024 году заявление о банкротстве подала компания-разработчик воздушного такси Volocopter [494]. В 2024–2025 годах процедуру банкротства также прошла немецкая компания Lilium, развивавшая технологии электрических воздушных судов вертикального взлета и посадки (eVTOL) [495].

В целом наблюдаемая динамика свидетельствует о переходе мирового рынка БВС от фазы инвестиционно стимулируемого роста к этапу структурной консолидации, в рамках которого преимущество получают технологические решения, обладающие подтвержденной экономической эффективностью, возможностями масштабирования и устойчивыми механизмами коммерциализации.

Барьер 4. Проблемы корпоративного управления

Большинство (55%) компаний, представленных на зарубежных сегментах рынка БВС, относятся к малым и сверхмалым предприятиям с численностью персонала менее 10 человек. Для таких организаций, формирующихся вокруг индивидуальных технологических компетенций учредителей компаний, характерны повышенные риски, связанные с управленческими ошибками на этапе масштабирования и трансформации бизнес-моделей.

Существенной проблемой для малых технологических компаний, независимо от отрасли, является переход от модели управления, основанной на роли технологического учредителя, к системе профессионального операционного менеджмента и корпоративного управления. В этих условиях качество управленческих решений приобретает не менее важное значение, чем технологическая новизна продукта, поскольку именно оно во многом определяет инвестиционную устойчивость и долгосрочную жизнеспособность компании.

На фоне усложнения условий венчурного финансирования и ухудшения экономического положения ключевых отраслей-потребителей услуг компаний рынка БВС в 2023–2025 годах усилилась тенденция пересмотра бизнес-моделей, включая корректировку стратегий масштабирования и рыночного позиционирования [496].

Отдельного внимания заслуживает феномен преждевременного выхода технологических компаний на публичный рынок. В ряде случаев компании, обладающие перспективными технологическими решениями, но не сформировавшие устойчивую бизнес-модель, после первичного публичного размещения акций сталкиваются с существенными операционными и финансовыми ограничениями. Показательным примером является компания Lilium, разработчик электрических воздушных судов вертикального взлета и посадки (eVTOL). После выхода на биржу NASDAQ в 2021 году в результате слияния с Quell компания привлекла более 1 млрд долл., однако впоследствии не смогла обеспечить устойчивую модель масштабирования, выполнение финансовых планов и заявленные темпы технологической реализации. Это привело к процедурам несостоятельности и последующей продаже патентного портфеля (300 патентов за 18 млн евро) [497].

Дополнительным фактором трансформации выступает переориентация ряда компаний рынка БВС, развивающих решения двойного назначения, на требования, характерные для смежных высокорегулируемых сегментов. Это включает адаптацию к режимам экспортного контроля, требованиям кибербезопасности и стандартам защиты цепочек поставок.

В рамках адаптационных стратегий отдельные компании усиливают институциональную устойчивость корпоративного управления, включая расширение состава советов директоров за счет представителей крупных корпораций авиационной и ракетно-космической отрасли и ОПК (Airbus, Lockheed Martin, L3Harris Technologies), что направлено на повышение качества управленческих решений и соответствие требованиям целевых рынков.

Барьер 5. Осведомленность и принятие со стороны общественности

В период 2023–2025 годов значимость данного барьера в опросах Droneii снизилась с 2-го до 5-го места, что отражает относительное смещение фокуса отрасли в сторону преимущественно экономических ограничений по сравнению с факторами общественного восприятия рынка БВС.

Результаты европейских социологических исследований свидетельствуют о в целом позитивном отношении населения к применению БВС, при этом наибольший уровень поддержки фиксируется в отношении задач поисково-спасательных операций и картографирования. Вместе с тем значительно более сдержанное восприятие характерно для сценариев коммерческой доставки и использования воздушных систем типа аэротакси [498].

Ключевые общественные опасения сохраняются на протяжении последних лет и связаны преимущественно с вопросами нарушения конфиденциальности при полетах над жилыми территориями, а также с уровнем шумового воздействия в условиях плотной городской застройки.

Ожидаемое улучшение общественного восприятия рынка БВС в значительной степени связывается с внедрением механизмов удаленной идентификации (Remote ID) в Европейском союзе и Великобритании [499]. Одновременно расширение практики использования БВС в повседневных и коммерческих сценариях, включая сервисы доставки (например, Amazon Prime Air), может способствовать постепенной нормализации отношения общественности к данной технологии. Вместе с тем данный процесс будет сопровождаться отдельными инцидентами эксплуатационного характера, способными оказывать ситуативное негативное влияние на восприятие рынка БВС.

Барьер 6. Поиск и найм квалифицированного персонала

В части обеспечения кадровыми ресурсами в зарубежном сегменте рынка БВС наблюдается структурная разбалансированность. В США фиксируется достаточный объем операторского персонала: сертификат Part 107 имеют свыше 380 тыс. специалистов. Вместе с тем сохраняется дефицит инженерных кадров и управленческих компетенций, необходимых для масштабирования производственных процессов и работы в сложной нормативной среде на федеральном уровне и уровне штатов [500].

Наиболее дефицитными категориями специалистов для рынка БВС являются инженеры, обладающие компетенциями в области разработки автономных систем с применением ИИ, специалисты по системной интеграции данных, получаемых с бортовых сенсоров, а также специалисты в области анализа данных и прикладной аналитики [501]. Одновременно наблюдается устойчивый рост затрат на оплату труда инженерных кадров, обусловленный конкуренцией за специалистов между ИТ-компаниями, развивающими решения в области ИИ, предприятиями ОПК и компаниями рынка БВС [500].

В качестве основных механизмов снижения кадрового дефицита компании используют развитие совместных программ с университетами, а также создание собственных образовательных программ и специализированных курсов подготовки и переподготовки персонала.

Барьер 7. Конкуренция внутри отрасли

При анализе мирового рынка БВС отраслевые эксперты [194] отмечают усиление тенденции к консолидации. После периода быстрого роста и завышенных ожиданий рынок БВС переходит в фазу структурной перестройки. Консолидация реализуется по двум основным направлениям: через процессы слияний и поглощений, включая формы вертикальной интеграции, а также через естественный рыночный отбор, выражающийся в выходе компаний из рынка вследствие сворачивания нерентабельных направлений либо банкротств.

Дополнительным фактором является высокая степень концентрации рынка в отдельных сегментах. На рынках развитых стран (США, государства Европейского союза, Великобритания, Канада, Австралия, Япония, Республика Корея) конкурентная среда осложняется доминирующим положением китайской компании DJI, контролирующей порядка 70–85% рынка в зависимости от сегмента. Следующий по величине игрок — Autel Robotics — занимает около 1,4% рынка, тогда как доля крупнейшего американского производителя потребительских БВС Skydio остается незначительной в общем объеме рынка [502]. В этих условиях в США сформирован перечень Blue UAS, включающий проверенных поставщиков БВС преимущественно национального происхождения, допущенных к выполнению государственных заказов [503].

Отдельным фактором выступает высокая степень технологической стандартизации базовых услуг с использованием БВС. По мере удешевления аэрофотосъемки и расширения доступности технологий происходит стандартизация базовых услуг, что усиливает ценовую конкуренцию. В этих условиях часть компаний переходит к специализации на узких технологических нишах, включая применение лидарных систем (LiDAR) для высокоточного картографирования и промышленной съемки [504].

По прогнозам отраслевых экспертов [496], с 2025 года рынок БВС характеризуется следующими структурными изменениями:

- сокращение числа участников при одновременном укреплении позиций оставшихся компаний;
- повышение устойчивости и финансовой стабильности действующих игроков;
- снижение темпов появления новых технологических решений;
- рост значимости государственных контрактов и заказов специальных ведомств;
- усиление требований к допуску на рынок, что ограничивает появление новых компаний и усиливает барьеры входа.

Барьер 8. Геополитические риски

Геополитическая напряжённость формирует один из ключевых системных барьеров для развития рынка БВС в странах с развитой экономикой. По состоянию на 2026 год отраслевые эксперты отмечают формирование фактической сегментации мирового рынка БВС на «доверенный» сегмент, включающий производителей США и ряда государств Европейского союза, допущенных к государственным закупкам в рамках программ обеспечения безопасности цепочек поставок (в частности, инициатив Department of Defense и перечней Blue UAS / NDAA-compliant systems), и сегмент поставщиков, не включённых в перечни доверенных производителей и ограниченных в доступе к государственным закупкам в соответствии с американской политикой контроля цепочек поставок (Section 848 NDAA, FCC Covered List).

Существенное влияние на рынок оказали законодательные ограничения в отношении китайских БВС, введённые в США, а также ответные меры со стороны Китайской Народной Республики, включая ограничения на поставки редкоземельных металлов для отдельных американских производителей, связанных с ОПК. Дополнительное воздействие на рыночную среду оказывают тарифные меры: к концу 2025 года уровень импортных пошлин на китайские потребительские БВС достиг 170%. В ответ на указанные изменения США, государства Европейского союза и Япония реализуют инициативы по формированию альтернативных цепочек поставок в сфере БВС без участия китайских производителей, однако данные процессы находятся на начальной стадии.

Профильные исследования указывают, что, несмотря на предпринимаемые меры, производственная база БВС в странах Запада сохраняет существенную зависимость от китайских поставщиков. В ряде ключевых компонентов (в частности, электродвигателей, инфракрасных сенсоров и аккумуляторных систем) альтернативное производство за пределами Китая либо ограничено, либо отсутствует. В условиях обострения внешнеполитической конъюнктуры возможны быстрые нарушения устойчивости поставок, а также усиление уязвимости производственных цепочек. Дополнительно отмечается асимметрия в тарифном противостоянии, при которой Китай обладает более длительным потенциалом поддержания ответных мер [505].

По оценкам отраслевых экспертов, политика ограничений и тарифного давления в отношении китайских производителей оказывает ограниченное влияние на развитие национальных производственных мощностей БВС в западных странах, учитывая сохраняющееся ценовое и технологическое преимущество китайских компаний [502].

Барьер 9. Логистические барьеры и проблемы цепочек поставок

Ключевые логистические барьеры в сфере БВС в значительной степени обусловлены структурой глобальных цепочек поставок и тесно связаны с геополитическими ограничениями (см. предыдущий барьер).

Практически каждый современный БВС на западных рынках содержит компоненты китайского происхождения либо изготавливается с использованием материалов, производимых в Китае, включая углеродное волокно и редкоземельные магниты. Электронные компоненты для БВС в США подпадают под импортные пошлины на уровне свыше 25% [506]. Существенное влияние на себестоимость продукции также оказывает волатильность цен на литий, непосредственно определяющая стоимость аккумуляторных систем.

В настоящее время производители БВС в США и государствах Европейского союза предпринимают усилия по диверсификации цепочек поставок компонентов, включая перенос части производственных операций в третьи страны. При этом сохраняется практика декларативного изменения страны происхождения отдельных компонентов в рамках оптимизации логистических и регуляторных ограничений. Ожидается, что воздействие международной политики на цепочки поставок сохранится, что будет стимулировать дальнейшую трансформацию структуры производственной кооперации и ориентацию на альтернативные источники компонентной базы.

Барьер 10. Инфляция и экономические циклы

Инфляция 2022–2024 годов оказала существенное влияние на развитие рынка БВС. Наблюдался рост стоимости ключевых компонентов, увеличение затрат на оплату труда персонала, снижение интереса инвесторов к высокорисковым инвестициям, а также усиление ценовой чувствительности со стороны отраслей — потребителей услуг БВС.

Наиболее устойчивыми к инфляционному воздействию оказались производители БВС двойного и специального назначения, поскольку включение в систему государственного финансирования частично стабилизирует спрос. Вместе с тем это не устраняет влияние инфляционных факторов на стоимость компонентной базы [507].

Производители БВС и компании, предоставляющие услуги с использованием БВС, адаптируются к изменившимся условиям за счёт усиления внимания к стоимостным параметрам на этапе проектирования (cost engineering), развития модульного подхода [508] , а также диверсификации рынков сбыта. Дополнительно развивается практика заключения долгосрочных контрактов с потребителями, включая модели подписки на услуги с использованием БВС (subscription-based DaaS) [509].

По результатам проведённого Инфраструктурным центром «Технет» опроса российских представителей рынка, структура выявленных барьеров развития отрасли БАС в мировом масштабе в целом согласуется с ранее изложенными оценками и подтверждает их системный характер. К числу ключевых ограничений относятся регуляторные, инфраструктурные и технологические барьеры. Регуляторные барьеры включают нормативные ограничения, отсутствие унифицированных правил и сложность процедур получения разрешений. Инфраструктурные барьеры связаны с недостаточным развитием специализированной инфраструктуры и систем управления. Технологические барьеры обусловлены ограничениями по времени полёта, грузоподъёмности и другим

эксплуатационным характеристикам. Дополнительно респондентами отмечаются экономические ограничения (высокая стоимость и низкая рентабельность), социальные и этические факторы (вопросы безопасности и дефицит квалифицированных кадров), а также барьеры в области кибербезопасности и интеграционные ограничения, связанные со сложностью внедрения БАС в существующие производственные и управленческие системы. В рамках данного вопроса допускался множественный выбор ответов. Структура ответов представлена на рисунке 76.

Рисунок 76. Структура ответов об основных барьерах развития отрасли БАС в мире, %



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по результатам опроса, 2026

В совокупности полученные результаты подтверждают ранее обозначенную структуру ограничений развития отрасли и указывают на их взаимосвязанный и комплексный характер.

Ключевые возможности для роста отрасли

Несмотря на преобладание негативных тенденций и усиление структурных ограничений в 2025–2026 годах, в отрасли БВС сохраняется совокупность возможностей, обусловленных трансформацией технологической и институциональной среды.

Возможности для крупных компаний и интегрированных структур

Компании, обладающие значительными производственными мощностями, доступом к финансовым ресурсам либо включённые в кооперационные контуры крупных холдингов авиационной и ракетно-космической отрасли и ОПК, получают возможность использования программ локализации

производства БВС и компонентной базы, реализуемых в рамках государственных и квазигосударственных инициатив в ряде стран.

Ключевыми условиями реализации данной стратегии являются наличие устойчивых отношений с государственными заказчиками и финансовыми институтами, а также способность формирования и управления многоуровневыми цепочками поставок с учетом требований технологической безопасности и контроля происхождения компонентов.

Переход к производству БВС двойного назначения преимущественно реализуется крупными компаниями либо структурами, интегрированными в корпоративные экосистемы ОПК и обладающими доступом к внутренним механизмам отбора технологических решений [510].

Отдельным направлением выступают процессы консолидации отрасли посредством приобретения малых технологических компаний, что обеспечивает формирование вертикально интегрированных структур с расширенным технологическим и производственным контуром. Данная стратегия также соотносится с задачами снижения зависимости от внешней компонентной базы, реализация которых ограничена для малых компаний вследствие ресурсных ограничений.

Возможности для малых компаний

Малые компании, не обладающие доступом к устойчивому долговому финансированию либо включенностью в государственные программы поддержки, ориентируются на специализированные модели позиционирования.

Переход к сервисной модели. Компании, обладающие компетенциями в области эксплуатации парка БВС, обеспечения эксплуатационной готовности, технического обслуживания и обработки данных, могут осуществлять трансформацию бизнес-модели от производственной к сервисной [511]. Реализация данной модели требует высокой зрелости операционного управления, понимания структуры затрат и специфики отраслевого спроса, однако может обеспечивать устойчивость бизнеса в условиях ценовой конкуренции.

Развитием указанного направления является углубленная отраслево-ориентированная специализация, предполагающая концентрацию на отдельных сегментах применения БВС (сельское хозяйство, строительство, энергетическая и нефтегазовая инфраструктура, геодезия и др.). Конкурентные преимущества в данном случае формируются за счет накопления отраслевой экспертизы и адаптации аппаратных и программных решений к требованиям определенных прикладных задач [512]. Реализация данной стратегии требует оценки емкости целевого сегмента и его экономической рентабельности.

Переход к разработке программного обеспечения. В условиях усиления конкуренции часть компаний с компетенциями в области информационных технологий осуществляет переориентацию с выполнения полевых операций на разработку решений для обработки и анализа данных, получаемых с использованием БВС [513]. Ключевыми факторами реализации данной стратегии являются масштабируемость программных продуктов, соответствие нормативным требованиям и интеграция в корпоративные процессы заказчиков.

Развитие образовательных сервисов. Компании, обладающие значительным отраслевым опытом и репутационным капиталом, формируют образовательные продукты, ориентированные на

подготовку кадров для отрасли БВС [514]. Данные инициативы одновременно выполняют функции формирования кадрового резерва и продвижения технологических решений.

Общий характер вызовов в отрасли

В 2025–2026 годах мировая отрасль БАС характеризуется сочетанием структурных ограничений и точечных зон роста. Замедление динамики гражданского сегмента связано со снижением объемов венчурного финансирования и усилением нормативно-административных требований. Часть проектов, ориентированных на радикальные технологические изменения, не обеспечила достижение устойчивых экономических моделей, что привело к выходу ряда компаний с рынка и усилению процессов консолидации.

Дополнительное влияние оказывают ограничения на трансграничные поставки компонентов БВС, направленные на формирование автономных производственных контуров в отдельных странах и союзах. На текущем этапе данные меры приводят преимущественно к перераспределению цепочек поставок и частичной локализации критических компонентов.

В этих условиях конкурентные преимущества формируются у компаний, обладающих способностью к устойчивой операционной модели и интеграции в долгосрочные программы развития отрасли БАС, включая государственные и инфраструктурные инициативы.

2.2.2. Ключевые барьеры и возможности развития отрасли в России

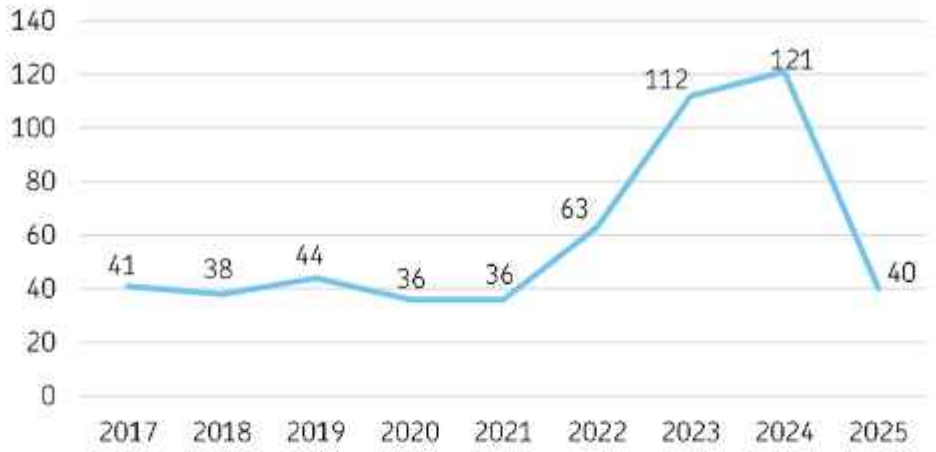
В структуре открытых данных и нормативно-аналитических источников развитие БАС в Российской Федерации характеризуется рядом системных ограничений, обусловленных состоянием экономической, технологической, производственной, регуляторной и инфраструктурной среды.

Барьеры экономического характера

По итогам 2025 года наблюдается значительное сокращение производства гражданских БВС и предоставления услуг на их основе [515]. Участники рынка связывают рост массового спроса на БВС в 2023–2024 годах с запуском национального проекта [516]. После периода активного развития, обусловленного государственной поддержкой, рынок столкнулся с сокращением объемов производства, усилением конкуренции и проблемами эксплуатации гражданских БВС. На динамику рынка также влияют колебания курса рубля, критически важные для закупки компонентов, материалов и готовых БПЛА, используемых российскими компаниями.

Анализ данных государственной регистрации компаний, работающих в сфере БВС/БАС, отражает предпринимательскую активность и готовность бизнеса входить на рынок. Распределение компаний по возрасту и динамика регистрации новых участников приведены на рисунке 77. Спад регистрации новых компаний в 2025 году эксперты ассоциации «Аэронекст» рассматривают как сигнал для государственных органов о необходимости совершенствования мер поддержки и выстраивания более эффективной системы регулирования отрасли [241].

Рисунок 77. Регистрация предприятий в сфере БВС/БАС/БПЛА



Источник: Ассоциация «Аэронекст», 2026

Дополнительно результаты опроса Инфраструктурного центра «Технет» фиксируют ряд экономических ограничений развития отрасли БАС, включая недостаточный объем финансирования исследований и разработок, ограниченный платежеспособный спрос на продукцию БАС, низкую рентабельность проектов, а также высокую стоимость изделий и услуг. Отдельно отмечается ценовой разрыв между отечественными и зарубежными решениями, а также ограниченная доля продукции отечественного производства на внутреннем рынке БАС.

Барьеры организационного и регуляторного характера

Ключевым барьером для развития отрасли БАС и коммерческой эксплуатации гражданских БВС в Российской Федерации являются ограничения на выполнение полётов, введённые осенью 2022 года и сохраняющие действие в 2025 году на значительной части территории страны. Приоритетность задач обеспечения безопасности населения и ключевых объектов инфраструктуры обусловливает сохранение данного режима в среднесрочной перспективе, что формирует устойчивое ограничение для экономической активности в отрасли. В текущих условиях повышенного уровня рисков применение БВС вблизи объектов промышленной и критической инфраструктуры требует развития специализированных систем учёта, контроля и управления воздушным движением БВС.

Воздействие данного барьера носит выраженный характер: по данным Ассоциации «АЭРОНЕКСТ», в первом полугодии 2025 года предприятия отрасли зафиксировали снижение выручки по поставкам готовой продукции на 10%, по услугам — на 20% относительно уровня 2024 года [517]. Наиболее значительное сокращение наблюдается в сегментах мониторинга и аэрофотосъёмки, что связано с расширением применения средств радиоэлектронной борьбы, а также ограниченной доступностью информации о зонах их использования, что осложняет планирование полётов. Дополнительно фиксируется разрыв долгосрочных контрактов со стороны заказчиков на фоне неопределённости операционных условий в ряде регионов.

Оценка результатов экспериментально-правовых режимов эксплуатации БПЛА, реализованных в отдельных субъектах Российской Федерации (включая Москву, Ненецкий автономный округ, Республики Башкортостан и Татарстан, а также Томскую область), указывает на ограниченный эффект их применения и отсутствие выраженного системного влияния на развитие рынка [518]. Помимо

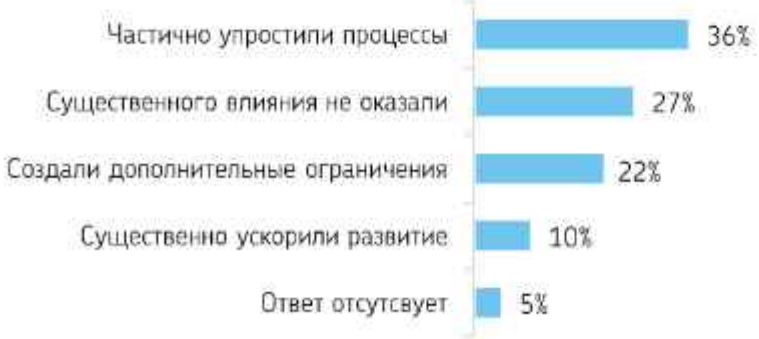
блокирующего воздействия средств РЭБ и других мер обеспечения безопасности на использование БВС существенным ограничивающим фактором выступает нормативная инерционность сертификационных процедур, при которой БАС длительное время рассматривались в рамках режимов, аналогичных пилотируемой авиации, с применением наиболее жёстких требований безопасности [518]. Несмотря на введение обновлённых правил сертификации для БПЛА массой до 30 кг, уровень их практического распространения остаётся ограниченным: по данным Ассоциации «Аэронекст», в 2025 году было выдано 138 сертификатов при существенно большем числе действующих операторов БВС.

Дополнительным ограничением выступает распространение неформализованной практики оказания услуг с использованием БВС. По отдельным оценкам, доля полётов БВС в интересах агропромышленного комплекса, осуществляемых без соответствующих разрешений, достигает 60–70% [519]. Данный процесс во многом обусловлен действующими требованиями, связанными с режимом охраны государственной тайны, в рамках которых обработка и публикация материалов аэрофотосъёмки требует согласования с уполномоченными органами, при этом сроки получения соответствующих разрешений могут составлять порядка одного месяца [520].

Отдельным структурным ограничением является дефицит финансирования эксплуатационного сегмента БАС при одновременной концентрации ресурсов на закупке техники. В 2024–2025 годах в рамках системы гражданского государственного заказа основная часть бюджетных средств направлялась на приобретение БВС, тогда как финансирование полётной эксплуатации, подготовки кадров и сертификационных процедур носило ограниченный характер. В результате сформировался значительный парк оборудования, приобретённого за счёт государственной поддержки, при недостаточном уровне его практического использования, обусловленном сочетанием регуляторных ограничений и ограничений операционного финансирования [521].

Результаты опроса Инфраструктурного центра «Технет» в целом подтверждают изложенные регуляторные ограничения, при этом уточняют их восприятие со стороны участников рынка. Респонденты отмечают частичное упрощение отдельных процедур в результате регуляторных изменений 2025–2026 гг. (рисунок 78), однако указывают на сохранение системной фрагментарности нормативно-правовой базы и институционального разрыва между темпами развития технологий и регулирования.

Рисунок 78. Структура ответов о влиянии регуляторных изменений 2025–2026 гг. на отрасль БАС, %



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по результатам опроса, 2026

При этом в качестве приоритетных ограничений фиксируются вопросы использования воздушного пространства для малых классов БАС, отсутствие унифицированных процедур сертификации и эксплуатации, высокая стоимость сертификационных процедур (до 1,5 млрд руб.), а также региональная неоднородность требований, административная сложность получения разрешений и отсутствие централизованной системы координации регулирования. Дополнительно выделяются требования к использованию преимущественно отечественных БАС в государственном секторе, подчеркивается недостаточная эффективность действующих механизмов поддержки инновационных проектов и стартапов, а также сохраняются ограничения, связанные с патентованием и коммерциализацией разработок. Отдельное внимание уделяется необходимости интеграции БАС в единое воздушное пространство с использованием цифровых систем управления полётами, обеспечивающих оперативное предоставление разрешений и верификацию данных в режиме, близком к реальному времени.

Барьеры зависимости от поставок компонентов

К началу 2026 года российские производители комплектующих для БВС локализовали значительную часть наиболее востребованных компонентов БВС. По оценкам компании «Флай дрон» уровень локализации компонентов в среднем на февраль 2026 года в российской отрасли производства БВС составляет около 50-60%, при годовом росте уровня на 10% [522]. Вместе с тем сохраняются существенные ограничения в части локализации электронных систем управления и электродвигателей, уровень производства которых остается недостаточно развитым [522]. По оценкам представителей отраслевых сообществ, в горизонте ближайших двух–трех лет достижим уровень локализации до 80% по основным критическим компонентам БВС.

Результаты опроса Инфраструктурного центра «Технет» подтверждают критическую зависимость отечественных компаний от импортных компонентов, включая микросхемы, силовые установки, оптико-электронные системы и специализированные узлы, что обусловлено ограниченным набором и возможностями предлагаемых отечественных решений.

В настоящее время в реестре российской промышленной продукции насчитывается более 108 наименований комплектующих БВС более чем 20 типов, включая камеры, электродвигатели, навигационные системы, системы питания и другие элементы. Несмотря на активное развитие производственной базы, отечественные компоненты в ряде случаев сохраняют более высокую стоимость по сравнению с зарубежными, прежде всего китайскими аналогами, а действующие меры стимулирования оцениваются как недостаточные.

В результате производители БВС, включая организации с государственным участием, при формировании конечной себестоимости продукции, особенно в серийном производстве, часто отдают предпочтение более доступным и апробированным зарубежным компонентам. Достижение ценовой конкурентоспособности отечественной компонентной базы потребует как масштабирования производства для реализации эффекта масштаба, так и продолжения системной государственной поддержки [522].

Следует отметить, что проблема зависимости от импорта компонентов для БВС носит глобальный характер и характерна для большинства стран, за исключением Китая, обладающей развитым промышленным кластером производства БВС в районе Шэньчжэня.

Инфраструктурные и кадровые барьеры

Одной из наиболее острых и длительно сохраняющихся проблем является дефицит испытательных полигонов для тестирования БВС и беспилотных авиационных систем (БАС). Указанная проблема сформировалась еще до введения масштабных ограничений на эксплуатацию БВС в регионах страны и стала особенно выраженной с началом активного развития гражданских беспилотных решений в 2010-х годах. В последние годы, на фоне увеличения числа проектов в сфере БАС и ограничений на полеты в большинстве субъектов Российской Федерации, дефицит специализированных испытательных площадок приобрел критический характер. Дополнительно сохраняется проблема отсутствия специализированных полигонов для эксплуатации БВС в арктических и заполярных регионах, рассматриваемых как перспективные зоны их применения в долгосрочной перспективе. По оценкам участников рынка, в отдельных случаях доступ к испытательной инфраструктуре обеспечивается через закрытые площадки либо осуществляется в ограниченном режиме на удаленных территориях [523].

Отдельную категорию инфраструктурных решений составляют дронопорты – автоматизированные станции взлетно-посадочного обслуживания и маршрутизации, предназначенные для эксплуатации БВС с минимальным участием оператора, прежде всего в сферах логистики и мониторинга. Несмотря на наличие значительного числа проектов подобных систем, разрабатываемых российскими компаниями, уровень их серийного производства и внедрения в настоящее время остается ограниченным. Несмотря на наличие отдельных проектов, уровень их промышленного внедрения остается ограниченным, а масштабирование носит точечный характер: по состоянию на 2025 год в регионах развернуты лишь десятки таких объектов [524].

Дополнительным инфраструктурным ограничением является недостаточно высокая скорость формирования единой системы диспетчеризации. В августе 2025 года Федеральное агентство воздушного транспорта (Росавиация) согласовало финансирование первого этапа создания единой системы организации воздушного движения Российской Федерации (ЕС ОрВД) с учетом пилотируемых и беспилотных авиационных систем. В качестве технологической основы ЕС ОрВД рассматривается Единая интегрированная система планирования использования воздушного пространства (ЕИС ПИВП), разрабатываемая корпорацией «Алмаз-Антей» [525]. Финансирование проекта осуществляется в рамках национального проекта «Беспилотные авиационные системы».

В рамках ЕИС ПИВП предусмотрено выполнение следующих функций:

- интеграция баз данных пилотируемой и беспилотной авиации;
- маршрутизация и предотвращение конфликтов;
- обеспечение информационной безопасности и резервирования;
- интеграция с действующими системами организации воздушного движения [526].

Как отмечают отраслевые эксперты, ключевой сложностью реализации системы является ее платформенный характер, требующий интеграции разнородных баз данных, протоколов и регламентов, связанных с использованием воздушного пространства, при обеспечении высокого уровня надежности и информационной безопасности [525]. Полноценный ввод системы в эксплуатацию ожидается в 2028–2030 годах [526].

Результаты опроса Инфраструктурного центра «Технет» подтверждают ранее выделенные

инфраструктурные барьеры развития отрасли БАС, включая недостаточный уровень развития специализированной наземной и цифровой инфраструктуры для эксплуатации БАС, отсутствие сети дронопортов и платформ управления, а также дефицит испытательной и сертификационной инфраструктуры и выделенных зон для выполнения полётов. Отдельно респондентами отмечается высокая капиталоемкость создания соответствующей инфраструктуры (включая оценочные затраты порядка 230 млрд руб.) на формирование базовой инфраструктурной сети.

Развитие отрасли БАС в России сталкивается также и с кадровыми барьерами. Также ограничивается кадровыми факторами. По оценкам АНО «ФЦ БАС» дефицит специалистов на гражданском рынке БВС в 2026 году составил 14,5 тыс. человек. Наиболее выраженный дефицит фиксируется среди операторов БВС (около 12 тыс. человек) и аналитиков данных (более 1,7 тыс. человек). Дополнительно отмечается нехватка специалистов по обслуживанию техники (свыше 400 человек) и инструкторов (свыше 300 человек) [527]. Согласно оценкам участников рынка, в перспективе часть дефицита операторов может быть частично компенсирована за счет перехода специалистов из сегмента систем специального назначения, однако в текущих условиях сохраняется конкуренция за квалифицированные кадры между сегментами гражданского и специального назначения [527].

Компании-разработчики БВС и их компонентов сталкиваются с ростом заработных ожиданий инженерных специалистов, включая разработчиков ПЛИС, систем управления, инженеров-конструкторов, а также специалистов производственного профиля. Реализация национального проекта «Беспилотные авиационные системы» привела к существенному увеличению числа разрабатываемых гражданских проектов, что в сочетании с расширением сегмента систем специального назначения усилило дефицит квалифицированных кадров [528].

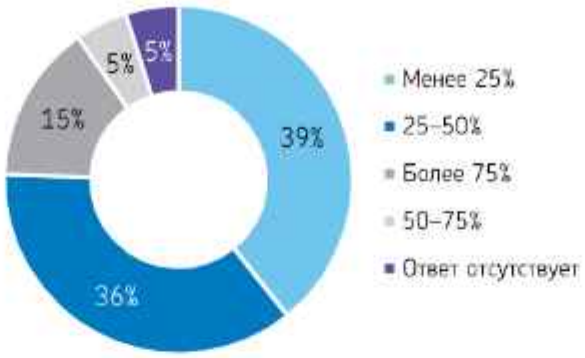
В рамках опроса Инфраструктурного центра «Технет» также подтверждаются кадровые ограничения как один из значимых барьеров развития отрасли БАС, включая дефицит специалистов полного технологического цикла, несоответствие уровня подготовки кадров актуальным требованиям отрасли, а также ограниченность финансирования образовательных программ и инициатив. Указанные факторы в совокупности усиливают структурный дефицит квалифицированных кадров и ограничивают возможности масштабирования отрасли.

Технологические барьеры

Результаты опроса Инфраструктурного центра «Технет» фиксируют ряд технологических ограничений развития отрасли БАС, включая недостаточные эксплуатационные характеристики систем, прежде всего по продолжительности полёта и грузоподъёмности, а также ограниченную доступность отечественной элементной базы. Дополнительно отмечаются эксплуатационные ограничения, связанные с высокой стоимостью и ограниченной эффективностью обязательных идентификационных устройств, а также сложности при использовании каналов связи в условиях отсутствия устойчивой спутниковой навигации и воздействия средств радиоэлектронного противодействия.

В части цифрового контура деятельности предприятий результаты опроса также указывают на сохраняющуюся технологическую зависимость: доля отечественного ПО в цифровом контуре большинства опрошенных компаний составляет менее 25% (рисунок 79).

Рисунок 79. Структура ответов о доле отечественного ПО в цифровом контуре компании, %



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по результатам опроса, 2026

К основным барьерам перехода на отечественное ПО респонденты отнесли недостаточный набор доступных отечественных решений для полного покрытия функциональных требований, ограничения, обусловленные дефицитом квалифицированных кадров для внедрения, адаптации и сопровождения отечественного ПО, а также ограничения, связанные с межсистемной интеграцией и совместимостью в существующем цифровом контуре предприятий. В рамках данного вопроса допускался множественный выбор ответов. Структура ответов представлена на рисунке 80.

Рисунок 80. Структура ответов об основных барьерах перехода на отечественное ПО, %



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по результатам опроса, 2026

В целом технологические барьеры развития отрасли БАС носят комплексный характер и формируются на стыке ограничений эксплуатационных характеристик систем, ограниченной доступности отечественной элементной и программной базы, а также недостаточной зрелости цифровых решений и межсистемной интеграции.

В рамках опроса участники рынка также отметили **ряд факторов, способных оказать сдерживающее влияние на развитие отрасли БАС до 2030 года**, а именно:

- Сохранение ограничений на эксплуатацию БВС и воздействие средств радиоэлектронной борьбы (РЭБ), включая отсутствие разграничения зон применения средств РЭБ и зон выполнения полетов, что может ограничивать возможности эксплуатации БВС, приводить к массовому подавлению сигналов и снижению активности на рынке услуг (на 10-20%).
- Сохраняющаяся технологическая зависимость по отдельным критически значимым компонентам, несмотря на развитие технологического суверенитета и создание опытных образцов по ряду направлений. По мнению респондентов, наиболее уязвимыми направлениями остаются микроэлектроника, оптико-электронные системы, включая камеры, а также иные компоненты, сохраняющие высокую зависимость от зарубежных поставок.
- Финансовые и кадровые ограничения, включая сокращение бюджетного финансирования отрасли (до 30% в 2026 году по отдельным направлениям), усиление конкурентного давления со стороны зарубежных производителей, прежде всего китайских компаний, а таюже возможный дефицит квалифицированных кадров, связанный со снижением объемов финансирования подготовки специалистов (до 90%).

Ключевые возможности для роста отрасли

В части выделенных по результатам опроса Инфраструктурного центра «Технет» барьеров развития отрасли БАС в 2025-2026 годах, респондентами отмечаются следующие меры по их преодолению.

- Меры по преодолению регуляторных барьеров:
    - гармонизация нормативно-правовой базы в сфере БАС;
    - развитие экспериментальных правовых режимов;
    - формализация процедур сертификации и эксплуатации БАС;
    - внедрение многоэтапных режимов допуска к эксплуатации (стендовые испытания — летный демонстратор — ограниченная эксплуатация);
    - переход к риск-ориентированному подходу при сертификации;
    - развитие цифровых инструментов сертификации (включая цифровые (виртуальные) испытательные стенды и полигоны).
- Меры по преодолению технологических барьеров:
    - реализация государственной программы развития микроэлектроники;
    - расширение грантовой поддержки производства критических компонентов БАС;
    - локализация критических узлов (полетные контроллеры, силовая электроника, датчики);
    - адаптация требований к системам идентификации с учетом классов БАС и сценариев применения;

    - развитие отечественной компонентной базы для снижения технологической зависимости.
- Меры по преодолению инфраструктурных барьеров:
    - развитие аэродромной и наземной инфраструктуры для эксплуатации БАС;
    - развитие полигонной инфраструктуры для испытаний БАС;
    - создание единой цифровой системы управления полётами;
    - развитие сети испытательных центров и сертификационных лабораторий;
    - формирование специализированных зон хранения и обслуживания БАС.
- Меры по преодолению кадровых барьеров:
    - формирование системы непрерывной подготовки кадров;
    - развитие программ ранней профориентации;
    - расширение образовательных программ Передовых инженерных школ;
    - создание специализированных образовательных центров и программ переподготовки;
    - внедрение цифровых технологий и тренажеров при подготовке специалистов;
    - формирование отраслевых команд под конкретные типы БАС;
    - развитие систем отбора и закрепления специалистов.
- Меры по преодолению экономических барьеров:
    - расширение государственного спроса на продукцию и услуги БАС;
    - развитие межрегиональной кооперации;
    - увеличение объемов финансирования НИОКР;
    - о стимулирование частного спроса на услуги БАС;
    - о внедрение компенсационных механизмов ценового разрыва;
    - о поддержка технологических стартапов.

В рамках опроса участники рынка также отметили **ряд факторов, способных оказать существенное влияние на развитие отрасли БАС до 2030 года**, а именно:

- **Совершенствование нормативно-правового регулирования и механизмов поддержки отрасли,** включая развитие системы стандартизации и сертификации, принятие анонсированных на 2026 год нормативных правовых актов и национальных стандартов (ГОСТ) в сфере БАС, а также расширение проектов, реализуемых в рамках Постановления Правительства Российской Федерации от 18 февраля 2022 г. № 208 «О предоставлении субсидии из федерального бюджета автономной некоммерческой организации «Агентство по технологическому развитию» на поддержку проектов, предусматривающих разработку конструкторской документации на комплектующие изделия, необходимые для отраслей промышленности», а также завершение процедур сертификации и расширение доступа разработчиков к испытательной инфраструктуре. Дополнительное значение , по мнению респондентов, будет иметь ускорение развития регулирования BVLOS-полетов и совершенствование механизмов допуска БВС к эксплуатации.
- **Развитие регулирования использования воздушного пространства,** включая возможное расширение зон для регулярной эксплуатации БВС (за исключением приграничных территорий), упрощение процедур использования воздушного пространства (ИВП) и

сокращение сроков согласования полетов, а также развитие подходов к управлению беспилотным воздушным движением (UTM/U-space).

- **Преодоление технологических ограничений и повышение уровня локализации,** включая достижение уровня локализации критически значимых технологий свыше 70 %, развитие цифровой экосистемы проектирования и производства, внедрение автономных систем диагностики и технического обслуживания, расширение применения композиционных материалов в серийных БВС, а также развитие технологий накопителей энергии, электродвигателей, материалов, электронной компонентной базы и иных критически значимых компонентов.
- **Развитие инфраструктуры производства и эксплуатации БАС,** включая создание сети транспортных коммуникаций БАС на территории Российской Федерации, развитие дронопортов, посадочных площадок и специализированной инфраструктуры хранения и обслуживания БВС, а также расширение сети научно-производственных центров (НПЦ), испытательных полигонов и производственных мощностей, обеспечивающих переход от прототипирования к серийному выпуску продукции.
- **Формирование цифровой и институциональной инфраструктуры отрасли,** включая создание единой цифровой платформы («одного окна»), обеспечивающей взаимодействие участников отрасли на всех этапах жизненного цикла — от разработки до эксплуатации, внедрение новых технологических решений, способствующих снижению затрат, а также формирование рынка страхования БВС.
- **Расширение сфер применения и повышение технологической зрелости БАС,** включая масштабное освоение гражданского сектора, развитие аэромобильности и сервисов аэрологистики, повышение уровня автономности полетов, расширение возможностей группового управления БВС, более широкое применение беспилотных технологий при решении задач специального назначения с последующей адаптацией отдельных решений для гражданского применения. Так, например, запуск первых коммерческих маршрутов в 2026–2027 гг. выведет рынок доставки с помощью БВС до 25 млрд руб.

Таким образом, несмотря на сохранение существенных структурных ограничений развития отрасли БАС в Российской Федерации в 2025–2026 годах, формируется **совокупность дополнительных возможностей,** обусловленных особенностями отраслевой и географической специализации, развитием технологических компетенций, а также усилением кооперационных механизмов между участниками рынка. Они связаны с институциональной поддержкой в рамках государственных программ развития, деятельности научно-производственных центров (НПЦ) и центров коллективного пользования (ЦКП), формирующих инфраструктурную основу отрасли.

Отраслевая и географическая специализация

Развитие услуг в сфере агропромышленного комплекса обладает значительным потенциалом для развития отрасли. Представляет собой относительно отработанный сценарий применения с определенной экономической ценностью для заказчика, которая в последние годы усиливается на фоне удорожания трудовых ресурсов в сельском хозяйстве [529]. Дополнительным фактором выступает территориальная специфика: значительная часть сельскохозяйственных объектов расположена на удалении от критической инфраструктуры и крупных городов, что снижает уровень операционных ограничений, связанных с применением систем РЭБ.

Схожий потенциал демонстрирует **специализация на мониторинге крупной промышленной инфраструктуры в высокомаржинальных секторах.** Предприятия нефтегазового и энергетического комплекса формируют устойчивый спрос на регулярный контроль протяжённых объектов при экономическом преимуществе по сравнению с традиционными методами инспекции с участием персонала или пилотируемой авиации. Дополнительным фактором устойчивости данного сегмента является наличие у компаний собственных инвестиционных бюджетов, не полностью зависящих от механизмов государственного гражданского заказа.

Отдельное направление возможностей связано с **развитием решений для арктических и заполярных территорий.** Развитие этих регионов рассматривается как приоритет государственной политики [530], при этом режим ограничений полётов в северных широтах в ряде случаев является менее жёстким по сравнению с центральными регионами. В сочетании с высокой стоимостью альтернативных авиационных решений и кадровыми ограничениями это формирует предпосылки для закрепления специализированных технологических ниш, включая морозоустойчивые аккумуляторы, системы антиобледенения и другие адаптированные решения.

Технологическая специализация

Отдельный блок возможностей формируется в области навигационных и автономных систем. **Развитие технологий навигации, способных работать без глобальных навигационных спутниковых систем (**ГНСС) на основе альтернативных решений (визуальная одометрия, инерциальные системы и пр.) рассматривается как критически значимое направление. Такие решения обладают высокой востребованностью как в условиях применения систем РЭБ на территории Российской Федерации, так и в арктических зонах с ограниченной доступностью спутникового сигнала.

Дополнительный потенциал связан с **локализацией производства компонентов БВС.** Ужесточение требований к происхождению компонентов в рамках реестра отечественной продукции Минпромторга России формирует устойчивый спрос на российские решения. При дальнейшем развитии стимулирующих мер и расширении производственных мощностей производство критических компонентов может стать самостоятельным сегментом с высокой добавленной стоимостью.

Развитие смежных направлений

Перспективные возможности также формируются в смежных сервисных и образовательных сегментах. Одним из направлений является **развитие консалтинга в области нормативного регулирования и сопровождения процедур допуска БВС.** Компании, обладающие практическим опытом взаимодействия с государственными органами и выстроенными процедурами сертификации, могут выступать носителями прикладной экспертизы для других участников рынка.

Отдельный потенциал связан с **развитием образовательных сервисов (EdTech-направление).** В условиях дефицита квалифицированных кадров и ограниченности профильных программ подготовки компании, обладающие собственной экспериментальной и учебной инфраструктурой, могут формировать образовательные продукты для внешнего рынка, включая подготовку операторов и сопровождение сертификационных процедур.

Институциональные и кооперационные механизмы развития

Дополнительные возможности связаны с развитием кооперационных и институциональных

механизмов взаимодействия участников отрасли. По результатам проведенного Инфраструктурным центром «Технет» опроса участников рынка, компании-респонденты используют такие кооперационные механизмы развития, как технологические альянсы и партнерские сети, а также участие в отраслевых объединениях, тогда как более формализованные формы кооперации, включая консорциумы и прямые кооперационные соглашения, практически не представлены в отраслевой практике. Структура ответов представлена на рисунке 81. В рамках данного вопроса допускался множественный выбор ответов.

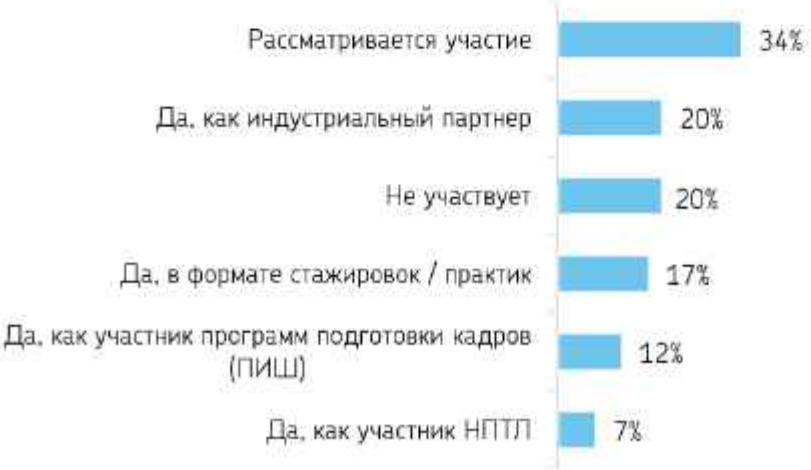
Рисунок 81. Структура ответов об использовании компаниями-респондентами кооперационных механизмов развития, %



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по результатам опроса, 2026

Участие компаний в государственных инициативах в сфере БАС в большинстве случаев носит прикладной характер, при этом часть организаций выступает в роли индустриальных партнёров (рисунок 82, допускался множественный выбор ответов). В совокупности это указывает на то, что взаимодействие участников рынка в большей степени строится вокруг гибких, неформализованных моделей кооперации.

Рисунок 82. Структура ответов об участии компаний-респондентов в государственных инициативах в сфере БАС, %



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по результатам опроса, 2026

Дополнительно результаты опроса фиксируют ограниченный уровень использования инфраструктуры научно-производственных центров (НПЦ) и центров коллективного пользования (ЦКП), при одновременном признании их значительного потенциала, прежде всего для задач НИОКР. Распределение полученных ответов представлено на рисунке 83.

Рисунок 83. Структура ответов об использовании компаниями-респондентами инфраструктуры научно-производственных центров (НПЦ) или центров коллективного пользования (ЦКП), %



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по результатам опроса, 2026

Состояние региональной инфраструктуры БАС в целом характеризуется как частично сформированное, при этом значительная доля респондентов указывает на её фрагментарный характер либо стадию активного становления (рисунок 84).

Рисунок 84. Структура ответов о состоянии региональной инфраструктуры БАС, %



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по результатам опроса, 2026

В совокупности данные результаты свидетельствуют о формировании в отрасли модели со слабо формализованными механизмами кооперации, в которой ключевые элементы инфраструктурного и организационного взаимодействия находятся в процессе становления. Это, в свою очередь, формирует пространство для развития кооперационных моделей нового типа, где НПЦ, ЦКП и государственные программы могут выступать системными связующими звеньями между разработчиками, производителями и конечными пользователями технологий.

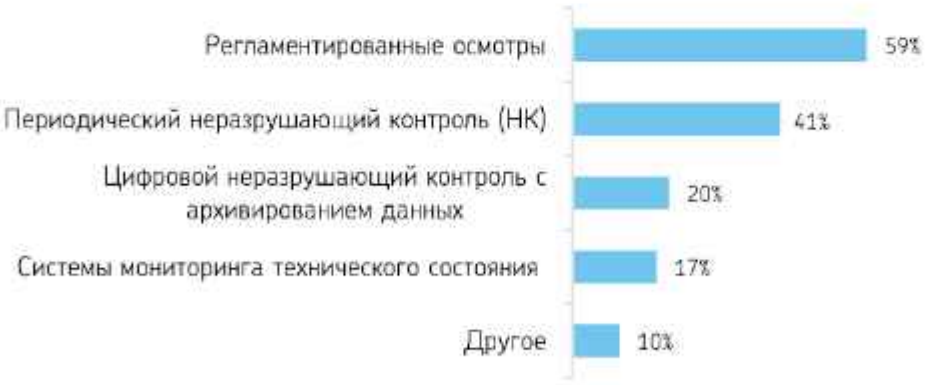
ГЛАВА 3. АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К ЧИСЛЕННОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ УДАРНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА КОМПОЗИТНЫЕ КОНСТРУКЦИИ БВС И ОЦЕНКЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ С УЧЕТОМ УДАРНОГО ПОВРЕЖДЕНИЯ

В конструкциях современных БВС распространено применение тканей и препрегов на основе углеродных волокон. Полимерные композиционные материалы (ПКМ) применяются в основных силовых элементах крыла, фюзеляжа, оперения и других конструктивных элементах. Это обеспечивает снижение массы конструкции, увеличение удельной прочности, долговечности. Применение композиционных материалов способствуют улучшению летно-технических характеристик летательных аппаратов при одновременном снижении их массы.

Композиционные материалы обладают повышенной чувствительностью к локальным повреждениям, расслоениям и ударным воздействиям, что обуславливает необходимость оценки их остаточной прочности после возникновения дефектов, а также несущей способности конструкций. Комплексное применение экспериментальных исследований, методов неразрушающего контроля и численного моделирования является необходимым условием повышения надежности и безопасности композитных конструкций авиационной техники и беспилотных летательных аппаратов.

По результатам опроса, проведенного в 2026 году Инфраструктурным центром «Технет», отечественными компаниями чаще всего применяются регламентированные осмотры и методы периодического неразрушающего контроля (НК) технического состояния композитных и гибридных конструкций БВС в эксплуатации. В категории «Другое» респонденты отметили применение средств автоматизации неразрушающего контроля. Вопрос подразумевал множественный ответ, подробная структура ответов представлена на рисунке 85.

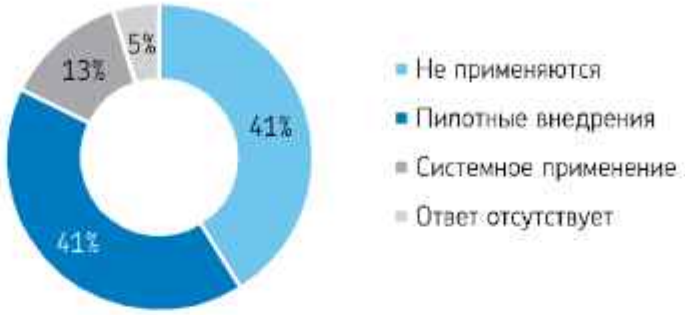
Рисунок 85. Структура ответов о применяемых методах контроля технического состояния композитных и гибридных конструкций БВС в эксплуатации, %



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по результатам опроса, 2026

Среди большинства респондентов осуществляются пилотные внедрения систем мониторинга технического состояния конструкций БВС, таюке 13% из них отмечает системное применение таких систем (рисунок 86).

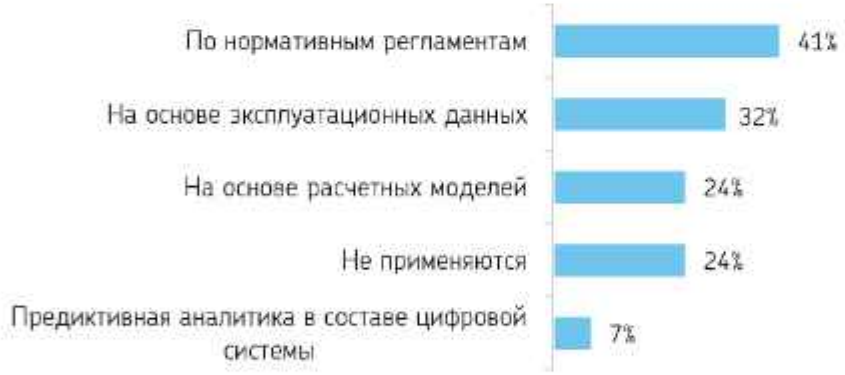
Рисунок 86. Структура ответов об использовании систем мониторинга технического состояния конструкций БВС, %



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по результатам опроса, 2026

Для прогнозирования остаточного ресурса конструкций БВС респондентами чаще всего применяются нормативные регламенты и методы на основе эксплуатационных (рисунок 87, допускался множественный выбор ответов). Следует учитывать, что в состав выборки опроса вошли организации различных категорий, включая промышленные предприятия, разработчиков и операторов БВС, а также научно-исследовательские организации и высшие учебные заведения, что обуславливает различия в уровне практического внедрения рассматриваемых технологий.

Рисунок 87. Структура ответов о применении методов прогнозирования остаточного ресурса конструкций БВС, %



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по результатам опроса, 2026

В исследовании Инфраструктурного центра «Технет» 2025 года [9] подробно рассмотрены типы разрушения и методы неразрушающего контроля для композиционных материалов и композитных конструкций БВС. По результатам анализа установлено, что критерии прочности могут обладать различной точностью описания свойств ПКМ; при отсутствии достаточного набора экспериментальных данных требуется сопоставительный анализ основных критериев с выбором наиболее консервативного результата. Одним из перспективных направлений выделена технология цифровых двойников, которая может быть применена для решения задач оптимизации изделий, применяемых материалов, а также технологических процессов их изготовления.

Стоит отметить, что ключевой проблемой цифрового обоснования механического поведения,

прочности, несущей способности, долговечности, надежности и безопасности изделий из композиционных материалов является необходимость одновременного учета взаимосвязанных аспектов материаловедения, технологий (цифровые технологии проектирования и моделирования, производственные технологии, включая технологические процессы изготовления) и механики деформируемого твердого тела / механики композитных структур, что формирует неразрывную мультидисциплинарную триаду **«Материал – Технология – Конструкция»** [160,531,532]. Далее цифровой двойник композиционного материала в контексте цифрового двойника изделия формируется из двух взаимосвязанных триад [531]: **«Материал – Технология – Конструкция» и «Цифровой двойник на стадиях: Разработка – Производство – Эксплуатация»** (подход проиллюстрирован на рисунке 88). Каждое пересечение элементов указанных триад (зона взаимодействия) определяет систему требований, выполнение которых обеспечивает высокую степень адекватности математических, компьютерных и цифровых моделей композиционных материалов в составе цифрового двойника изделия (композитной конструкции), что имеет принципиальное значение для создания глобально конкурентоспособной продукции (как на уровне материала, так и изделия в целом).

Рисунок 88. Концепция цифрового двойника композиционного материала в контексте цифрового двойника изделия



Цифровые (виртуальные) испытательные стенды (ВИС) и цифровые (виртуальные) испытательные полигоны (ВИП) применяются для разработки, тестирования, верификации и валидации цифровых двойников композиционных материалов (ЦД КМ), новых моделей материалов для математического и компьютерного моделирования физико-механических свойств с учетом различных видов деградаций и особенностей технологических процессов. Разработка ЦД КМ отвечает сути и терминологии ГОСТ Р 57700.37-2021 «Компьютерные модели и моделирование. ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ ИЗДЕЛИЙ. Общие положения»

Источник: Инфраструктурный центр «Технет» СПбПУ по материалам ПИШ СПбПУ «Цифровой инжиниринг», 2026

Аналитическое исследование в рамках настоящего доклада предполагает рассмотрение подходов к численному моделированию динамических процессов ударного воздействия на композитную конструкцию БВС и оценке их несущей способности с учетом ударных повреждений, а также специализированного ПО, используемого для цифрового моделирования указанных процессов.

Методы численного моделирования динамических процессов ударного воздействия на композиционную конструкцию БВС и оценки несущей способности конструкции с учетом ударного повреждения

Современная промышленность обеспечивает производство широкого спектра материалов с различной структурой, уровнем организации и комплексом эксплуатационных свойств, включая композиционные материалы. Развитие данной области неразрывно связано с созданием и внедрением новых классов материалов, обладающих расширенными эксплуатационными и технологическими свойствами и потенциально применимых как в монолитном исполнении, так и в составе композиционных систем различного назначения. Особое значение приобретают задачи снижения массы изделий, развитие аддитивных технологий, а также внедрения методов интеллектуального проектирования и производства материалов.

На сегодняшний день основными тенденциями в области композиционных материалов являются исследования и разработки по следующим направлениям [533]:

- **высокоэффективные смолы и клеевые системы**, обеспечивающие снижение риска расслоений и деградации свойств композитных слоев за счет повышения межфазной адгезии;
- **материалы на основе углеродного волокна**, позволяющие формировать облегченные и долговечные конструкции с высокой ударопрочностью и пониженным риском скрытых повреждений;
- **усовершенствованные полимерные композиционные материалы**, для которых повышение адгезии приводит к росту прочности при действии эксплуатационных и ударных нагрузок; дополнительно применяются гидрофобные полимеры и модификации матрицы, направленные на снижение влагопоглощения и предотвращение деградации механических свойств, что обеспечивает повышение долговечности и эксплуатационной надежности;
- **биоматериалы**, характеризующиеся высоким удельным соотношением прочности и массы, а также повышенной устойчивостью к коррозии, ультрафиолетовому излучению и износу;
- **нано композиты**, в которых введение наночастиц или нанонаполнителей повышает прочность, термостойкость и электропроводность; к ключевым направлениям развития относятся системы с эффектом самовосстановления, обеспечивающие автономное восстановление структуры при повреждении, а также улучшение жесткостных, прочностных и температурных характеристик
- **«интеллектуальные» металлические композиционные материалы (smart metal composites)**, новаторский класс материалов, сочетающих металлические матрицы со сплавами или полимерами с эффектом памяти формы, обеспечивающими адаптивные функциональные свойства.

Для композитных конструкций БВС все более широкое применение получает аддитивное производство полимерных материалов, в особенности технологии экструзии, включая послойное

наплавление и близкие к нему процессы. Данные методы активно используются на этапах проектных исследований, быстрого прототипирования, а также при изготовлении несиловых и конструктивно важных элементов конструкций. Однако применение аддитивных технологий для изготовления компонентов, подверженных эксплуатационным нагрузкам, остается ограниченным ввиду недостаточного объема накопленных эксплуатационных и экспериментальных данных о долговечности и надежности этих компонентов, особенно при оценке влияния ударных повреждений на их долговечность и надежность.

В этих условиях особую актуальность приобретает задача разработки быстрых, относительно простых и при этом достоверных методов оценки ожидаемой долговечности компонентов без проведения дорогостоящих полномасштабных натурных испытаний узлов и агрегатов. Одним из ключевых инструментов решения данной задачи выступает **численное моделирование, а также методы оценки несущей способности конструкций с учетом ударного повреждения, которые, как правило, применяются для:**

- **анализа напряженно-деформированного состояния:** определение полей напряжений и деформаций, выявление зон концентрации напряжений;
- **оценки устойчивости конструкций:** расчет критических нагрузок и анализ потери устойчивости (buckling analysis);
- **анализа вариантов усиления конструкций:** моделирование различных сценариев конструктивного усиления до их практической реализации;
- **обследования и анализа аварийных и поврежденных объектов:** расчет и оценка фактического технического состояния конструкций с учетом выявленных дефектов и повреждений.

Анализ современных научных исследований показывает, что ударные повреждения композитных конструкций представляют собой одну из ключевых проблем для авиационной, ракетно-космической техники, а также беспилотных систем (воздушных, наземных, надводных, подводных, полупогружных). Для композитных конструкций БВС при воздействии ударных нагрузок могут быть выделены следующие основные типы повреждений:

- **деламинация (delamination)** – расслоение между слоями композиционного материала, как правило, возникающее при низкоскоростных ударных воздействиях (например, столкновение с градом, птицами или посторонними предметами). Отличительной особенностью является скрытый характер повреждений, не выявляемых при визуальном контроле. Деламинация относится к числу наиболее критичных дефектов с точки зрения обеспечения безопасности, поскольку композитные элементы эксплуатируются в условиях сложного сочетания статических и динамических нагрузок в широком диапазоне температур;
- **разрушение матрицы (matrix cracking)** – образование микротрещин в полимерной матрице композита, как правило, предшествующее другим видам повреждений и способствующее их последующему развитию;
- **разрыв (излом) волокон** – повреждение армирующих волокон (углеродных, стеклянных и др.), возникающее при более высоких уровнях ударного нагружения и приводящее к существенному снижению несущей способности конструкции;

- **вдавливание, локальное вмятие (indentation)** – образование остаточной локальной деформации поверхности, как правило, сопровождаемое внутренними повреждениями, включая деламинацию;
- **пробой (penetration / perforation)** – сквозное разрушение панели ударяющим объектом, характерное для высокоскоростных ударных воздействий;
- **сдвиговое разрушение слоев** – разрушение, обусловленное действием межслойных сдвиговых напряжений. Межслойная прочность при сдвиге (Interlaminar Shear Strength, ILSS) является характеристикой композитного материала, определяющей его устойчивость к расслоению под действием сдвиговых межслоевых нагрузок.

Перечисленные типы повреждений формируют основу для постановки задач численного моделирования и выбора расчетных методов, применяемых при анализе ударного воздействия и прогнозировании остаточной прочности композитных конструкций. При этом характер повреждений определяет требования к моделям разрушения, критериям их инициирования и способам численной реализации.

Методы численного моделирования для описания процессов разрушений и оценки остаточной прочности конструкций различаются по точности, способности к описанию разрушения и вычислительным затратам:

- **FEM (Finite element method, метод конечных элементов (МКЭ)** – обеспечивает высокую точность и эффективно описывает напряженно-деформированное состояние и процессы разрушения, однако характеризуется высокими вычислительными затратами. Метод является одним из базовых инструментов анализа ударного воздействия на композитные конструкции БВС. Ранее исследователями основное внимание уделялось комплексному сочетанию эксперимента и МКЭ/FEM, а также **сравнению механизмов низкоскоростного и высокоскоростного ударного воздействия (Low-velocity impact – LVI и High-velocity impact – HVI).** В современных же подходах используются методы численного расчета с введением эквивалентных дефектов или снижением жесткости элементов в зоне повреждения. Оцениваются предел прочности, критические нагрузки, устойчивость конструкции и остаточная несущая способность, которая существенно зависит от типа, размеров и локализации повреждения, возникающих в композиционном материале в результате ударного воздействия.
- **ALE-методы (Arbitrary Lagrangian–Eulerian)** – комбинированный Лагранжево-Эйлеров подход, обеспечивающий среднюю–высокую точность и способность к описанию разрушения, при высокой вычислительной сложности.
- **SPH (Smoothed Particle Hydrodynamics)** – бессеточный метод сглаженных частиц, обеспечивающий воспроизведение процессов разрушения и фрагментации при сохранении высоких вычислительных затрат. Точность моделирования также определяется адекватностью моделей повреждаемости композиционных материалов. Современные тенденции включают применение нейронных сетей, использующих энергию удара и параметры укладки слоев для прогнозирования остаточных механических свойств, развитие расширенных SPH-моделей ударного воздействия, а также исследование гибридных материалов и интерфейсных эффектов при **сжатии после удара (Compression After Impact – CAI).**

- **Гибридные FEM–SPH подходы** – FEM применяется для моделирования основной несущей конструкции, а SPH – для зон повышенной деформации, разрушения или моделирования ударника. Такой подход обеспечивает высокую точность при крайне высоких вычислительных затратах.

Обзор современных публикаций по рассматриваемой тематике представлен в таблице 20.

Таблица 20. Обзор некоторых публикаций по теме технологий цифрового моделирования ударных повреждений в композиционных материалах и остаточной прочности композитных конструкций в контексте беспилотных систем

Год	Название статьи	Направление и методы исследования	Ключевые результаты
		В мире	
2025	Numerical damage assessment in T700/epoxy composite laminate under low and high velocity impacts using a modified hashin-puck criterion/ Численное моделирование повреждений в композитном ламинате T700/ эпоксидная смола при низко- и высокоскоростных ударных воздействиях на основе модифицированного критерия Хашина–Пака [534].	**Направление исследования:** Исследование механизмов распространения повреждений в композитных ламинатах CFRP (T700/ эпоксидная смола) при низко- и высокоскоростных ударных воздействиях (LVI/HVI) и оценка их динамического отклика. **Методы моделирования:** Метод конечных элементов (МКЭ); модифицированный критерий Хашина–Пака (Hashin–Puck); реализация в Abaqus с использованием подпрограммы VUMAT.	Проведена численная оценка повреждений при низко- и высокоскоростных ударных воздействиях. Выполнено моделирование динамического отклика ламинатов из углепластика с использованием VUMAT, реализующей модифицированную трехмерную модель повреждения Хашина-Пака. Обеспечено соответствие расчетных результатов экспериментальным данным по временным характеристикам отклика и пиковым значениям. Обеспечено соответствие расчетных результатов экспериментальным данным по временным характеристикам отклика и пиковым значениям.
2025	A reliable framework for assessing the impact resistance and post-impact damage tolerance of 3D hybrid composites against high-energy fragments and hailstones/ Надежный подход к оценке ударопрочности и постударной повреждаемости	**Направление исследования:** Анализ повреждений при низкоскоростных ударах (LVI) и прогнозирование остаточных свойств трехмерных гибридных композитов. Численное исследование возможности использования недавно разработанного трехмерного	Получена численная оценка остаточных свойств материала с точностью до ≈1%. Проведена оценка характеристик материала в соответствии с требованиями нормативных стандартов, применяемых к материалам фюзеляжных конструкций коммерческих воздушных судов. Установлено влияние высоко-энергетических ударов осколков

Год	Название статьи	Направление и методы исследования	Ключевые результаты
	трехмерных гибридных композитов при воздействии высокоэнергетических осколков и града [535].	гибридного композита в авиационной промышленности. **Методы моделирования:** Метод сглаженных частиц гидродинамики (SPH), явный решатель, конечно-элементное моделирование в LS-DYNA, модель 3DHC-PI (LS-PREPOST V4.9, LS-DYNA V13.1), экспериментальные методы (C-scan, CAI) и FNN-модель. Рассмотрены ударные и квазистатические режимы нагружения. Модель 3DHC-PI разработана с применением LS-PREPOST V4.9 и проанализирована в LS-DYNA V13.1 с последующей адаптацией к заданным граничным условиям.	вращающихся механизмов и ударов града на целостность материала.
2025	Hybrid composite-metal structure response to post-impact compression – Experimental and numerical study/ Гибридная композитно-металлическая конструкция: поведение при сжатии после удара – экспериментальное и численное исследование [536].	**Направление исследования:** Оценка ударопрочности и постударной повреждаемости. Анализ поведения при сжатии после ударного воздействия (CAI). Численное исследование поведения гибридных композитно-металлических конструкций при сжатии после удара. **Методы моделирования:** SPH-моделирование, конечно-элементный анализ (FEA) для низкоскоростного удара (LVI), CAI-испытания и прогнозирование, моделирование в	Проведен численный анализ поведения титановых пластин многослойной структуры на основе волоконно-металлических ламинатов (Fiber Metal Laminates, FML) при испытаниях сжатия после ударного воздействия (CAI). Рассмотрены режимы низкоскоростного удара (LVI) и последующего сжатия после удара (CAI). Модель верифицирована путем сопоставления расчетных механических характеристик с экспериментальными данными. Предложена методика прогнозирования баллистических пределов и поведения сжатии после удара (CAI).

Год	Название статьи	Направление и методы исследования	Ключевые результаты
		ABAQUS (2023, Dassault Systèmes) с использованием компилятора Fortran (Intel oneAPI).	
2025	Low-velocity impact (LVI) and compression after impact (CAI) of Double-Double composite laminate / Поведение композитных ламинатов типа «Double-Double» при низкоскоростном ударе (LVI) и сжатии после удара (CAI) [537].	**Направление исследования:** Поведение композитных ламинатов типа Double-Double (DD) при низкоскоростном ударе (LVI) и последующем сжатии после удара (CAI), сравнение с четырехосными ламинатами. **Методы моделирования:** Конечно-элементное моделирование (МКЭ/FEM) в Abaqus. Моделирование LVI и CAI. Перенос поля повреждений между стадиями с использованием Python-скрипта. Пользовательская подпрограмма материала VUMAT. Моделирование механизмов разрушения (разрыв волокон, расщепление, изгиб, вырывание, сжатие, растрескивание матрицы). Модифицированная модель, основанная на подходах Мартина-Сантоса и др. [538] и Ривалланта и др. [539]. Адаптация моделей для обеспечения согласованности с критериями LaRC05.	Разработана вычислительная процедура для определения эквивалентных DD-ламинатов и оценки условий гомогенизации. Проведен анализ роли деламинаций и межслойных интерфейсов после ударного воздействия. Выполнено сравнение устойчивости к ударным повреждениям четырехосных ламинатов и эквивалентных DD-структур. Показано, что ламинаты типа DD могут быть использованы в качестве замены четырехосных ламинатов без снижения устойчивости к ударным повреждениям при сохранении конструктивных преимуществ.
2025	Impact-induced damage mechanisms in PPS-based laminates: experimental characterization and ANN prediction of residual mechanical	**Направление исследования:** Поведение и устойчивости композитных ламинатов на основе полифенилен-сульфида (PPS) при ударных	Разработан интегрированный экспериментальный подход с использованием искусственных нейронных сетей для прогнозирования повреждений от удара в композиционном

Год	Название статьи	Направление и методы исследования	Ключевые результаты
	properties / Механизмы повреждений при ударном воздействии в ламинатах на основе полифенилен-сульфида (PPS): экспери-ментальное исследование и прогнозирование оста-точных механических свойств на основе нейронных сетей [540].	воздействиях. Оценка остаточной прочности после удара. Анализ влия-ния схемы укладки матери-ала на устойчивость к по-вреждениям. Анализ влия-ния параметров искусствен-ной нейронной сети на ре-зультаты прогнозирования. **Методы моделирования:** Конечно-элементное моделирование (МКЭ/FEM); экспериментальные LVI-тесты. Разработана искусственная нейронная сеть прямого распростране-ния (ANN), которая использует энергию удара и схему укладки слоев в качестве входных данных для прогнозирования остаточных механических свойств. Для моделирования реакции на баллистический удар была реализована архитектура многослойного перцептрона прямого распространения, основанная на теореме Цибенко о достаточности сети с одним скрытым слоем. Процедура оптимизации была реализована в MATLAB.	материале на основе углерод-ного волокна и полифенилен-сульфида (PPS). В рамках подхода выполнена оптимизация последовательности укладки слоев в сочетании с моделирова-нием на основе искусственной нейронной сети прямого распространения, что позволило сформировать высокоточный инструмент прогнозирования остаточных механических свойств. Оптимизированная сеть (17 нейронов) обеспечила среднюю ошибку менее 0,9% при прогнозировании остаточных характеристик, что подтверждено экспериментально при энергии удара 20 Дж. Показано, что предложенный подход обеспечивает корректное описание устойчивости термопластичных композицион-ных материалов к ударным повреждениям и формирует эффективную вычислительную основу для быстрой оценки остаточной прочности, что расширяет возможности их применения в задачах проектирования и анализа композиционных материалов в аэрокосмической отрасли.
2025	Failure analysis of com-pression-after-impact of CFF/PEEK thermoplastic composites subjected to double-position impact based on DIC and Micro-CT techniques. Анализ разрушения термо-пластичных	**Направление исследования:** Исследование поведения термопластичных композитов CFF/PEEK при сжатии после ударного воздействия (CAI) в условиях двухпозиционного низкоскоростного удара (LVI); анализ влияния	Проведен анализ влияния энергии удара и расстояния между точками удара на развитие повреждений и морфологию разрушения при CAI. Показано, что остаточная прочность при сжатии после удара в основном определяется энергией удара и существенно

Год	Название статьи	Направление и методы исследования	Ключевые результаты
	композиционных материалов CFF/PEEK при сжатии после ударного воздействия в двухпозиционном нагружении на основе методов цифровой корреляции изображений (DIC) и микрокомпьютерной томографии (Micro-CT) [541].	параметров ударного воздействия на механический отклик и характер разрушения. **Методы моделирования:** Экспериментальные исследования CAI; методы цифровой корреляции изображений (DIC); микрокомпьютерная томография (Micro-CT); анализ морфологии разрушения и полей деформаций при сжатии после удара.	снижается с ее увеличением, тогда как влияние расстояния между ударами менее выражено. Установлено, что локальная устойчивость и жесткость CAI чувствительны к параметрам ударного воздействия. При низких энергиях удара наблюдается непрерывное расслоение и преобладание сдвигового разрушения, тогда как при высоких энергиях формируется сегментированное расслоение с сочетанием сдвигового разрушения и деламинации.
2025	On Low-Velocity Impact Response and Compression after Impact of Hybrid Woven Composite Laminates, / О реакции гибридных тканых композиционных ламинатов на низкоскоростной удар и сжатие после удара [542].	**Направление исследования:** Исследование поведения гибридных тканых композитных ламинатов из углеродного волокна и арамида при низкоскоростном ударе (LVI) и последующем сжатии после удара (CAI); оценка влияния энергии удара на развитие повреждений и остаточную прочность. **Методы моделирования:** Экспериментальные испытания низкоскоростного удара (LVI) и сжатия после удара (CAI) на гибридных углеродно-арамидных ламинатах.	Установлено, что повторные ударные воздействия приводят к накоплению повреждений и снижению жесткости конструкции. Показано существенное влияние энергии удара на характер и степень повреждений: при низких энергиях наблюдаются преимущественно поверхностные повреждения, тогда как при увеличении энергии формируется глубокое разрушение структуры. Выявлена нелинейная зависимость между энергией удара и масштабом повреждений. Гибридные ламинаты демонстрируют различную зависимость «нагрузка–перемещение» при различных уровнях энергии удара. Энергопоглощение связано с деформационными свойствами материала и его структурной конфигурацией.
2024	Testing Structural Elements under Multiaxial Loading: A Numerical Model of the Bench to Understand and Predict Complex Boundary	**Направление исследования:** Исследование поведения конструктивных элементов при многоосном нагружении;	Выполнено численное моделирование испытательного стенда VERTEX. Реализована предсказательная передаточная функция, позволяющая

Год	Название статьи	Направление и методы исследования	Ключевые результаты
	Conditions / Испытание конструктивных элементов под многоосной нагрузкой: численная модель стенда для понимания и прогнозирования сложных граничных условий [543].	разработка численной модели испытательного стенда VERTEX для анализа и воспроизведения сложных граничных условий. **Методы моделирования:** Конечно-элементное моделирование (МКЭ/FEM) в Abaqus; явная схема интегрирования; моделирование испытательного стенда VERTEX; использование псевдообъемных толстостенных элементов (Abaqus SC8R); моделирование упругих свойств композиционного материала; использование вычислительных ресурсов CALMIP и инфраструктуры Airbus.	определять форму и амплитуду граничных условий на основе заданных смещений приводов стенда. Проведено сопоставление результатов численного моделирования с экспериментальными данными и моделированием при идеализированных граничных условиях. Показана возможность использования модели для цифровых испытаний и оценки специфики формирования нагрузки в стенде.
2024	Experimental and numerical investigation on the compression after high-velocity impact behavior of composite laminates / Экспериментальное и численное исследование поведения композитных ламинатов при сжатии после высокоскоростного удара [544].	**Направление исследования:** Исследование поведения композитных углепластиковых ламинатов при сжатии после высокоскоростного удара (HVI); сравнительный анализ механизмов повреждения при высокоскоростном (HVI) и низкоскоростном (LVI) ударе. **Методы моделирования:** Экспериментальные испытания высокоскоростного удара (HVI) на углепластиковых ламинатах; конечно-элементное моделирование МКЭ/FEM); моделирование когезионного поведения на основе поверхностных характеристик (cohesive zone modelling).	Показаны различия механизмов повреждения при высокоскоростном (HVI) и низкоскоростном (LVI) ударе. Выделены три основных типа отклика: отскок, вдавливание и проникновение. Проведен анализ поведения поврежденных ламинатов при последующем сжатии на основе экспериментальных и численных данных. Верифицированы численные модели, основанные на анализе методом конечных элементов с учетом поглощенной энергии и параметров остаточной вмятины после удара.

Год	Название статьи	Направление и методы исследования	Ключевые результаты
2024	Study on Low-Velocity Impact and Residual Compressive Mechanical Properties of Carbon Fiber–Epoxy Resin Composites / Исследование низкоскоростного ударного воздействия и остаточных механических свойств при сжатии композиционных материалов из углеродного волокна и эпоксидной смолы [545].	**Направление исследования:** Исследование поведения углепластиковых композитов CF/EP при низкоскоростном ударе (LVI) и последующем сжатии после удара (CAI); оценка остаточной прочности и влияния энергии удара на повреждаемость. **Методы моделирования:** Экспериментальные испытания низкоскоростного удара (LVI) с использованием падающего груза и последующие испытания сжатия после удара (CAI); промышленная компьютерная томография (CT) для анализа повреждений и морфологии разрушения.	Установлено, что ударные повреждения существенно снижают остаточную прочность на сжатие композиционных материалов из углеродного волокна и эпоксидной смолы, при этом снижение усиливается с ростом энергии удара. Определено критическое значение энергии 45 Дж: при меньших значениях наблюдается локальное разрушение торцевых зон, при превышении – развивается межслойное расслоение (LDM), распространяющееся от центральной зоны к краям образца, сопровождающееся резким снижением остаточной прочности.
2024	Residual Strength Evaluation of Multi-site Damage Structures with Irregular Cracks / Оценка остаточной прочности конструкций с многоточечными повреждениями и нерегулярными трещинами [546].	**Направление исследования:** Оценка остаточной прочности конструкций с многоточечными повреждениями (MSD), включающими нерегулярные трещины различных типов: неколлинеарные трещины, наклонные трещины и трещины, инициированные вблизи краев отверстий. **Методы моделирования:** Конечно-элементный расчет эффективных упругопластических характеристик конструкций; численный анализ напряженно-деформированного состояния конструкций с многоточечными повреждениями.	Установлено, что разработанная конечно-элементная модель обеспечивает согласование с экспериментальными данными по оценке остаточной прочности конструкций с многоточечными повреждениями. Максимальное расхождение между расчетными и экспериментальными результатами не превышает 5,53%.

Год	Название статьи	Направление и методы исследования	Ключевые результаты
2024	Methodology of residual strength prediction of composite structures with low-velocity impact damage based on NDT inspections and numerical-experimental CAI testing / Методология прогнозирования остаточной прочности композитных конструкций с повреждениями от низкоскоростного удара на основе неразрушающего контроля и численно-экспериментального тестирования CAI [547].	**Направление исследования:** Разработка методологии прогнозирования остаточной прочности композитных конструкций с повреждениями от низкоскоростного удара (BVID); оценка остаточной прочности CF/EP конструкций на основе данных неразрушающего контроля и CAI-испытаний. **Методы моделирования:** Неразрушающий контроль (ультразвуковой контроль и рентгеновская компьютерная томография); численно-экспериментальные CAI-испытания; конечно-элементное моделирование (МКЭ/FEM) в LS-DYNA; алгоритмы обработки изображений в MATLAB.	Разработана методология прогнозирования остаточной прочности композитных конструкций на основе данных неразрушающего контроля и численного моделирования. Показано, что использование результатов НК позволяет оценивать остаточную прочность после ударного повреждения. Установлено, что расчеты методом конечных элементов обеспечивают отклонение результатов для стеклопластиковых образцов порядка 24% по сравнению с экспериментом, тогда как для углепластиковых материалов расхождение составляет около 3,5%, что свидетельствует о высокой предсказательной способности модели для CF/EP систем.
2024	Calculation of low-speed impact on the composite orthotropic plate by the end of a rigid cylinder / Расчет низкоскоростного удара торцом жесткого цилиндра по композитной ортотропной пластине [548].	**Направление исследования:** Исследование низкоскоростного ударного воздействия массивных затупленных тел (столкновение птиц с летательными аппаратами, воздействие града и др.) на ортотропные композитные пластины. **Методы моделирования:** Разработка механической и численной модели ударного взаимодействия жесткого тела с тонкостенной ортотропной пластиной переменной толщины; численное моделирование нестационарного	Разработана методика расчета упругих деформаций ортотропных пластин переменной толщины при низкоскоростном ударе затупленным жестким телом. Показано, что удар стального цилиндра радиусом 250 мм с энергией 25 кДж не приводит к разрушению стеклопластиковой пластины толщиной 30 мм. Максимальный прогиб превышает четыре толщины пластины, что подтверждает необходимость учета деформаций срединной поверхности при моделировании.

Год	Название статьи	Направление и методы исследования	Ключевые результаты
		деформирования упругой композитной конструкции.	
2023	Impact Damage Influence Investigations on the Composite Skin-Stringer Joint Fatigue Characteristics Under Conditions of Vibroacoustic Loading / Исследование влияния ударных повреждений на усталостные характеристики композитного соединения «обшивка–стрингер» в условиях виброакустического нагружения [549].	**Направление исследования:** Исследование влияния ударных повреждений на усталостное поведение композитных соединений типа «обшивка–стрингер» при виброакустическом нагружении; анализ деградации усталостных характеристик при наличии и отсутствии исходных дефектов. **Методы моделирования:** Экспериментальные испытания композитных Т-образных соединений (skin–stringer joints) из ПКМ; виброакустическое нагружение с широким спектром частот; анализ повреждений и усталостного отклика на основе экспериментальных данных.	Установлено существенное влияние ударных повреждений на усталостные характеристики соединений при различных уровнях энергии удара и виброакустической нагрузки. Определены механизмы зарождения и развития повреждений, а также характер разрушения для дефектных и бездефектных образцов. Выявлены закономерности деградации усталостной прочности, которые могут быть использованы при разработке вычислительных моделей прогнозирования развития повреждений в композитных конструкциях при виброакустическом нагружении.
2020	Damage tolerance-based methodology for fatigue lifetime estimation of a structural component produced by material extrusion-based additive manufacturing / Методология оценки срока службы конструктивного элемента, изготовленного методом экструзии материалов, на основе допустимых повреждений [550].	**Направление исследования:** Разработка методологии оценки усталостной долговечности конструктивных элементов, изготовленных методом экструзионной аддитивной технологии, с учетом допустимого уровня повреждений; прогноз остаточной прочности и ресурса. **Методы моделирования:** Конечно-элементное моделирование (FEM) на	Предложена промежуточная модель оценки остаточной прочности и усталостного ресурса аддитивно изготовленных компонентов. Показано, что на основе данных неразрушающего контроля и анализа разрушений, возможно, определение допустимого размера дефектов, спектра эксплуатационных нагрузок и остаточной долговечности. Результаты позволяют оптимизировать параметры 3D-печати с учетом требуемой усталостной стойкости и обеспечивают

Год	Название статьи	Направление и методы исследования	Ключевые результаты
		основе экспериментально заданных граничных условий; анализ поверхностей разрушения; неразрушающий контроль (NDT); численно-экспериментальный подход с учетом CAI оценки повреждений.	достаточно высокую точность прогнозирования срока службы конструктивного элемента.
		В России	
2025	Цифровая платформа по разработке и применению цифровых двойников «Digital Twins» CML-Bench®. Часть 7: разработка и применение цифровых двойников композиционных материалов [532].	**Направление исследования:** Ключевые особенности подхода к разработке цифровых двойников композиционных материалов на цифровой платформе CML-Bench®. **Методы моделирования:** Цифровые (виртуальные) испытательные стенды (ВИС) и полигоны (ВИП) композиционных материалов. Модель ползучести материала для компьютерной реализации в LS-DYNA разработана в совокупности с аналитическим модулем расчета свойств вязкоупругого поведения и реализует деградацию свойств по всем направлениям с течением времени в зависимости от уровня нагрузки.	Описан подход к формированию однозначной и гибкой архитектуры Цифрового (виртуального) испытательного полигона (ВИП) и стенда (ВИС) композиционных материалов, описывающая последовательность решения задач верификации и валидации моделей, эволюцию отдельных математических и компьютерных моделей, а также процессы формирования единой цифровой модели материала. Результаты валидации принципиально новой модели материала получены по открытым экспериментальным данным, приведенным для углепластиков, где представлены статические диаграммы деформирования плоских стандартных образцов и кривые ползучести таких же образцов при разном уровне нагружения.
2025	Приближенный метод оценки остаточной прочности композитных тонкостенных элементов конструкции ПА при	**Направление исследования:** Разработка упрощенных расчетных моделей, применяемых для оценки	Рассмотрены упрощенные расчетные модели для оценки остаточной прочности композитных пластин при наличии ударных повреждений.

Год	Название статьи	Направление и методы исследования	Ключевые результаты
	наличии низкоскоростного ударного повреждения [551].	остаточной прочности композитных пластин с ударным повреждением. **Методы моделирования:** В данной работе выбран подход к моделированию дефектной зоны в пластине из ПКМ с помощью участка с уменьшенными упругими характеристиками. Расчет плосконапряженного состояния ортотропной прямоугольной пластины с дефектом выполнен с помощью метода конечных элементов. Для моделирования композитного образца использованы четырехузловые конечные элементы с двумя степенями свободы в каждом узле. Построение сетки и вычисление матриц жесткости выполняются с помощью функций, реализованных на языке Matlab.	Отмечены их основные преимущества и недостатки. Предложена модель деградации упругих свойств в области ударного повреждения. Проведены численные расчеты и подбор параметров модели на основе экспериментальных данных. Показано, что рассмотренная эмпирическая зависимость коэффициента деградации свойств от приведенного размера дефекта позволяет уменьшить требуемый объем экспериментальных данных.
2024	Остаточная прочность и усталостная долговечность слоистого полимерного композита в условиях сжатия после удара [552].	**Направление исследования:** Методики испытаний слоистых композиционных материалов при помощи проведения предварительного низкоскоростного удара падающим грузом с последующим циклическим сжатием. **Методы моделирования:** Проведены серии испытаний на удар падающим грузом в широком диапазоне энергии с последующим квазистатическим и циклическим сжатием поврежденных	Получены опытные зависимости остаточной статической прочности и усталостной долговечности от энергии предварительного динамического воздействия. Выявлено пороговое значение энергии предварительного удара падающим грузом, ниже которого предварительное динамическое воздействие не оказывает влияния на остаточные механические характеристики. На основе ранее разработанных моделей и их модификаций проведена аппроксимация экспериментальных данных об остаточных

Год	Название статьи	Направление и методы исследования	Ключевые результаты
		слоистых стеклопластиковых пластин. Кинетика процесса разрушения при квазистатическом сжатии проанализирована на основе данных, полученных с применением бесконтактной оптической видеосистемы VIC-3D и метода корреляции цифровых изображений.	свойствах композита. Отмечена высокая описательная способность предложенных моделей.
2024	«Химический» критерий для моделирования усталостной долговечности материалов, разносопротивляющихся растяжению-сжатию [553].	**Направление исследования:** Разработка универсального критерия длительной усталостной прочности изотропных материалов. **Методы моделирования:** Развитие «химического» критерия усталостной прочности осуществлено за счет раздельного учета накопления повреждений в области растяжения и сжатия для изотропных материалов, у которых накопление повреждений существенно отличается при нагружении в области растяжения и сжатия.	Разработана методика определения констант предложенной модели усталостной долговечности. Показано, как строятся диаграммы Гудмана для разработанного варианта критерия усталостной долговечности. Рассмотрен пример применения «химического» критерия для моделирования усталостной долговечности стали 34CrNiMo6.

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

Необходимо отметить, что значительная часть исследований в данной области не является открытой и в рамках настоящего обзора не рассматривается, особенно это относится к работам профильных научных организаций, таких как Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» – государственный научный центр Российской Федерации в области материаловедения (ВИАМ), ФАУ «Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н. Е. Жуковского» (ЦАГИ) и других специализированных центров.

Анализ современных отечественных и зарубежных исследований в области ударного воздействия на композитные конструкции изделий, включая БВС, показывает существенное развитие научно-

методической базы. В период 2023–2025 гг. характерной тенденцией является интеграция экспериментальных методов оценки ударной прочности и остаточной несущей способности с численным моделированием, основанным на методе конечных элементов (FEM), современных критериях разрушения и методах машинного обучения.

Численное моделирование ударных процессов в основном реализуются в программных комплексах ANSYS, ABAQUS и LS-DYNA и обеспечивает детальное описание напряженно-деформированного состояния при ударе, включая локальные зоны концентрации напряжений. Особую значимость имеет проблема скрытых повреждений (Barely Visible Impact Damage, BVID), которые не фиксируются визуально, но существенно снижают несущую способность конструкции. Для выявления скрытых повреждений широко применяются методы неразрушающего контроля. После ударного воздействия проводится анализ остаточной прочности (Residual Strength Analysis), позволяющий определить допустимую эксплуатационную нагрузку и возможность дальнейшей безопасной эксплуатации. Установлено, что остаточная прочность композитных элементов после удара может снижаться на 20–50%, что критично для конструкций БВС, работающих в условиях переменных эксплуатационных нагрузок.

Для описания процессов разрушения применяются критерии Hashin–Puck, а также модели когезионной зоны (Cohesive Zone Model, CZM). Модель когезионной зоны (CZM) наиболее эффективно описывает процессы деламинации как ключевой механизм разрушения слоистых композиционных материалов и требует обязательной экспериментальной валидации.

Зарубежные исследования также демонстрируют высокую эффективность применения модифицированных критериев разрушения (например, Hashin–Puck) для прогнозирования повреждений композитных ламинатов при низко- и высокоскоростных ударных воздействиях. При этом учитываются смешанные механизмы разрушения волокон и матрицы, межслойная деламинация и динамические эффекты, характерные для высокоэнергетических ударов.

Особое внимание уделяется анализу остаточной прочности после ударного воздействия (Compression After Impact, CAI), при котором применяется последовательное моделирование этапов **«удар → накопление повреждений → последующее статическое нагружение»**. Такой подход позволяет получить более реалистичную оценку несущей способности композитных и гибридных конструкций БВС.

Локальные ударные повреждения способны существенно снижать несущую способность тонкостенных конструкций БВС. При этом слоистые ламинаты демонстрируют различную степень деградации: в ряде случаев сохраняется значительная остаточная прочность за счет перераспределения внутренних силовых факторов, тогда как композитно-металлические конструкции дополнительно повышают устойчивость благодаря пластической деформации металлических слоев.

Для валидации численных моделей применяются методы неразрушающего контроля (NDT), цифровой корреляции изображений (DIC) и микрокомпьютерной томографии (Micro-CT), обеспечивающие детальное восстановление характера повреждений и их развития и повышающие достоверность расчетных моделей при исследовании тонкостенных конструкций БВС, подверженных воздействию града, осколков и ударов высокой энергии.

Отдельным направлением является применение методов машинного обучения, включая нейронные

сети прямого распространения, применяемые для прогнозирования остаточной прочности композиционных материалов. Современные исследования показывают, что такие модели позволяют эффективно использовать экспериментальные данные для построения цифровых моделей материалов и конструкций и прогнозирования их поведения в эксплуатационных условиях.

Методы XFEM и SPH применяются для моделирования распространения трещин, деламинации и ударов высокой энергии, включая задачи пробития и фрагментации.

Анализ ударных воздействий на конструкцию показывает, что наличие повреждений приводит к снижению жесткости и, как следствие, к изменению собственных частот и форм колебаний. Это открывает возможность использования методов вибрационной диагностики для выявления повреждений в конструкциях БВС в процессе эксплуатации. Однако такие методы не позволяют напрямую оценить уровень напряжений и требуют совместного применения с численными моделями.

Перспективным направлением является развитие концепции цифровых двойников изделий. Данный подход предполагает интеграцию численных моделей, экспериментальных данных и информации, получаемой в процессе эксплуатации, что позволяет осуществлять прогноз остаточного ресурса конструкции с учетом накопленных повреждений, включая ударные. Однако подход требует значительных вычислительных ресурсов и развитой инфраструктуры сбора данных.

Таким образом, наиболее обоснованным и практически применимым подходом к моделированию ударного воздействия на композитные и гибридные конструкции БВС является комплексная методика, включающая:

- конечно-элементное моделирование ударных воздействий (ABAQUS Explicit, LS-DYNA);
- использование современных критериев разрушения (Hashin, CZM и других);
- последующий анализ остаточной прочности конструкции;
- при необходимости – вероятностную оценку надежности.

Специализированное программное обеспечение и платформенные решения для цифрового моделирования

Применение платформенных решений, объединяющих различные классы ПО, позволяет существенно ускорить процесс разработки – от уровня материала до готового изделия. Данные системы предназначены для интеграции и согласования входных и выходных данных программ препроцессинга, систем конечно-элементного анализа и программ обработки результатов вычислений (постпроцессинга), что повышает степень автоматизации и обеспечивает прослеживаемость цифровых (виртуальных) испытаний, совершенствуя процессы математического и компьютерного моделирования.

По результатам опроса, проведенного в 2026 году, Инфраструктурным центром «Технет», респонденты отметили преимущественное использование CAD-, CAE-, CAM-систем в жизненном цикле БВС и их компонентов. Категория ответа «Другое» включала ERP-, CAPP-, IETM -системы, а также специализированные модули для загрузки 3D-моделей на печать. Отдельное внимание респондентами уделено ПО на этапе утилизации БВС и компонентов. Вопрос подразумевал множественный ответ, подробная структура ответов представлена на рисунке 89.

Рисунок 89. Структура ответов об используемых классах ПО в жизненном цикле БВС и их компонентов (разработка, производство, эксплуатация), %



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по результатам опроса, 2026

Респонденты используют в большинстве случаев лицензионное ПО, но также разрабатывают собственные системы и встраиваемые модули. Применяемое ПО охватывает весь жизненный цикл БВС – от проектирования и производства до эксплуатации и обслуживания. Респонденты используют различные типы ПО:

- коммуникационное для обмена данными с внешними и внутренними устройствами;
- целевое – программы для работы с поточной фото и видеоинформацией;
- специализированное – программы для точечных рабочих задач и образовательное – обучающие программы, тренажеры, системы тестирования.
- прикладное.

Среди прикладного ПО респонденты отметили использование следующих систем:

- CAE – зарубежные решения COMSOL, Ansys, Ansys Mechanical, SolidWorks Simulation, Simcenter 3D, Fibersim, solidThinking Inspire, Fluent, Matlab, Nastran, Siemens NX, российское решение CADFlo;
- CAD – зарубежные решения AutoCAD, SolidWorks, Altium Designer, Fibersim, KISSsoft, Siemens NX; CAM – SolidCam, Fusion 360, Siemens NX, Vericut, ZW3D, российское решение КОМПАС-3D;
- ПО для подготовки загрузки 3D – моделей на печать – зарубежные решения OrcaSlicer, ChituBox;
- SPDM – зарубежное решение Ansys (Ansys Minerva и Ansys EKM);
- PLM/PDM – зарубежное решение Teamcenter PLM, российский программный комплекс T-FLEX PLM;
- CAPP – зарубежные решения Search, Techcard; IETM – российские решения Cortona3D, TGbuilder.

Также компании-респонденты используют ПО для программирования, а именно зарубежные решения Visual Studio Code, Jupyter Notebook; системы управления БАС – зарубежные решения Betaflight Configurator, Mission Planner, UgCS, QGroundControl, TunerStudio MS и российское решение SimInTech 64; системы планирования маршрутов – зарубежные решения DroneDeploy, OpenDroneMap, SAR platform; системы обработки данных – российское решение Agisoft Metashape.

Стоит отметить, что для работы с композиционными материалами существует ряд специализированных решений как на мировом, так и на российском рынке. Разработчики продолжают расширение функциональных возможностей своих цифровых платформ, включая поддержку различных методов моделирования (Finite Element Analysis, FEA; Computational Fluid Dynamics, CFD; Discrete Element Method, DEM и т. д.). В таблице 21 рассмотрены некоторые ключевые решения и проведено сравнение основных инструментов и сред моделирования ударного воздействия на композитные конструкции БВС с акцентом на реализуемые методы, функциональные возможности и применимость для задач динамической ударопрочности и устойчивости к повреждениям (dynamic impact и damage tolerance, в т.ч. остаточная прочность, расслоения, CAI и др.).

Таблица 21. Сравнение основных инструментов моделирования ударных воздействий и оценки остаточной прочности композитных конструкций в мире

Область моделирования, параметры	ПО						
	LS-DYNA, США	Abaqus (Exp.и Std.), Франция / Япония	Ansys Autodyn, США	Altair Radioss/ HyperWorks, Германия / США	MSC Nastran и Patran, США	Digimat / e-Xstream, Бельгия / США	Simcenter (Siemens), Германия
Dynamic impact / Explicit solver	Хорошо	Хорошо	Хорошо	Хорошо	Ограниченно	Ограниченно	Средне
Low Velocity Impact (LVI)	Хорошо	Хорошо	Хорошо	Хорошо	Ограниченно	Ограниченно	Средне
High Velocity Impact (HVI)	Средне	Средне	Средне	Средне	Ограниченно	Слабо	Ограниченно
Progressive Damage / Failure Analysis	Хорошо	Хорошо	Хорошо	Хорошо	Средне	Отлично	Хорошо
Delamination (Cohesive Zone & Fracture)	Хорошо	Хорошо	Хорошо	Хорошо	Средне	Средне	Средне
Residual Strength / CAI	Хорошо	Хорошо	Средне	Хорошо	Хорошо	Средне	Средне
Multi-Physics (FSI, Thermal, etc.)	Средне	Хорошо	Средне	Средне	Средне	Хорошо	Отлично
Composite Material Models	Хорошо	Хорошо	Средне	Хорошо	Хорошо	Отлично	Хорошо

Область моделирования, параметры	ПО						
	LS-DYNA, США	Abaqus (Exp.и Std.), Франция / Япония	Ansys Autodyn, США	Altair Radioss/ Hyper-Works, Германия / США	MSC Nastran и Patran, США	Digimat / e-Xstream, Бельгия / США	Simcenter (Siemens), Германия
Multi-Scale / Homogenization	Слабо	Слабо	Слабо	Средне	Слабо	Отлично	Средне
Workflow / Pre- & Post-Processing	Хорошо	Хорошо	Средне	Хорошо	Средне	Хорошо	Хорошо
Автоматизация / Scripting	Хорошо	Хорошо	Средне	Хорошо	Средне	Хорошо	Хорошо
Интеграция с CAD/CAE	Хорошо	Хорошо	Средне	Хорошо	Средне	Хорошо	Отлично
Подходит для сертификационных задач (FAA/EASA)	Хорошо	Хорошо	Средне	Средне	Хорошо	Средне	Средне

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

Примечание к оценкам:

Отлично – основной инструмент/функция полностью подходит для моделирования данного аспекта, промышленный стандарт.
Хорошо – подходит для большинства задач, возможны ограниченные настройки.
Средне – функциональные возможности присутствуют, но могут требовать ручной доработки или дополнительных интеграций.
Ограниченно – возможно только для простых случаев, мало специализированных моделей.
Слабо – функциональность ограничена, не предназначено для комплексного моделирования в этой области.

В целях обеспечения более полной и корректной интерпретации результатов сравнительного анализа инструментов моделирования ударных воздействий и оценки остаточной прочности композитных конструкций, представленных в таблице 21, необходимо учитывать, что фактический уровень функциональных возможностей ПО определяется не только их базовыми характеристиками, но и динамикой их развития в рамках актуальных версий. В этой связи для выявления тенденций совершенствования расчетных методик, расширения поддерживаемых физических процессов и повышения точности численного моделирования целесообразно дополнительно проанализировать ключевые нововведения последних версий рассматриваемого ПО (таблица 22).

Таблица 22. Сведения об обновлениях функциональных возможностей зарубежных систем инженерного анализа, вошедших в релизы 2025-2026 гг.

№	Правообладатель	Дата релиза	Описание обновленных функциональных возможностей
1	Synopsys, Inc. / Ansys, Inc.	Январь 2026 г.	Программный продукт: Ansys LS-DYNA Версия: 2026 R1 [554] Улучшено моделирование аккумуляторов (battery modeling). Улучшена производительность S-ALE сеток. Улучшены возможности постпроцессинга (line charts) и др.
		Август 2025 г.	Программный продукт: Ansys Granta Materials Версия: 2025 R2 [555] Реализовано прямое назначение материалов в Ansys Mechanical с автоматическим формированием material cards, что снижает ошибки препроцессинга. Расширена поддержка структурированной S-ALE сетки для явного динамического анализа ударных процессов. Усилена интеграция с Ansys Mechanical и постпроцессинг сценариев высокоскоростного удара и разрушения.
		Январь 2025 г.	Программный продукт: Ansys Autodyn Версия: 2025 R1 [556] Реализованы модели повреждения ортотропных (orthotropic) композитов с учетом анизотропии материала и постповрежденного размягчения (softening). Расширены возможности моделирования хрупкого разрушения и постповрежденного поведения (brittle damage & softening) при высоко- и низкоскоростном ударе (HVI/LVI). Повышена устойчивость расчетных схем при развитии нелинейной деградации материала.
2	ESI Group / Oasys, Ltd.	Июнь 2025 г.	Программный продукт: Oasys Suite Версия: 22.0 [557] Реализована поддержка Isogeometric Analysis (IGA) для повышения точности геометрии и описания многослойных композитов при ударных нагрузках. Расширены инструменты автоматизации подготовки моделей и анализа контактных сценариев. Улучшены инструменты визуализации и workflow.
3	Dassault Systèmes	Июнь 2025 г.	Программный продукт: Abaqus Версия: 2025 [558] Расширены возможности контактного нелинейного анализа в Abaqus/Explicit и Abaqus/Standard, повышена устойчивость численного решения задач высокодинамического взаимодействия. Улучшена поддержка многошагового анализа для оценки остаточной прочности и CAI (Compression After Impact).

№	Правообладатель	Дата релиза	Описание обновленных функциональных возможностей
			Расширены возможности моделирования сложных сценариев разрушения композитных конструкций.
4	Altair Engineering	Сентябрь 2025 г.	Программный продукт: Altair HyperWorks / Radioss Версия: 2025 [559] Введена модель повреждений LARC05 для анализа деградации композиционных материалов. Расширена поддержка LS-DYNA форматов и Python-скриптинга. Обеспечена автоматизация параметрического моделирования разрушительных воздействий и др.
5	Hexagon / MSC Software	Май 2025 г.	Программный продукт: MSC Nastran Версия: 2025.1 [560] Расширена возможность высокопроизводительных вычислений (HPC) для задач структурной динамики. Реализовано улучшение обработки остаточных векторов (residual vector calculation) с использованием MUMPS-решателя. Обеспечена поддержка FASTFR для моделей с частотно-зависимыми свойствами, что повышает эффективность расчетов динамического отклика конструкций и др.
		Июнь 2025 г.	Программный продукт: MSC Patran Версия: 2025.1 [561] Расширена поддержка задач роторной динамики (rotordynamics capabilities) – Complex Eigenvalue Analysis и Frequency Response Analysis. Реализована поддержка SuperElement, обеспечивающего декомпозицию крупных расчетных моделей и их последующую сборку в рамках структурного анализа. Расширена поддержка карт MSC Nastran (MSC Nastran card support, включая monitor point и part-based modelling) Добавлена поддержка HDF5 (32/64-bit hybrid format). Расширен графический интерфейс (enhanced graphical interface).
		Ноябрь 2025 г.	Программный продукт: MSC Nastran Версия: 2025.2 [562] Улучшена производительность решателя в задачах нелинейной структурной динамики. Расширена поддержка интеграции с CAE-системами Hexagon. Актуализированы алгоритмы обработки расчетных данных и повышена стабильность решения для высоконагруженных конструкционных моделей и др.
		Декабрь	Программный продукт: MSC Patran

№	Правообладатель	Дата релиза	Описание обновленных функциональных возможностей
		2025 г.	Версия: 2025.2 [563] Расширена поддержка задач роторной динамики (rotordynamics capabilities) в рамках подготовки расчетных моделей вращающихся систем. Реализована поддержка MSC Nastran Monitor Sum cards для расширенного анализа и контроля результатов расчета. Расширена поддержка SuperElement, включая улучшение процедур импорта и обработки супэлементных структур. Расширены возможности работы с композитными моделями (composite-related capabilities) на этапе препроцессинга. Усилена интеграция с MSC Nastran workflow, включая согласование входных и выходных расчетных данных.
6	Hexagon / e-Xstream	Апрель 2026 г.	Программный продукт: Digimat Версия: 2026.1 [564] Расширены рабочие процессы многомасштабного моделирования композиционных материалов с обеспечением связи микро- и макроуровня описания поведения материала. Реализованы расширенные процедуры учета неопределенности (uncertainty quantification), включая анализ влияния вариабельности свойств материалов и технологических параметров на структурный отклик. Расширены модели описания повреждения и разрушения материалов с учетом дефектности микроструктуры. Расширены возможности работы с библиотеками материальных моделей и их интеграции в CAE-цепочки расчета. Усилена интеграция Digimat с внешними конечно-элементными решателями.
7	Siemens Digital Industries Software	Февраль 2026 г.	Программный продукт: Simcenter 3D / STAR-CCM+ Версия: 2602 [565] Добавлены новые возможности многодисциплинарного моделирования (multiphysics workflows). Расширены инструменты сопряженного анализа поток–конструкция (CFD–structural coupling). Реализованы улучшения в численных алгоритмах устойчивости расчетов и масштабируемости решателя. Добавлены обновления пользовательского интерфейса и workflow-автоматизации для инженерных расчетов. Улучшена поддержка HPC-сред для параллельных вычислений.
		Январь 2026 г.	Программный продукт: Simcenter 3D / Nastran Версия: 2512 [566] Повышена производительность решателя для задач структурного анализа, ускорены расчеты линейных статических задач, повышена эффективность нелинейного анализа.

№	Правообладатель	Дата релиза	Описание обновленных функциональных возможностей
			Улучшено моделирование взаимодействия жидкости и структуры (Fluid-Structure Interaction, FSI) с повышением численной устойчивости. Расширена поддержка высокопроизводительных вычислений (HPC) и оптимизация алгоритмов факторизации матриц для задач структурной динамики и др.
		Сентябрь 2025 г.	Программный продукт: Simcenter 3D Версия: 2506 [567] Расширены возможности автоматизированного построения расчетных моделей. Улучшена генерация конечно-элементных сеток, включая повышение устойчивости и управляемости алгоритмов их построения. Усилена интеграция с решателем Simcenter Nastran. Расширена поддержка задач структурной динамики и контактного анализа.

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

По результатам анализа обновлений CAE-систем в 2025–2026 гг. фиксируется устойчивое развитие методов численного моделирования в области нелинейной динамики, включая явные и неявные схемы интегрирования, а также повышение устойчивости вычислительных процедур при решении задач высокодинамического нагружения. Ведущие программные комплексы (Ansys, Abaqus, Altair Radioss, Simcenter, MSC Nastran и др.) демонстрируют расширение функциональности моделей контактного взаимодействия, алгоритмов разрушения и описания поведения материалов при больших деформациях и сложных траекториях нагружения. Существенное развитие получают постановки задач ударного воздействия, включая высокоскоростные режимы деформирования, а таюке методы оценки остаточной прочности конструкций после повреждения. Одновременно расширяются подходы к описанию поведения материалов с учетом связи различных уровней их представления в расчетных моделях, что проявляется в развитии моделей повреждаемости, деградации свойств и учета накопления повреждений в процессе нагружения. Параллельно повышается вычислительная эффективность решателей за счет оптимизации методов решения систем линейных и нелинейных уравнений, повышения масштабируемости расчетных процедур и адаптации к современным HPC-архитектурам.

Отдельным направлением развития является формирование интегрированных CAE-систем, обеспечивающих согласованную работу этапов препроцессинга, численного моделирования и постпроцессинга в рамках единой расчетной среды. Отмечается расширение инструментов управления расчетными моделями, включая superelement-подход, развитие параметрического описания геометрии и повышение устойчивости сеточных алгоритмов построения расчетных моделей. Существенное внимание уделяется унификации обмена расчетными данными между различными системами посредством стандартизированных форматов и интерфейсов (HDF5, SCDS и др.), обеспечивающих согласованность передачи данных в расчетных цепочках. В совокупности указанные

тенденции отражают переход к интегрированным цифровым платформам инженерного анализа, обеспечивающим сквозное моделирование процессов деформирования и разрушения конструкций – от постановки задачи и описания материала до расчета поведения системы в условиях сложного нелинейного динамического воздействия, включая ударные нагрузки.

Для обеспечения последовательности и взаимосвязи отдельных моделей материала на различных уровнях с последующим развитием этих моделей и формированием полноценного цифрового двойника материала, способного интегрироваться с цифровым двойником изделия для решения глобальных задач достижения конкурентоспособности продукции (как материала, так и изделия), и, как следствие, технологического суверенитета и технологического лидерства страны, необходимы также системы класса SPDM. SPDM системы (Simulation Processes and Data Management, средства управления процессами и данными компьютерного моделирования) – программное обеспечение, предназначенное для эффективного управления конфигурацией данных моделирования, оптимизации процессов, осуществления совместной работы глобально распределенных команд, обеспечения прослеживаемости и принятия решения по оптимизации продукта, связывающее входные и выходные данные программ препроцессинга, систем конечно-элементного анализа и программ обработки результатов вычислений (постпроцессинга) [2].

Среди отечественных решений можно выделить:

- **Цифровая платформа по разработке и применению цифровых двойников CML-Bench®** [568] (ПИШ «Цифровой инжиниринг» СПбПУ) – российская SPDM-система. Представляет собой цифровую платформу по разработке и применению цифровых двойников высокотехнологичных изделий, материалов и физико-механических / технологических процессов, эксплуатационных режимов и специализированных бизнес-процессов; поддерживает моделирование многослойных композиционных материалов с прогрессирующим разрушением и остаточной прочностью (CAI, Compression After Impact). Методы оценки включают: проверку прочности конструкций с учетом повреждений, анализ полей напряжений и деформаций, прогностические модели развития расслоения (delamination) и растрескивания матрицы (matrix cracking) с использованием интегрированных решений Abaqus, LS-DYNA, Логос и др. CA-х систем для проведения анализа динамических ударных нагрузок.
  Платформа включена в Единый реестр отечественного программного обеспечения и баз данных (реестровая запись № 9110 от 16.02.2021 г. на основании приказа Минцифры Росси от 16.02.2021 г. № 84). С декабря 2026 года Цифровая платформа CML-Bench® в Реестре имеет официальный статус «средство управления процессами и данными компьютерного моделирования (SPDM)» (класс 08.14) по основному классу и «средство управления проектами» (класс 05.05) по дополнительному классу.
  Цифровая платформа CML-Bench® интегрирует более 225 программных систем и модулей, включая передовые CAD-, CAE-, CAO-, PDM- и PLM-решения. Среди интегрированных отечественных CAE-систем: FlowVision (ООО «Тесис»), CAE Fidesys (ООО «Фидесис»), Универсальный механизм (ООО «Вычислительная механика»), ELCUT 6.6 (ООО «Тор»), QForm (ООО «Кванторформ»), ЛОГОС (РФЯЦ-ВНИИЭФ) и др. Для решения задач импортозамещения в части управления жизненным циклом разработан модуль миграции данных из Siemens Teamcenter (PLM) на CML-Bench® [65].

В процессе реализации концепции проектирования для отрасли БАС на базе Цифровой платформы CML-Bench® и создания инженерами СПбПУ беспилотного летательного аппарата «Снегирь-1» платформа получила новый виток развития специализированной отраслевой архитектуры, создания новых программных модулей и дифференциации в соответствии со спецификой высокотехнологичной отрасли. На основе БПЛА «Снегирь-1» разработаны модификации с увеличенными взлетной массой и дальностью полета. БПЛА «Снегирь-1.5» создан в 2024 году для проведения летных испытаний, отработки системы управления, валидации и верификации расчетных моделей. В 2025 году разработан «Снегирь-2» – БВС, обладающее улучшенными характеристиками. В рамках ключевого научно-технологического направления программы развития СПбПУ «Системный цифровой инжиниринг» (КНТН-1) в Опытно-конструкторском бюро ПИШ СПбПУ «Цифровой инжиниринг» на базе Цифровой платформы CML-Bench® в 2025 году стартовала разработка опытного образца легкомоторного самолета CML-Aeroplane [569]. Первым этапом по созданию самолета CML-Aeroplane выступают работы по усовершенствованию самолета «МИКС-500», в рамках которого были разработаны математические и компьютерные модели самолета с применением цифровой платформы CML-Bench®, выполнена серия цифровых (виртуальных) испытаний по аэродинамике и прочности самолета Х-32 МИКС. На усовершенствованном самолете МИКС-500 (модифицированный Х-32 МИКС) в дисциплине «Микросамолет-1» команда ПИШ СПбПУ «Цифровой инжиниринг» победила в Чемпионате России по спорту сверхлегкой авиации в августе 2025 года на аэродроме «Середка» в Псковской области. В 2025-2026 гг. в рамках проекта запланирована разработка цифрового двойника самолета на базе цифровой платформы CML-Bench®, а также изготовление опытного образца. На основе созданного цифрового двойника в конструкцию самолета будут применены передовые цифровые и производственные технологии, передовые композиционные материалы и композитные структуры, уменьшен вес с сохранением жесткостных и прочностных характеристик, улучшены аэродинамические характеристики, изменена конструктивно-силовая схема самолета [569].

- **Логос** [570] (РФЯЦ ВНИИЭФ Госкорпорации Росатом) решает задачи механики деформируемого твердого тела, включая динамическую прочность, вибрации и анализ механики разрушения. Для оценки остаточной прочности используются методы линейного и нелинейного анализа напряжений, проверка на локальное и глобальное разрушение, а также прогнозирование прогрессирования повреждений в композитной конструкции.
- **САРУС+ Композиты** [571] (Национальная компьютерная корпорация, НКК) – комплексное решение для проектирования изделий из композиционных материалов. Позволяет моделировать слоистую структуру, учитывать массу и инерционные характеристики, готовить модели к FEA-анализу. Методы оценки остаточной прочности включают анализ прогрессирующего разрушения слоев, деламинации, CAI, а также прогнозирование влияния локальных повреждений на глобальную несущую способность конструкции. Позволяет строить модели, включающие рост повреждений.
- **Манипула (SMCM 4.0.)** [572] (МГТУ им. Н.Э. Баумана) – программный комплекс Manipula/SMCM 4.0 для конечно-элементного многомасштабного (микро-мезо-макро) моделирования композиционных материалов, композитных конструкций и технологий их изготовления, с пре- и пост-процессингом и возможностью моделирования на высокопроизводительных вычислительных системах. Применяется для исследования развития

повреждений в многослойных материалах, оценки влияния ударного воздействия на несущую способность конструкции. Программный комплекс имеет собственные генераторы сеток и поддерживает импорт сеток из внешних генераторов, в том числе из ПК ANSYS. Верификация: функциональные возможности Manipula/SMCM 4.0 подтверждены сравнительными расчетами, выполненными на ПО ПК ANSYS, которое входит в мировые лидеры в данном классе ПО.

Все перечисленные решения могут использоваться как самостоятельно для проведения расчетов, так и в комплексе с модулями Abaqus/Explicit, LS-DYNA, Radioss для моделирования динамических ударных процессов и построения процессов анализа прогрессирующего разрушения и оценки остаточной несущей способности композитных конструкций БВС.

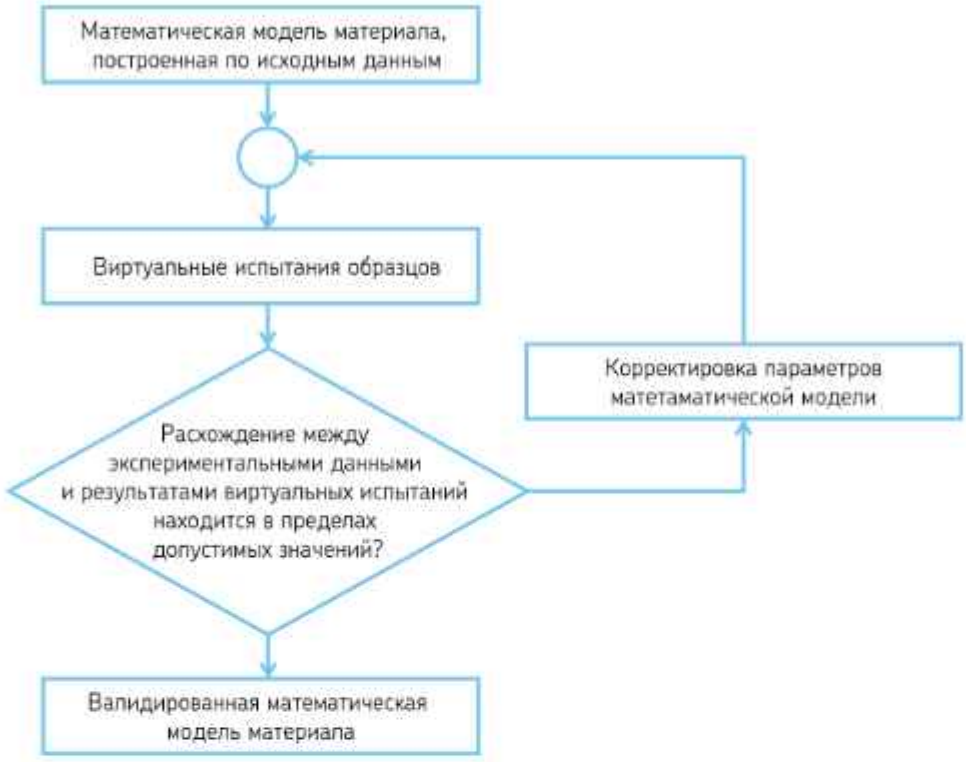
Методологической основой оценки остаточной прочности является **концепция Damage Tolerance**, детально изложенная в Composite Materials Handbook CMH-17 [573]. Данная концепция предполагает, что конструкция должна сохранять несущую способность при наличии эксплуатационно-обусловленных повреждений. Для БВС это особенно актуально ввиду малых запасов массы, ограниченной инспекционной доступности и эксплуатации в переменных климатических условиях. Цифровое моделирование остаточной прочности должно учитывать сценарий инициирования повреждения, деградацию механических характеристик, нелинейность и анизотропию материала, и вероятностную природу разрушения.

В программных МКЭ-пакетах осуществляется построение модели композитной конструкции и анализ ее прочности с использованием заданных критериев разрушения. Существуют также специализированные программные комплексы, ориентированные на постобработку и расширенный анализ уже построенных конечно-элементных моделей. В таких системах реализуется широкий набор критериев разрушения (десятки вариантов), что позволяет выбирать наиболее адекватную модель для конкретного материала и условий нагружения. Ряд исследований показывает удовлетворительное согласование результатов численного и экспериментального моделирования [574].

Механический отклик материала определяется на основе конечно-элементного анализа представительных элементов объема (ПЭО, Representative Volume Element, RVE) микроструктуры. Основные механизмы деформации и повреждения, наблюдаемые экспериментально, учитываются в моделировании посредством интерфейсных элементов (для описания расслоений) либо соответствующих конститутивных моделей, описывающих пластическую деформацию и разрушение матрицы и волокон. Данный подход позволяет прогнозировать зоны инициирования разрушения однонаправленных слоев композиционных материалов при различных условиях нагружения – как в плоскости слоя, так и вне ее [575]. Подходы вычислительной микромеханики также применяются для оценки сопротивления разрушению материала [576,577].

При валидации математической модели материала реализуется итеративный процесс, сопровождающийся большим числом цифровых испытаний. На Цифровой платформе по разработке и применению цифровых двойников CML-Bench® применяется инструмент «мультивариант», он позволяет единожды модифицировать параметры математической модели материала, загрузить ее в виртуальный испытательный полигон (ВИП), и затем, заменив предыдущую версию модели, повторно выполнить цифровые испытания сразу для всех доступных стандартов испытаний (схематично представлено на рисунке 90).

Рисунок 90. Итеративный процесс валидации математической модели материала



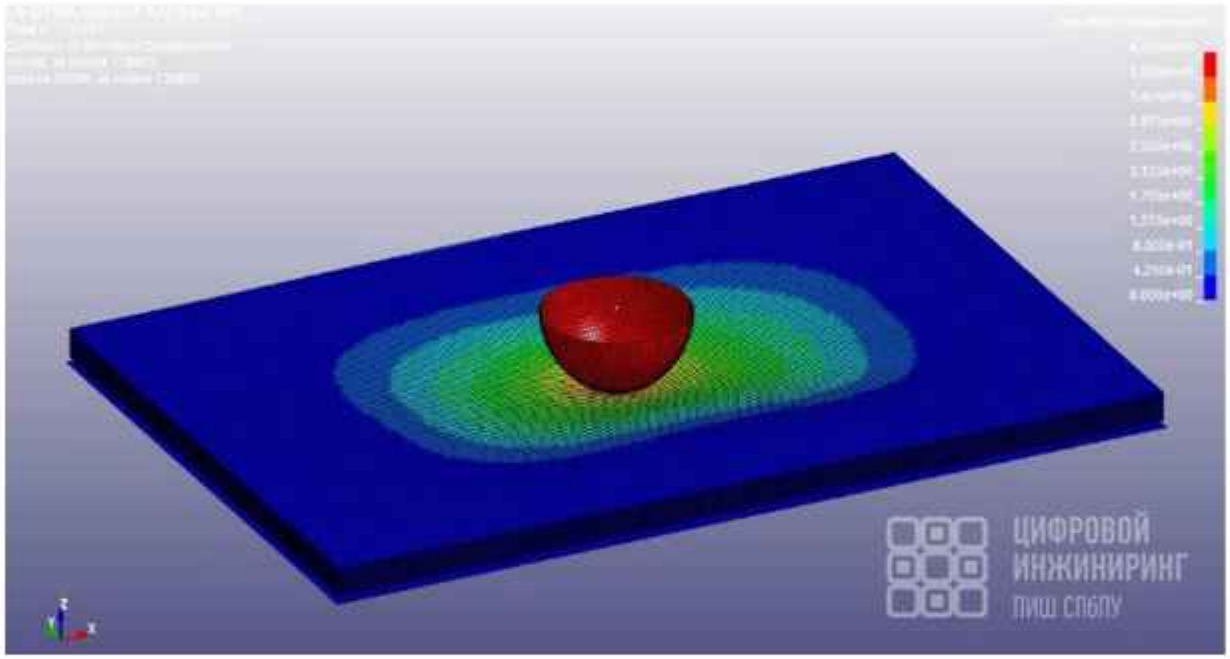
Источник: Инфраструктурный центр «Технет» СПбПУ по материалам ПИШ СПбПУ «Цифровой инжиниринг», 2026

Применение специализированного программного обеспечения и платформ позволяет разрабатывать цифровые (виртуальные) испытательные стенды и полигоны для изделий из композиционных материалов, в том числе с целью моделирования динамических ударных нагрузок и расчета остаточной прочности. Данные инструменты рассматриваются как базовый уровень перехода к концепции цифровых двойников. 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, позволяет связывать воедино свойства материала и особенности технологического процесса для разработки цифрового двойника композиционного материала и изделия для решения задач проектирования, производства и эксплуатации изделий.

Данные технологии активно развиваются в России. Так, 9 апреля 2026 года был представлен полный цикл разработки и производства композиционных материалов и конструкций для вертолетостроения, включая расчет, проектирование, выпуск и контроль качества [578]. На профильном отраслевом мероприятии было представлено обновление программного обеспечения «САРУС+ Композиты», которое обеспечивает сквозное проектирование и подготовку производства с передачей данных на отечественное производственное оборудование. Также были показаны эпоксидные препреги, сопоставимые по характеристикам с зарубежными аналогами, и примеры замены металлических деталей на композитные аналоги с целью снижения массы изделий.

В качестве примера практической реализации можно рассматривать ВИП для валидации математических моделей полимерных композиционных материалов, реализованный на базе отечественной цифровой платформы по разработке и применению цифровых двойников CML-Bench® (рисунок 91). В рамках данного ВИП реализован ВИС для разработки моделей материалов, в том числе полимерных, а также для проведения цифровых испытаний при решении задач остаточной прочности, моделирования остаточных свойств после конкретных воздействий и учета деградации свойств в зависимости от степени поврежденности. Он может комбинироваться со всеми моделями материалов в ВИП и обеспечивает связь между отдельными ВИС. Данный полигон позволяет автоматизировано обрабатывать результаты цифровых (виртуальных) испытаний элементарных образцов и проводить валидацию математических моделей материалов по результатам натурных испытаний.

Рисунок 91. Цифровой (виртуальный) испытательный полигон «Композиционные материалы» на цифровой платформе по разработке и применению цифровых двойников CML-Bench®



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» СПбПУ по материалам ПИШ СПбПУ «Цифровой инжиниринг», 2026

Для разработки аналитической методики построения поля поврежденности необходимы экспериментальные данные по предложенным материалам. Требования по ускоренному внедрению БВС могут быть обеспечены путем повышения достоверности получаемых в процессе проектирования результатов цифрового/компьютерного моделирования. Модельные задачи задаются в соответствии со стандартами испытаний элементарных образцов.

В нормативном контексте следует отметить, что в России с 1 января 2026 года введен в действие ГОСТ Р 57700.42-2023 «Численное моделирование полимерных композиционных материалов. Общие положения» [579]. Стандарт устанавливает требования к численному моделированию методом конечных элементов свойств и поведения композиционных материалов, включая 3D-моделирование полимерных композиционных материалов и их структурных элементов. Также

регламентированы определения для различных типов армирующих наполнителей (например, 2D-ткани, 3D-наполнители) и структурных элементов. Документ является частью системы стандартов численного моделирования физических процессов и материалов, направлен на унификацию подходов в индустрии композиционных материалов. Стандарт призван обеспечить достоверность численных экспериментов, позволяя прогнозировать поведение композиционных материалов без проведения многочисленных натурных испытаний.

Выводы и предложения

В рамках работ по развитию технологий были проведены аналитические исследования цифровых технологий обеспечения безопасной эксплуатации композитных и гибридных конструкций БВС, включая анализ подходов к численному моделированию динамических процессов ударного воздействия на композиционную конструкцию БВС и оценки несущей способности конструкции с учетом ударного повреждения.

В качестве перспективных направлений развития следует выделить интеграцию мультифизических моделей, развитие гибридных численных методов, а также внедрение технологий машинного обучения и цифровых двойников. Совместное применение указанных подходов направлено на повышение точности прогнозирования поведения композитных и гибридных конструкций БВС при ударных воздействиях и повышение их эксплуатационной надежности.

Были проанализированы обновления CAE-систем 2025-2026 гг., отмечено устойчивое развитие методов численного моделирования в области нелинейной динамики, включая явные и неявные схемы интегрирования, а также повышение устойчивости вычислительных процедур при решении задач высокодинамического нагружения. Ведущие программные комплексы (Ansys, Abaqus, Altair Radioss, Simcenter, MSC Nastran и др.) продемонстрировали расширение функциональности моделей контактного взаимодействия, алгоритмов разрушения и описания поведения материалов при больших деформациях и сложном напряженно-деформированном состоянии. Отечественные программные решения также развиваются в направлении расширения функциональности и повышения вычислительной устойчивости.

Ключевым фактором развития является формирование нормативно-методической базы, определяющей требования к разработке цифровых двойников материалов и изделий, а также верификации данных по уровню достоверности. Отдельное значение имеет стандартизация форматов обмена данными и развитие унифицированных цифровых платформ, обеспечивающих совместимость различных программных комплексов. Существуют существенные ограничения, связанные с совместимостью программного обеспечения различных разработчиков и версий систем моделирования. Используемые форматы данных затрудняют обмен и интеграцию информации, что требует формирования единых стандартов представления и передачи данных для обеспечения эффективного межплатформенного взаимодействия.

Для создания технологической основы цифрового проектирования и моделирования необходимо кооперационное взаимодействие научно-исследовательских организаций и индустриальных партнеров, направленное на развитие ключевых технологий и переход от традиционных инженерных подходов к новой парадигме, охватывающей полный жизненный цикл изделий – от разработки до эксплуатации и утилизации.

На ранних этапах жизненного цикла наблюдается дефицит эксплуатационных данных при наличии множества расчетных моделей, тогда как на стадии эксплуатации формируются значительные массивы данных при недостаточной связности с базовыми моделями. Совместное использование данных и цифровых моделей в рамках единого жизненного цикла изделий позволяет развивать интеллектуальные алгоритмы диагностики, прогнозирования и принятия решений. Формирование единой базы данных обеспечивает повышение эффективности применения цифровых технологий в инженерной практике.

Применение технологий цифрового проектирования и цифровых двойников к задачам эксплуатации и технического обслуживания БВС, включая идентификацию нагрузок, мониторинг повреждений и моделирование деградации свойств материалов, способствует цифровой трансформации процессов эксплуатации и технического обслуживания авиационной и ракетно-космической техники, включая беспилотные авиационные системы. Это обеспечивает безопасность полетов, рост эксплуатационной эффективности и снижение затрат на обслуживание.

Развитие данных технологий позволяет сократить объем натурных испытаний, снизить стоимость сертификации и ускорить разработку новых изделий. С развитием и становлением технологии системы «цифровой двойник изделия» – «цифровой двойник материала» возможна и новая веха развития технологии – «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.). В перспективе внедрение концепции «цифровой сертификации» с применением цифровых двойников позволит существенно сократить сроки вывода новых БВС на рынок, что обеспечит технологический суверенитет и технологическое лидерство страны.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Экспертно-аналитический доклад подготовлен Инфраструктурным центром «Технет» СПбПУ. В докладе представлены результаты опроса организаций-участников рынка НТИ и формируемого рынка БАС, проведенного при поддержке АНО «Платформа НТИ» с 11 марта по 6 мая 2026 года.

Проведенный анализ показал, что по состоянию на конец 2025 года рынок БВС и сегмент композиционных материалов сохраняют положительную динамику развития. Одновременно усиливается влияние технологических, регуляторных и экономических ограничений, определяющих дальнейшую траекторию развития отрасли. Продолжается внедрение цифровых технологий проектирования, моделирования и сопровождения эксплуатации БВС, включая технологии цифровых двойников.

В первой главе проведен анализ мирового и отечественного рынка БВС, включая его структуру и динамику на конец 2025 года. Показано сохранение роста и значительного потенциала развития рынков в средне- и долгосрочной перспективе. По результатам опроса Инфраструктурного центра «Технет» отрасль БАС в мире оценивается российскими участниками как находящаяся в фазе ускоренного роста. При этом рынок имеет выраженную сегментацию: более высокая динамика характерна для сегмента специального назначения, тогда как гражданский сегмент развивается более умеренно.

В рамках анализа цифровых технологий обеспечения эксплуатации композитных и гибридных конструкций БВС выделены российские компании, в портфеле которых представлены решения для моделирования и анализа композиционных материалов и изделий на их основе. Определены наиболее перспективные сферы применения БАС до 2030 года, включая мониторинг промышленной и транспортной инфраструктуры, лесопользование и лесные пожары, сельское хозяйство, а также поисково-спасательные операции.

Рассмотрены ключевые направления применения композиционных и гибридных материалов в конструкциях БВС и цифровых технологий в отрасли БАС. Показано развитие перехода от параметрического к генеративному проектированию с использованием методов искусственного интеллекта для оптимизации конструкций и выбора материалов.

Проанализированы основные отраслевые события, включая проекты, технологические достижения и профильные мероприятия в России и мире. Существенная часть российских кейсов связана с развитием производства БВС, созданием производственных площадок и научно-производственных центров, а также внедрением цифровых систем проектирования и моделирования конструкций. Отдельно рассмотрены мероприятия, связанные с применением цифровых технологий в обеспечении эксплуатации композитных и гибридных конструкций БВС, включая отраслевые выставки и мероприятия по подготовке кадров. Совокупность таких мероприятий формирует единое технологическое пространство и способствует ускорению внедрения цифровых решений в отрасли.

Во второй главе проанализированы тенденции развития отрасли БАС на конец 2025 года, включая глобальные технологические и рыночные тренды, а также особенности их адаптации в Российской Федерации. Рассмотрены ключевые барьеры развития отрасли, включая регуляторные, экономические, технологические, инфраструктурные, социальные и кибербезопасности, а также определены основные направления потенциального роста.

Ключевым технологическим драйвером развития выступает расширение применения технологий искусственного интеллекта, обеспечивающих повышение автономности беспилотных систем, рост операционной эффективности, развитие функций наблюдения и мониторинга, а также обработку больших объемов данных. Сохраняется распространение модели «дрон-как-услуга» (DaaS) и развитие комплексных программно-аппаратных платформенных решений, при одновременном росте требований к безопасности, регулированию и этическим аспектам применения автономных систем.

Мировая отрасль БАС в 2025–2026 годах характеризуется сочетанием структурных ограничений и зон роста. Замедление гражданского сегмента связано со снижением венчурного финансирования и усилением регуляторной нагрузки. Часть проектов не обеспечила устойчивых экономических моделей, что привело к уходу ряда компаний с рынка и усилению процессов консолидации. В этих условиях конкурентные преимущества формируются у компаний, ориентированных на устойчивые операционные модели и интеграцию в государственные и инфраструктурные программы развития отрасли.

Наиболее перспективные направления развития связаны с применением БАС в агропромышленном комплексе, мониторинге промышленной инфраструктуры, арктических и труднодоступных регионах, а также в навигационных и автономных системах. Отдельное значение приобретают технологии навигации без использования ГНСС на основе визуальной одометрии и инерциальных методов. Такие решения обладают высокой востребованностью как в условиях применения систем РЭБ на территории Российской Федерации, так и в арктических зонах с ограниченной доступностью спутникового сигнала. Дополнительные возможности связаны с развитием кооперационных и институциональных механизмов взаимодействия участников отрасли. По результатам опроса Инфраструктурного центра «Технет», наиболее распространены технологические альянсы и партнерские сети, а также участие в отраслевых объединениях, тогда как формализованные консорциумы и прямые кооперационные соглашения используются ограниченно.

В третьей главе проведен анализ подходов к численному моделированию динамических процессов ударного воздействия на композиционную конструкцию БВС и оценки несущей способности конструкции с учетом ударного повреждения. Показано, что ударные повреждения композитных конструкций являются одной из ключевых проблем авиационной, ракетно-космической техники и беспилотных систем различных классов.

Перспективными направлениями развития являются интеграция мультифизических моделей, гибридные численные методы, а также применение машинного обучения и цифровых двойников. Их совместное использование направлено на повышение точности прогнозирования поведения конструкций при ударных воздействиях и обеспечение их эксплуатационной надежности.

Проведен анализ специализированного программного обеспечения и платформенных решений для численного моделирования, а также ключевых обновлений CAE-систем. Установлено развитие методов нелинейной динамики, включая явные и неявные схемы интегрирования, а также повышение устойчивости расчетов при высокодинамическом нагружении. Зарубежные комплексы (Ansys, Abaqus, Altair Radioss, Simcenter, MSC Nastran и др.) расширяют функциональность моделирования контактного взаимодействия, разрушения и поведения материалов при больших деформациях.

В отечественном сегменте инженерного ПО выделены Логос, САРУС+ Композиты, «Манипула» (SMCM 4.0), Цифровая платформа CML-Bench®. Данные решения применяются как самостоятельно, так и в связке с Abaqus/Explicit, LS-DYNA и Radioss для моделирования ударных процессов и анализа прогрессирующего разрушения композитных конструкций БВС. Отечественные разработки демонстрируют устойчивое развитие функциональности и вычислительной стабильности и занимают значимую позицию в сегменте специализированного ПО для композитных структур.

Показано, что национальная цифровая платформа разработки и применения цифровых двойников может быть системообразующим элементом формирующейся отрасли БАС Российской Федерации, поскольку обеспечивает сквозной цифровой процесс проектирования, цифровых испытаний и «цифровой сертификации», а также служит базой для накопления моделей, знаний, компетенций и лучших практик. Риск-ориентированный подход к обязательной сертификации (с 1 марта 2026 года в Воздушный кодекс введено понятие «дифференцированный и соразмерный подход») [580] подразумевает аккредитацию цифровых испытательных полигонов в Росавиации как официальных испытательных лабораторий. Такой подход обеспечит прохождение натурных сертификационных испытаний с первого раза, и, в перспективе, позволит признавать результаты цифровых испытаний наравне с натурными, что многократно сократит сроки и стоимость выхода БВС на рынок. Это крайне важный шаг для формирования эффективной, современной системы «цифровой сертификации» в стране, что способствует ее технологическому суверенитету и лидерству.

Таким образом, результаты проведенного исследования отражают текущее состояние и основные направления развития отрасли БАС, включая рынок БВС, композиционные материалы, цифровые технологии проектирования и моделирования, а также подходы к обеспечению безопасной эксплуатации конструкций. Проведенный анализ подтверждает возрастающую роль цифровых двойников, технологий искусственного интеллекта и отечественного инженерного программного обеспечения в формировании технологической базы отрасли и реализации задач технологического суверенитета и лидерства Российской Федерации.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1. ПЕРЕЧЕНЬ КЛЮЧЕВЫХ ИГРОКОВ РОССИЙСКОГО РЫНКА

№	Название компании	Выручка 2025, млн руб.	Источник	Комментарий (при наличии)	Категория компаний (типы бизнеса)[2]
Проектирование и производство БВС и компонентов БВС (компании-производители)					
1	АО «НИИМЭ»	Н/Д	https://companies.rbc.ru/id/1117746568829-ao-nauchno-issledovatelskij-institut-molekulyarnoj-elektroniki/	Выручка в 2020 году – 3,82 млрд руб.	Крупные
2	АО «Вертолеты России» (входит в Госкорпорацию «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
3	АО «Концерн ВКО «Алмаз – Антей»	Н/Д	https://companies.rbc.ru/id/1027739001993-ao-kontsern-vozdushno-kosmicheskoj-oboronyi-almaz-antej/	Выручка в 2015 году – 136 515,561 млн руб.	Крупные
4	АО «ОДК» (входит в Госкорпорацию «Ростех»)	Н/Д	https://companies.rbc.ru/id/1107746081717-ao-obedinennaya-dvigatelestroitelnaya-korporatsiya/	Выручка в 2024 году – 777 955,511 млн руб.	Крупные
5	АО «УЗГА» (входит в холдинг «Технодинамика» Госкорпорации «Ростех»)	Н/Д	https://companies.rbc.ru/id/1026605766560-ao-uralskij-zavod-grazhdanskoj-aviatsii/	Выручка в 2024 году – 62 221,391 млн руб.	Крупные
6	ПАО «Объединенная авиастроительная корпорация» (ПАО «ОАК», входит в Госкорпорацию «Ростех»), в т.ч. Филиал «ОАК» «ОКБ Сухого»	Н/Д	https://companies.rbc.ru/id/1067759884598-pao-publichnoe-aktsionernoe-obschestvo-obedinennaya-aviastroitelnaya-korporatsiya/	Выручка в 2024 году – 198 013,666 млн руб.	Крупные

[2] 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 2025, млн руб.	Источник	Комментарий (при наличии)	Категория компаний (типы бизнеса)[2]
7	АО «ИЭМЗ «Купол»	Н/Д	https://companies.rbc.ru/id/1021801143374-ao-izhevskij-elektromehanicheskij-zavod-kupol/	Выручка в 2022 году – 30 029,223 млн руб.	Крупные
8	АО «НЦВ Миль и Камов» (входит в АО «Вертолеты России» Госкорпорации «Ростех»)	Н/Д	https://companies.rbc.ru/id/1027739032969-ao-natsionalnyij-tsentr-vertoletostroeniya-im-ml-milya-i-ni-kamova/	Выручка в 2024 году – 24 629,255 млн руб.	Крупные
9	АО «Концерн «Калашников»	Н/Д	https://companies.rbc.ru/id/1111832003018-aktsionernoe-obschestvo-kontsern-kalashnikov/	Выручка в 2021 году – 23 671,620 млн руб.	Крупные
10	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
11	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
12	АО «Концерн «Автоматика» (входит в Госкорпорацию «Ростех»)	Н/Д	https://companies.rbc.ru/id/1127746139564-ao-kontsern-avtomatika/	Выручка в 2021 году – 8 270,00 млн руб.	Крупные
13	ООО «Ижевский авиационный завод» (ООО «ИАЗ»)	Н/Д	https://companies.rbc.ru/id/1231800002609-obschestvo-s-ogranichennoj-otvetstvennostyu-izhevskij-aviatsionnyij-zavod/	Выручка в 2024 году – 6712,812 млн руб.	Крупные
14	ООО «Транспорт будущего» (входит в Группу компаний «ЭФКО»)	5 453,82	https://bo.nalog.gov.ru/organizations-card/11722847	–	Крупные
15	Группа компаний «Геоскан»	Н/Д	https://companies.rbc.ru/id/1077847632818-ooo-obschestvo-s-ogranichennoj-otvetstvennostyu-geoskan/	Выручка в 2024 году – 4735,085 млн руб.	Крупные
16	АО МНПК «Авионика»	Н/Д	https://companies.rbc.ru/id/1027739158402	Выручка в 2024 году –	Крупные

№	Название компании	Выручка 2025, млн руб.	Источник	Комментарий (при наличии)	Категория компаний (типы бизнеса)[2]
			-ao-moskovskij-nauchno-proizvodstvennyij-kompleks-avionika-imeni-ov-uspenskogo/	3 821,978 млн руб.	
17	ООО «АЭРОСКАН»	Н/Д	https://companies.rbc.ru/id/1175658025179-ooo-aeroskan/	Выручка в 2022 году – 3 772,949 млн руб.	Крупные
18	ООО «Гаскар Групп»	2 921,01	https://bo.nalog.gov.ru/organizations-card/8837651	–	Крупные
19	ООО «Глори Эйр»	2 145,05	https://bo.nalog.gov.ru/organizations-card/3947047	–	Крупные
20	АО «Калужский электромеханический завод» (входит в холдинг «Росэлектроника» Госкорпорации «Ростех»)	Н/Д	https://center.business-magazine.online/fn_1683837.html	Выручка в 2018 году – 3 020,897 млн руб.	Средние
21	ООО НПО «Уфимец»	2 122,68	https://bo.nalog.gov.ru/organizations-card/12329396	–	Крупные
22	АО «ЭЙРБУРГ»	Н/Д	https://companies.rbc.ru/id/1216600040194-aktsionernoe-obschestvo-ejrburg/	Выручка в 2021 году – 1 970,00 млн руб.	Средние
23	ООО «Конструкторское бюро «Центр беспилотных систем» (ООО «КБ «ЦБС»)	1 940,58	https://companies.rbc.ru/id/1237100015657-ooo-ooo-kb-tsbs/	–	Средние
24	АО «НПП «Алмаз» (входит в холдинг «Росэлектроника» Госкорпорации «Ростех»)	Н/Д	https://www.list-org.com/company/38245	Выручка в 2019 году – 1 940,00 млн руб.	Средние
25	ООО «Автономные технологии»	1 855,85	https://bo.nalog.gov.ru/organizations-card/12414580	–	Средние
26	ООО «Авиателеком-инвест»	1 730,00	https://companies.rbc.ru/id/1187847380676-ooo-aviatelekominvest/	–	Средние
27	ООО «Робоавиа»	1 678,51	https://bo.nalog.gov.ru/organizations-card/9060509	–	Средние
28	ООО «Новоген»	1 500,39	https://companies.rbc.ru/id/1221600081284-ooo-novogen/	–	Средние

№	Название компании	Выручка 2025, млн руб.	Источник	Комментарий (при наличии)	Категория компаний (типы бизнеса)[2]
29	ООО «РЛВТ»	1 310,64	https://bo.nalog.gov.ru/organizations-card/119533522	–	Средние
30	АО «Инжиниринговый центр «Кронштадт»	Н/Д	https://companies.rbc.ru/id/1237800026397-aktsionernoe-obschestvo-inzhiniringovyij-tsentr/	Выручка в 2023 году – 1 262,544 млн руб.	Средние
31	АО «ЭНИКС»	Н/Д	https://companies.rbc.ru/id/1031632202227-ao-eniks/#okved	Выручка в 2021 году – 1 099,227 млн руб.	Средние
32	ООО «Аэроком»	1 198,52	https://bo.nalog.gov.ru/organizations-card/8964250	–	Средние
33	АО «ОКБ «Астрон»	Н/Д	https://companies.rbc.ru/id/1155027001690-ao-optiko-mehanicheskoe-konstruktorskoe-byuro-astron/	Выручка в 2021 году – 1 130,702 млн руб.	Средние
34	АО НПО «Магнетон»	Н/Д	https://companies.rbc.ru/id/1023301456364-ao-nauchno-proizvodstvennoe-obedinenie-magneton/	Выручка в 2022 году – 1 081,590 млн руб.	Средние
35	ООО «ЦСТ»	Н/Д	https://companies.rbc.ru/id/1101841007938-ooo-tsst/	Выручка в 2018 году – 1030 млн руб.	Средние
36	ООО «ТАиП»	Н/Д	https://companies.rbc.ru/id/1057811020080-ooo-tehnologii-avtomatizatsii-i-programmirovaniya/	Выручка в 2021 году – 1 019,546 млн руб.	Средние
37	ООО «Альбатрос» (дочерняя компания ЗАО Инженерный Центр «Геомир»)	1 024,18	https://bo.nalog.gov.ru/organizations-card/10206285	–	Средние
38	АО «Эффективные технологии»	955,98	https://bo.nalog.gov.ru/organizations-card/12414199	–	Средние
39	АО «Спутниковая система «Гонец»	Н/Д	https://companies.rbc.ru/id/1027739198662-ao-sputnikovaya-sistema-gonets/	Выручка в 2021 году – 951,53 млн руб.	Средние
40	АО «ИЦ ИКАР»	Н/Д	https://companies.rbc.ru/id/1037710001493-ao-inzhenernyij-tsentr-ikar/	Выручка в 2021 году – 919,34 млн руб.	Средние

№	Название компании	Выручка 2025, млн руб.	Источник	Комментарий (при наличии)	Категория компаний (типы бизнеса)[2]
41	ООО «СКБ Пинанья»	870,67	https://bo.nalog.gov.ru/organizations-card/12265324	–	Средние
42	ООО «ПЛАЗ»	Н/Д	https://companies.rbc.ru/id/5067847004341-ooo-plaz/	Выручка в 2021 году – 740,11 млн руб.	Малые
43	ООО «Научно-производственное предприятие «Новые Технологии Телекоммуникаций»	Н/Д	https://companies.rbc.ru/id/1047806004828-ooo-nauchno-proizvodstvennoe-predpriyatie-novyie-tehnologii-telekommunikatsij/	Выручка в 2021 году – 686,21 млн руб.	Малые
44	АО «Концерн радиостроения «Вега» (входит в холдинг «Росэлектроника» Госкорпорации «Ростех»)	Н/Д	https://companies.rbc.ru/id/1053600451013-ao-voronezhskij-nauchno-issledovatelskij-institut-vega/	Выручка в 2017 году – 630,612 млн руб.	Малые
45	ООО «НПО «Ижевские беспилотные системы» (ООО «НПО «ИжБС», входит в АО «Концерн «Калашников» Госкорпорации «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
46	ООО «Аэромакс» (входит в Группу компаний «Аэромакс» группы АФК «Система»)	615,57	https://companies.rbc.ru/id/1177746007900-ooo-aeromaks/	Выручка в 2024 году – 615,566 млн руб.	Малые
47	ООО «Лаборатория Будущего»	607,23	https://bo.nalog.gov.ru/organizations-card/1258085	–	Малые
48	ООО «Ирбис Скай Тех»	473,00	https://companies.rbc.ru/id/1117746657280-ooo-obschestvo-s-ogranichennoj-otvetstvennostyu-irbis-skaj-teh/	Выручка в 2024 году – 473,068 млн руб.	Малые
49	ООО «ОМЗ ТЕХ»	412,65	https://bo.nalog.gov.ru/organizations-card/12520967	–	Малые
50	ООО «ВизорЛабс»	363,26	https://bo.nalog.gov.ru/organizations-card/10537216	–	Малые

№	Название компании	Выручка 2025, млн руб.	Источник	Комментарий (при наличии)	Категория компаний (типы бизнеса)[2]
51	ООО «Финко» (входит в Группу компаний «Беспилотные системы»)	Н/Д	https://companies.rbc.ru/id/1101831006144-ooo-finko/	Выручка в 2021 году – 320,057 млн руб.	Малые
52	ООО «Дрон-Сервис»	264,42	https://bo.nalog.gov.ru/organizations-card/10348929	–	Малые
53	ООО «ДЖИ 25»	263,44	https://bo.nalog.gov.ru/organizations-card/11985214	–	Малые
54	ООО «Агродинамика»	256,64	https://bo.nalog.gov.ru/organizations-card/11964695	–	Малые
55	ООО «Аэрокон»	227,33	https://bo.nalog.gov.ru/organizations-card/6734429	–	Малые
56	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
57	ООО «Диам-Аэро»	204,31	https://bo.nalog.gov.ru/organizations-card/10603794	–	Малые
58	АО «Атри»	Н/Д	https://companies.rbc.ru/id/1117847007695-ao-atri/	Выручка в 2021 году – 203,431 млн руб.	Малые
59	ООО «Аэроглоуб»	Н/Д	https://bo.nalog.gov.ru/organizations-card/9625121	Выручка в 2023 году – 190 млн руб.	Малые
60	ООО «Центр Точного Земледелия Аэросоюз»	188,54	https://companies.rbc.ru/id/1135476159521-ooo-tsentr-tochnogo-zemledeliya-aerosoyuz/	–	Малые
61	ООО НПО «Радиотехнические системы»	Н/Д	https://companies.rbc.ru/id/1037403874144-ooo-nauchno-proizvodstvennoe-obedinenie-radiotehnicheskie-sistemyi/	Выручка в 2021 году – 178,83 млн руб.	Малые
62	ООО «БВС Системы» (Конструкторское бюро Горбунова А.А.)	152,73	https://bo.nalog.gov.ru/organizations-card/10582627	–	Малые
63	ООО «НЗФ»	152,45	https://bo.nalog.gov.ru/organizations-	–	Малые

№	Название компании	Выручка 2025, млн руб.	Источник	Комментарий (при наличии)	Категория компаний (типы бизнеса)[2]
			card/2140757		
64	ООО «СибАэроКрафт»	144,80	https://bo.nalog.gov.ru/organizations-card/9646955	–	Малые
65	ООО НПО «Аэроволга»	142,01	https://bo.nalog.gov.ru/organizations-card/2986619	–	Малые
66	ООО «Корпорация дронов» (ООО «Дронко»)	141,31	https://www.list-org.com/company/13933893	–	Малые
67	ООО «Т1 Аэро»	136,61	https://bo.nalog.gov.ru/organizations-card/11805573	–	Малые
68	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
69	ООО «СКАЙЕР ИТ» (входит в Группу компаний ООО «СКАЙЕР»)	38,75	https://bo.nalog.gov.ru/organizations-card/5078421	–	Малые
70	ООО «АГМ Системы»	31,22	https://companies.rbc.ru/id/1152312014777-ooo-agm-sistemyi/	–	Малые
71	ООО «Аэродин»	98,90	https://www.rusprofile.ru/id/10962169	–	Микро
72	АО «Концерн «МАНС»	Н/Д	https://companies.rbc.ru/id/1127746702038-ao-kontsern-mezhdunarodnyie-aeronavigatsionnyie-sistemyi/	Выручка в 2024 году – 104,168 млн руб.	Микро
73	НПП «АВАКС-ГеоСервис»	Н/Д	https://companies.rbc.ru/id/1122468015999-ooo-obschestvo-s-ogranichennoj-otvetstvennostyu-nauchno-proizvodstvennoe-predpriyatie-avtonomnyie-aerokosmicheskie-sistemyi-geoservis/	Выручка в 2021 году – 99,93 млн руб.	Микро
74	ООО «Аэроб»	Н/Д	https://companies.rbc.ru/id/1117746268815-ooo-aerob/	Выручка в 2021 году – 92,11 млн руб.	Микро
75	АО «Площадь»	87,89	https://bo.nalog.gov.ru/	–	Микро

№	Название компании	Выручка 2025, млн руб.	Источник	Комментарий (при наличии)	Категория компаний (типы бизнеса)[2]
			organizations-card/12217703		
76	ООО «Верконт сервис» (входит в Группу компаний «Информтех»)	84,95	https://bo.nalog.gov.ru/organizations-card/5549640	–	Микро
77	ООО «Горный-ЦОТ»	83,28	https://bo.nalog.gov.ru/organizations-card/5751335	–	Микро
78	ООО «ВР-технологии»	Н/Д	https://companies.rbc.ru/id/1115027003024-ooo-vr-tehnologii/	Выручка в 2023 году – 77,826 млн руб.	Микро
79	ООО «РУСАВИА-ПРОМ»	73,90	https://bo.nalog.gov.ru/organizations-card/2169173	–	Микро
80	ООО «МВМ Авиа»	72,00	https://bo.nalog.gov.ru/organizations-card/12343328	–	Микро
81	ООО «Интегральные роботизированные технологии»	70,89	https://bo.nalog.gov.ru/organizations-card/11678148	–	Микро
82	ООО «ЮВС Авиа»	Н/Д	https://companies.rbc.ru/id/1127746516809-ooo-yuvs-avia/	Выручка в 2021 году – 69,51 млн руб.	Микро
83	ООО «Система объективного контроля»	67,08	https://bo.nalog.gov.ru/organizations-card/11612531	–	Микро
84	ООО «ЮВП РОБО-ТИКС»	51,80	https://bo.nalog.gov.ru/organizations-card/10664465	–	Микро
85	ООО «Техмет18»	Н/Д	https://www.list-org.com/company/12030311	Выручка в 2024 году – 46,417 млн руб.	Микро
86	ОО «СКБ Авиационных Роторных Двигателей» (входит в структуру ООО «Технологии и моторы» ЗАО «Группа компаний С7»)	45,38	https://companies.rbc.ru/id/1187746191907-ooo-studencheskoe-konstruktorskoe-byuro-aviatsionnyih-rotornyih-dvigatelej/	–	Микро
87	ООО «КБ «Дарт-Аэро»	45,04	https://bo.nalog.gov.ru/organizations-card/12343080	–	Микро
88	ООО «Индустриальные Дроны»	45,00	https://bo.nalog.gov.ru/organizations-card/11067355	–	Микро
89	ООО «Глобал Мониторинг»	44,63	https://bo.nalog.gov.ru/organizations-	–	Микро

№	Название компании	Выручка 2025, млн руб.	Источник	Комментарий (при наличии)	Категория компаний (типы бизнеса)[2]
			card/696424		
90	МКПАО «Т-Технологии»	43,06	https://bo.nalog.gov.ru/organizations-card/12396799	–	Микро
91	ООО «Ижмаш – Беспилотные системы»	40,32	https://bo.nalog.gov.ru/organizations-card/11611819	–	Микро
92	ООО «Курсир»	36,55	https://bo.nalog.gov.ru/organizations-card/9535160	–	Микро
93	ООО «Двигатели для авиации» (входит в АО «ОДК-Авиадвигатель» ПАО «ОАК», ГК «Ростех»)	28,50	https://bo.nalog.gov.ru/organizations-card/9501149	–	Микро
94	АО «Стратим»	27,76	https://companies.rbc.ru/id/1237700447324-nao-ao-stratim/	Выручка в 2024 году – 27,764 млн руб.	Микро
95	ООО «Бирюч»	26,71	https://bo.nalog.gov.ru/organizations-card/9669401	–	Микро
96	ООО «СПТ»	26,41	https://companies.rbc.ru/id/1147847384409-ooo-sovremennyie-promyishlennyie-tehnologii/	–	Микро
97	ООО «ТрэйсЭйр»	24,86	https://bo.nalog.gov.ru/organizations-card/9418454	–	Микро
98	АО «Эколибри»	21,33	https://bo.nalog.gov.ru/organizations-card/11609817	–	Микро
99	ООО «Дронопорт»	19,04	https://bo.nalog.gov.ru/organizations-card/11374487	–	Микро
100	ООО «Люфтэра»	18,07	https://bo.nalog.gov.ru/organizations-card/10319701	–	Микро
101	ООО «ЛМТ»	18,65	https://bo.nalog.gov.ru/organizations-card/6496267	–	Микро
102	ООО «НТР»	17,458	https://bo.nalog.gov.ru/organizations-card/10005212	–	Микро
103	ООО «ЮЖНЫЙ ГЕРИОН»	13,66	https://bo.nalog.gov.ru/organizations-card/11718386	–	Микро
104	ООО «Оптик-Смарт»	13,65	https://bo.nalog.gov.ru/organizations-	–	Микро

№	Название компании	Выручка 2025, млн руб.	Источник	Комментарий (при наличии)	Категория компаний (типы бизнеса)[2]
			card/12267876		
105	ООО «Дрон Солюшнс»	Н/Д	https://companies.rbc.ru/id/1187746132870-ooo-dron-solyushns/	Выручка в 2022 году – 13,00 млн руб.	Микро
106	АНО «БОТ»	12,62	https://bo.nalog.gov.ru/organizations-card/12339461	–	Микро
107	АО «Селина Эйркрафт»	12,24	https://bo.nalog.gov.ru/organizations-card/11924362	–	Микро
108	ООО «Аэроксо»	Н/Д	https://companies.rbc.ru/id/5147746079333-ooo-aerokso/	Выручка в 2023 году – 11,58 млн руб.	Микро
109	ООО «ОКБ Авиарешения»	10,85	https://bo.nalog.gov.ru/organizations-card/9566959	–	Микро
110	ООО «Роспроект» (ОмДжет)	10,76	https://www.rusprofile.ru/id/3056035	–	Микро
111	ООО «3Д КУБ»	10,08	https://bo.nalog.gov.ru/organizations-card/7547748	–	Микро
112	ООО «Инноматик»	9,22	https://bo.nalog.gov.ru/organizations-card/12407843	–	Микро
113	ООО «Шахты»	8,93	https://bo.nalog.gov.ru/organizations-card/10671909	–	Микро
114	ООО «Кластек»	5,65	https://bo.nalog.gov.ru/organizations-card/5018142	–	Микро
115	ООО «Фан Флайт»	0,00	https://companies.rbc.ru/id/1137746442657-ooo-fan-flajt/	Выручка в 2024 году – 4,509 млн руб.	Микро
116	ООО «Ключ»	4,70	https://companies.rbc.ru/id/1126319010696-ooo-klyuch/	–	Микро
117	ООО «Клеверкоптер»	4,29	https://bo.nalog.gov.ru/organizations-card/10777879	–	Микро
118	ООО «Тайбер»	Н/Д	https://companies.rbc.ru/id/1147748031705-ooo-obschestvo-s-ogranichennoj-otvetstvennostyu-tajber/	Выручка в 2023 году – 3,090 млн руб.	Микро
119	АО «Концерн Гранит»	Н/Д	https://companies.rbc.ru/id/1055011347093	Выручка в 2021 году –	Микро

№	Название компании	Выручка 2025, млн руб.	Источник	Комментарий (при наличии)	Категория компаний (типы бизнеса)[2]
			-ao-kontsern-granit/	2,65 млн руб.	
120	ООО «Ас-Кам»	0,00	https://bo.nalog.gov.ru/organizations-card/10027132	Выручка в 2024 году – 2,311 млн руб.	Микро
121	АО «НИИПП» (входит в Госкорпорацию «Ростех»)	Н/Д	https://www.list-org.com/company/38207	Выручка в 2019 году – 2,01 млн руб.	Микро
122	ООО «Коптер Экспресс»	Н/Д	https://bo.nalog.gov.ru/organizations-card/7708407	Выручка в 2021 году – 1,990 млн руб.	Микро
123	ООО «Оптиплейн Аэродинамика»	1,71	https://bo.nalog.gov.ru/organizations-card/10397218	–	Микро
124	ООО «Моторно»	1,53	https://bo.nalog.gov.ru/organizations-card/12528232	–	Микро
125	ООО «Проблемная лаборатория «Турбомашины»	0,00	https://bo.nalog.gov.ru/organizations-card/2896545	Выручка в 2024 году – 1,300 млн руб.	Микро
126	ООО «Унипарк»	1,09	https://bo.nalog.gov.ru/organizations-card/11555795	–	Микро
127	АО «НПЦ «ЭЛВИС»	Н/Д	https://companies.rbc.ru/id/1127746073510-ao-nauchno-proizvodstvennyij-tsentr-elektronnyie-vyichislitelno-informatsionnyie-sistemyi/	Выручка в 2021 году – 1,06 млн руб.	Микро
128	АО «АВА Аэро»	1,03	https://bo.nalog.gov.ru/organizations-card/12202059	–	Микро
129	ООО «Флайтус»	Н/Д	https://companies.rbc.ru/id/1207700452190-ooo-flajter/	Выручка в 2023 году – 0,42 млн руб.	Микро
130	ООО «Центр БАС Оренбургской области»	0,13	https://bo.nalog.gov.ru/organizations-card/12563872	–	Микро
131	ООО «Источники Питания»	0,13	https://bo.nalog.gov.ru/organizations-card/12403636	–	Микро
132	ООО «НИК»	0,11	https://bo.nalog.gov.ru/organizations-card/119520677	–	Микро
133	ООО «Омнитех»	0,02	https://bo.nalog.gov.ru/organizations-	–	Микро

№	Название компании	Выручка 2025, млн руб.	Источник	Комментарий (при наличии)	Категория компаний (типы бизнеса)[2]
			card/11808774		
134	ООО «АгроДрон-Групп»	0,00	https://www.rusprofile.ru/id/10577502	–	Микро
135	ООО «ЗБМ-АЭРО»	0,00	https://www.rusprofile.ru/id/1247300005655	–	Микро
136	ООО «Технoджет»	0,00	https://www.list-org.com/company/3320700	–	Микро
137	ООО «ЗОБИТ»	0,00	https://bo.nalog.gov.ru/organizations-card/12707488	–	Микро
138	ПАО «МАК «Вымпел»	Н/Д	https://companies.rbc.ru/id/1027700341855-pao-mezhgosudarstvennaya-aktsionernaya-korporatsiya-vyimpel/	Выручка в 2022 году – 1,53 млн руб.	Недостаточно данных для определения категории
139	ООО «Д-Старт»	0,37	https://bo.nalog.gov.ru/organizations-card/11342027	–	Недостаточно данных для определения категории
140	Торгово-производственная компания «КИНГПРО»	0,00	https://www.list-org.com/company/14675532	–	Недостаточно данных для определения категории
141	ООО «РУАВИА»	0,00	https://www.rusprofile.ru/id/1242400021038	–	Недостаточно данных для определения категории
142	ООО «ПРОНАВИКОМ»	Н/Д	–	–	Недостаточно данных для определения категории
143	ОАО «ОКБ Сухого» (входит в ПАО «ОАК»)	Н/Д	-	–	Недостаточно данных для определения категории
144	ООО «Стратус»	Н/Д	-	-	Недостаточно данных для определения категории
145	ООО «Васп Эйркрафт»	Н/Д	https://bo.nalog.gov.ru/organizations-card/11424784	–	Недостаточно данных для определения категории
146	АО «У-у ППО»	Н/Д	https://companies.rbc.ru/id/1020300971096-aktsionernoe-obschestvo-ulan-udenskoe-	–	Недостаточно данных для определения категории

№	Название компании	Выручка 2025, млн руб.	Источник	Комментарий (при наличии)	Категория компаний (типы бизнеса)[2]
			priborostroitelnoe-proizvodstvennoe-obedinenie/		
147	ООО «КБ «САТ»	Н/Д	https://companies.rbc.ru/id/1167746846398-ooo-konstruktorskoe-byuro-sovremennyie-aviatsionnyie-tehnologii/	–	Недостаточно данных для определения категории
148	ООО «Колибри»	Н/Д	–	–	Недостаточно данных для определения категории
149	ООО «КОАКСРОТОР»	0,00	https://bo.nalog.gov.ru/organizations-card/11975019	–	Недостаточно данных для определения категории
150	Группа компаний «Кронштадт», АО «Кронштадт», АО «КТ-Беспилотные системы»	Н/Д	–	–	Недостаточно данных для определения категории
151	ООО «Солитюд Аэриал»	0,00	https://www.audit-it.ru/contragent/1237800101505_ooo-solityud-aerial	–	Недостаточно данных для определения категории
152	Группа компаний «Инэнерджи»	0,00	https://bo.nalog.gov.ru/organizations-card/10107382	–	Недостаточно данных для определения категории
153	Группа компаний «Тихие Крылья» (входит в АО «Концерн «Калашников» Госкорпорации «Ростех»)	Н/Д	https://companies.rbc.ru/id/1207800024662-obschestvo-s-ogranichennoj-otvetstvennostyu-tge-energoustanovki/	–	Недостаточно данных для определения категории
154	Филиал ПАО «Компания «Сухой» «Новосибирский авиационный завод им. В.П. Чкалова» (входит в ПАО «ОАК» Госкорпорации «Ростех»)	Н/Д	–	–	Недостаточно данных для определения категории
155	ООО «КБ Русь»	Н/Д	–	-	Недостаточно данных для определения категории
156	ООО «ЦАРС»	Н/Д	https://www.list-org.com/company/122	–	Недостаточно данных для

№	Название компании	Выручка 2025, млн руб.	Источник	Комментарий (при наличии)	Категория компаний (типы бизнеса)[2]
			44667		определения категории
157	ООО «Научно-производственное объединение РУСТЕХДРОН»	Н/Д	https://www.audit-it.ru/contragent/1235000022179_ooo-npo-rustekhdron	–	Недостаточно данных для определения категории
158	НПЦ «Парма-БАС»	Н/Д	–	–	Недостаточно данных для определения категории
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-obschestvo-gosudarstvennaya-transportnaya-lizingovaya-kompaniya/	Выручка в 2024 году – 136 027,121 млн руб.	Крупные
2	Группа компаний «ЭФКО»	5 795,74	https://bo.nalog.gov.ru/organizations-card/3955359	–	Крупные
3	ООО «Ред Софт»	4 174,50	https://bo.nalog.gov.ru/organizations-card/8819371	–	Крупные
4	ООО «АвиаКомплекс»	2 558,82	https://bo.nalog.gov.ru/organizations-card/8517021	–	Крупные
5	ООО «Фирма «НИТА» Санкт-Петербург	Н/Д	https://www.list-org.com/company/162122/report	Выручка в 2021 году – 1 670,780 млн руб.	Средние
6	ООО «Информатик»	1 207,38	https://bo.nalog.gov.ru/organizations-card/5116561	–	Средние
7	ООО «Политэк»	607,47	https://bo.nalog.gov.ru/organizations-card/229458	–	Малые
8	ООО «ИСТ»	321,22	https://bo.nalog.gov.ru/organizations-card/1317690	–	Малые
9	АО АК «Лайт Эйр»	276,75	https://bo.nalog.gov.ru/organizations-card/3132541	–	Малые
10	ООО «Беспилотные авиационные системы» (ООО «БАС»)	98,00	https://www.rusprofile.ru/id/1227700511939	–	Микро
11	ООО «Квадро код»	97,47	https://bo.nalog.gov.ru/	–	Микро

№	Название компании	Выручка 2025, млн руб.	Источник	Комментарий (при наличии)	Категория компаний (типы бизнеса)[2]
			organizations-card/12370423		
12	ООО АК «РусАвиа»	89,93	https://bo.nalog.gov.ru/organizations-card/9828597	–	Микро
13	ООО «Оператор инфраструктуры БАС»	37,74	https://companies.rbc.ru/id/1248600002672-ooo-operator-infrastrukturyi-bas/	–	Микро
14	ООО «Чистое небо»	26,36	https://bo.nalog.gov.ru/organizations-card/11234732	–	Микро
15	ООО «Виртуальные ассистенты»	25,38	https://bo.nalog.gov.ru/organizations-card/11119173	–	Микро
16	ООО «Радиомодуль»	Н/Д	https://bo.nalog.gov.ru/organizations-card/2751980	Выручка в 2024 году – 19,890 млн руб.	Микро
17	ООО «БАС-технологии»	Н/Д	https://companies.rbc.ru/id/1173850009167-ooo-bas-tehnologii/	Выручка в 2023 году – 7,27 млн руб.	Микро
18	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
19	ООО «Флай Дрон»	0,83	https://bo.nalog.gov.ru/organizations-card/11485468	–	Микро
20	ООО «Т-АВИАС»	0,05	https://bo.nalog.gov.ru/organizations-card/12254532	–	Микро
21	ООО «Аэролинк»	0,00	https://www.list-org.com/company/13575702	–	Микро
22	ООО «ИРТ»	0,00	https://bo.nalog.gov.ru/organizations-card/12592223	–	Недостаточно данных для определения категории
23	Группа компаний «ЛОТОСНИК»	Н/Д	–	–	Недостаточно данных для определения категории
24	ООО «Дронопорт Урал»	Н/Д	https://www.list-org.com/company/14258947	–	Недостаточно данных для определения категории
25	СКБ САМИ ДВО РАН	Н/Д	–	–	Недостаточно данных для

№	Название компании	Выручка 2025, млн руб.	Источник	Комментарий (при наличии)	Категория компаний (типы бизнеса)[2]
					определения категории
Разработка автоматизированных систем и программного обеспечения для проектирования и производства БВС (разработчики и вендоры)					
1	АО «Топ Системы»	3 327,56	https://companies.rbc.ru/id/1087746953557-top-sistemyi/#general	–	Крупные
2	АО «СиСофт Девелопмент» (входит в Группу компаний «СиСофт»)	1 370,43	https://companies.rbc.ru/id/1067746335711-ao-sisoft-development/	–	Средние
3	ООО «ОАК-Инжиниринг» (входит в ПАО «ОАК» Госкорпорации «Ростех»)	374,58	https://companies.rbc.ru/id/1047796323057-obschestvo-s-ogranichennoj-otvetstvennostyu-flaj-fitnes-grup/	–	Малые
4	ООО «ТЕСИС»	360,19	https://companies.rbc.ru/id/1027739083778-tesis/	–	Малые
5	ООО «Лаборатория Наносемантика»	257,37	https://bo.nalog.gov.ru/organizations-card/12662	–	Малые
6	ООО «РУСДРОНОПОРТ»	187,03	https://bo.nalog.gov.ru/organizations-card/11871535	–	Малые
7	ООО «НЕТСОФТ»	Н/Д	https://companies.rbc.ru/id/1037716024048-ooo-netsoft/	Выручка в 2024 году – 168,755 млн руб.	Малые
8	ООО «Среда разработки»	146,67	https://bo.nalog.gov.ru/organizations-card/10074210	–	Малые
9	ООО «КванторФорм»	141,59	https://companies.rbc.ru/id/1027739562421-ooo-kvantorform/	–	Малые
10	ООО «ФИДЕСИС»	106,70	https://companies.rbc.ru/id/1107746291443-ooo-fidesis/	–	Микро
11	ООО «Среда Капитал»	91,89	https://bo.nalog.gov.ru/organizations-card/10834823	–	Микро
12	НИЦ «Аэроскрипт»	57,95	https://bo.nalog.gov.ru/organizations-card/10947251	–	Микро
13	ООО «Монолит» (входит в холдинг «Т1»)	37,42	https://www.audit-it.ru/contragent/1217700255684_ooo-monolit	–	Микро

№	Название компании	Выручка 2025, млн руб.	Источник	Комментарий (при наличии)	Категория компаний (типы бизнеса)[2]
14	ООО «Нейросети Ашманова»	15,50	https://bo.nalog.gov.ru/organizations-card/9538284	–	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
2	АО «Научно-исследовательский институт вычислительных комплексов им. М. А. Карцева» (АО «НИИВК им. М.А. Карцева»)	–	–	–	Не применимо
3	ФАУ «Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем» (ФАУ «ГосНИИАС», входит в состав НИЦ «Институт имени Н. Е. Жуковского»)	–	–	–	Не применимо
4	ФАУ «Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н. Е. Жуковского» (ФАУ «ЦАГИ», входит в состав НИЦ «Институт имени Н. Е. Жуковского»)	–	–	–	Не применимо
5	ФАУ «Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова» (ЦИАМ им. П.И. Баранова, входит в НИЦ «Институт имени Н.Е. Жуковского»)	–	–	–	Не применимо
6	ФГАОУ ВО «Самарский	–	–	–	Не применимо

№	Название компании	Выручка 2025, млн руб.	Источник	Комментарий (при наличии)	Категория компаний (типы бизнеса)[2]
	национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева» (Самарский университет)				
7	ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова» (БГТУ им. В.Г. Шухова)	–	–	–	Не применимо
8	ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет им. А.Н.Туполева» (ФГБОУ ВО «КНИТУ-КАИ»)	–	–	–	Не применимо
9	ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» (ФГАОУ ВО «СПбПУ»)	–	–	–	Не применимо
10	ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» (МАИ, Московский авиационный институт)	–	–	–	Не применимо
11	ФГБОУ ВО «Московский государственный университет геодезии и картографии» (МИИГАиК)	–	–	–	Не применимо
12	ФГУП «Российский федеральный ядерный центр – Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики» (ФГУП «РФЯЦ – ВНИИЭФ»,	–	–	–	Не применимо

№	Название компании	Выручка 2025, млн руб.	Источник	Комментарий (при наличии)	Категория компаний (типы бизнеса)[2]
	входит в ГК «Росатом»)				
13	АНО ДПО «Многопрофильный центр квалификаций «Цель»	–	–	–	Не применимо
14	АО «Концерн «Морское подводное оружие – Гидроприбор»	–	–	–	Не применимо
15	ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет»	–	–	–	Не применимо
16	ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»	–	–	–	Не применимо
17	ФГБОУ ВО «Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова»	–	–	–	Не применимо
18	ФГАУ «Цифровые индустриальные технологии»	–	–	–	Не применимо
19	ФАУ «Сибирский научно-исследовательский институт авиации им. С. А. Чаплыгина»	–	–	–	Не применимо
20	ГНЦ РФ ФГАНУ «ЦНИИ РТК»	–	–	–	Не применимо
21	ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»	–	–	–	Не применимо
22	ФГУП «Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации»	–	–	–	Не применимо
23	АНО ВО «Университет Иннополис»	–	–	–	Не применимо
24	ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет»	–	–	–	Не применимо
25	ФГБВОУ ВО «Военно-космическая	–	–	–	Не применимо

№	Название компании	Выручка 2025, млн руб.	Источник	Комментарий (при наличии)	Категория компаний (типы бизнеса)[2]
	академия имени А.Ф. Можайского» Министерства обороны Российской Федерации				
26	ФГУП «НАМИ»	–	–	–	Не применимо
27	ФГАОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»	–	–	–	Не применимо
28	ФГАОУ «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)»	–	–	–	Не применимо
30	ГБУ МО «МОСОБЛСТРОЙ ЦНИЛ»	–	–	–	Не применимо
31	ООО «Опытно-конструкторское бюро «Кулон»	10,82	https://bo.nalog.gov.ru/organizations-card/2896927		Микро
Отраслевые ассоциации и технопарки					
1	АНО «Федеральный центр беспилотных авиационных систем» (АНО «ФЦ БАС»)	–	–	–	Не применимо
2	АНО «Беспилотные объединенные технологии»	–	–	–	Не применимо
3	АНО «Научно-Производственный Центр Беспилотных Авиационных Систем Томской Области» (АНО «НПЦ БАС ТО»)	–	–	–	Не применимо
4	Федеральная Ассоциация НПО «БпЛА»	–	–	–	Не применимо
5	НПЦ БАС «Технопарка Санкт-Петербурга» (входит в АО «Технопарк Санкт-Петербурга»)	–	–	–	Не применимо
6	АНО «Агентство по технологическому	–	–	–	Не применимо

№	Название компании	Выручка 2025, млн руб.	Источник	Комментарий (при наличии)	Категория компаний (типы бизнеса)[2]
	развитию»				
7	АНО «НПЦ БАС «ПРОТОС»	–	–	–	Не применимо
8	АНО «НПЦ БАС «Туладрон»	–	–	–	Не применимо
9	АНО «НПЦ БАС Нижегородской области»	–	–	–	Не применимо
10	АНО «НПЦ БАС ЯО»	–	–	–	Не применимо
11	НП «ДИКМА»	–	–	–	Не применимо
12	АНО «НПЦ «Ушкуйник»	–	–	–	Не применимо
13	Фонд «Сколково»	–	–	–	Не применимо
14	Ассоциация «Интерагротех»	–	–	–	Не применимо
15	Ассоциация «Промышленный Кластер «Консорциум РСИУ»	–	–	–	Не применимо
16	АНО «НПЦ БАС «Смоленск»	–	–	–	Не применимо

ПРИЛОЖЕНИЕ 2. ПЕРЕЧЕНЬ КОМПАНИЙ, ПРОШЕДШИХ ОПРОС

№	Наименование компании
1	Министерство дорожного хозяйства и транспорта Челябинской области
2	Министерство лесного хозяйства Красноярского края, КГКУ «Лесная охрана»
3	Министерство природных ресурсов и экологии Омской области
4	Служба по контролю и надзору в сфере охраны окружающей среды, объектов животного мира и лесных отношений Ханты-мансийского автономного округа – Югры
5	ГБУЗ «КМЦРМБ» ЛНР
6	АО «Национальный центр вертолетостроения им. М.Л. Миля и Н.И. Камова» (АО «Вертолеты России», Госкорпорация «Ростех»)
7	АО «Уральское проектно-конструкторское бюро «Деталь» (АО «Корпорация «Тактическое ракетное вооружение»)
8	ОАО «ОКБ Сухого» (входит в ПАО «ОАК», Госкорпорация «Ростех»)
9	АО «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте»
10	АО «РУСАЛ»
11	АО «Спутниковая система «Гонец»
12	АО «Научно-исследовательский институт полупроводниковых приборов»
13	АО «Технопарк Санкт-Петербурга»
14	АНО «НПЦ БАС «Туладрон»
15	ЗАО «АВТОТЕХКОМПЛЕКТ»
16	НКО АНО «Центр автономных решений и технологий связи»
17	ООО «СТЦ»
18	ООО «Лаборатория Будущего»
19	ООО «Гироплан-Рус»
20	ООО «Флайтус»
21	ООО «Аэроберри-Лаб»
22	ООО «Группа технических инноваций»
23	ООО «Компания «Технопарк-В»
24	ООО «Био Винг Протекшн»
25	ООО «Машаэро»
26	ООО «Конструкторское бюро А. Кеменова»
27	ООО «Соленна»
29	Стартап Университета 20.35 – Projects
30	ФГБОУ ВО «Костромской государственный университет»

№	Наименование компании
31	ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет имени В.А. Бондаренко»
32	ФГБОУ ВО «Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д.Н. Прянишникова»
33	ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет»
34	ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет»
35	Рязанский институт (филиал) ФГАОУ ВО «Московский политехнический университет»
36	ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева»
37	ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова»
38	ФГБОУ ВО «Тольяттинский государственный университет»
39	ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный технический университет»

ГЛОССАРИЙ

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

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

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

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

Геоинформационная система (ГИС) – **Геоинформационная система:** Информационная система, оперирующая пространственными данными [ГОСТ Р 52438-2005].

Геоинформационная система предназначается для сбора, хранения, анализа и графической визуализации пространственных данных и связанной с ними информации о представленных в ГИС объектах [3].

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 [3].

Средства автоматизированного проектирования: Программное обеспечение, которое должно предоставлять возможность автоматизированного проектирования, которое должно позволять создавать конструкторскую и технологическую документацию [2].

Средства (системы) инженерного анализа (CAE)

– **Средства инженерного анализа:** Программное обеспечение, которое должно предоставлять возможность оценки жизнеспособности компьютерных моделей [2].

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 [3].

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 [2].

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 [3].

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 [2].

Система управления данными об изделии: Информационная система, обеспечивающая накопление, хранение и сопровождение данных и документов об изделии, а также их предоставление заинтересованным лицами в соответствии с заданными правами доступа [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 [3].

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 [2]. **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 [2]. 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 [581].

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 [581].

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 [2].

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) [3].

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 [3].

БИБЛИОГРАФИЯ

1. ГОСТ Р 57258-2016. Национальный стандарт Российской Федерации. Системы беспилотные авиационные. Термины и определения [Электронный ресурс]. URL: https://meganorm.ru/mega_doc/norm/gost-r_gosudarstvennyj-standart/14/g ost_r_57258-2016_natsionalnyy_standart_rossiyskoy.html (дата обращения: 19.05.2026).
2. Классификатор ПО [Электронный ресурс]. URL: https://ru-ikt.ru/reestrpo (дата обращения: 21.05.2026).
3. Приказ от 21 октября 2024 г. № 483 «Об утверждении формы федерального статистического наблюдения для организации федерального статистического наблюдения за разработкой и (или) использованием передовых производственных технологий» [Электронный ресурс]. URL: https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=480912 (дата обращения: 19.05.2026).
4. Лопота А. В., Николаев А. Б. Беспилотные летательные аппараты. Современные тенденции развития робототехнических комплексов // Пути к миру и безопасности. С. 104–111.
5. Национальный проект «Беспилотные авиационные системы» [Электронный ресурс] // Национальные проекты РФ Официальный сайт. URL: https://национальныепроекты.рф/new-projects/bespilotnye-aviatsionnye-sistemy/ (дата обращения: 30.03.2026).
6. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 21.06.2023 г. № 1630-р «Об утверждении Стратегии развития беспилотной авиации Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2035 года и плана мероприятий по ее реализации» [Электронный ресурс] // Правительство России. 2026. URL: http://government.ru/news/48875/ (дата обращения: 30.03.2026).
7. Перечень поручений по итогам совещания по развитию беспилотных авиационных систем (утв. Президентом Российской Федерации 21 марта 2025 г. Пр-589) [Электронный ресурс] // Президент России. 2025. URL: http://www.kremlin.ru/acts/assignments/orders/76506 (дата обращения: 30.03.2026).
8. Перечень поручений по итогам совещания по вопросам развития автономных систем (утв. Президентом Российской Федерации 26 февраля 2026 г. Пр-383) [Электронный ресурс] // Президент России. 2026. URL: http://www.kremlin.ru/acts/assignments/orders/79232 (дата обращения: 30.03.2026).
9. Обзор цифровых технологий обеспечения эксплуатации композитных и гибридных конструкций БВС. Экспертно-аналитический доклад : монография / А. И. Боровков [и др.] ; под ред. А. И. Боровкова. – СПб. : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2025. – 262 с.
10. How Fiberglass Boatbuilding Evolved [Электронный ресурс]. URL: https://goodoldboat.com/how-fiberglass-boatbuilding-evolved/ (дата обращения: 04.03.2026).
11. Historical Composite Industry Materials: Pioneers and Advances [Electronic resource]. URL: https://www.specialchem.com/plastics/guide/historical-composite-industry-pioneers-and-advances (дата обращения: 04.03.2026).
12. Boron Fibers in Aviation [Electronic resource] // Borates Today. 2022. URL: https://borates.today/boron-fibers-aviation/ (дата обращения: 04.03.2026).
13. High-Performance Advanced Composites in Multifunctional Material Design: State of the Art, Challenges, and Future Directions [Electronic resource] // Materials. 2024. URL: https://www.mdpi.com/1996-1944/17/23/5997 (дата обращения: 03.03.2026).

14. Kantaros A. et al. Composite Filament Materials for 3D-Printed Drone Parts: Advancements in Mechanical Strength, Weight Optimization and Embedded Electronics // Materials. 2025. Т. 18, № 11. P. 2465.
15. The Use of Composite Materials in Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) [Electronic resource] // AZoM. 2015. URL: https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=12234 (дата обращения: 20.02.2026).
16. Yilmaz M. A. et al. Advanced composite wing design for next-generation military UAVs: A progressive numerical optimization framework // Defence Technology. Elsevier, 2025. P. 141–155.
17. Practical Use of Composite Materials Used in Military Aircraft [Electronic resource]. MDPI, 2021. URL: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8432537/ (дата обращения: 13.02.2026).
18. Introduction to Composite Materials and their application and use in Aircraft and Unmanned Aerial Systems (UAS) [Electronic resource]. URL: https://sassofia.com/blog/introduction-to-composite-materials-and-their-application-and-use-in-aircraft-and-unmanned-aerial-systems-uas/ (дата обращения: 13.02.2026).
19. Ever Wonder How Boeing's 787 Dreamliner Is Able to Fly? [Electronic resource]. URL: https://www.thoughtco.com/boeings-787-dreamliner-820385 (дата обращения: 11.02.2026).
20. Prepreg vs Laminated Carbon Fiber Sheets : Which One Is Right for You? [Electronic resource] // NitPro Composites. URL: https://www.nitprocomposites.com/blog/how-a-drone-manufacturer-can-cut-weight-by-40-percentage-using-nitpro-carbon-fiber-tubes (дата обращения: 11.02.2026).
21. Полимерные композиционные материалы для деталей БПЛА [Электронный ресурс]. URL: https://compositeworld.ru/articles/app/id64dc922aedda430019f55de0 (дата обращения: 11.02.2026).
22. GFRP Rebar vs Steel: Cost, Strength, and Long-Term Benefits in Modern Construction - Composite-Tech [Electronic resource]. 2025. URL: https://composite-tech.com/2025/07/04/gfrp-rebar-vs-steel-cost-strength-and-long-term-benefits-in-modern-construction/ (дата обращения: 11.02.2026).
23. Самарские ученые освоили производство дешевого и легкого БПЛА из стеклопластика [Электронный ресурс]. 2024. URL: https://ssau.ru/news/23401-samarskie-uchenye-osvoili-proizvodstvo-deshevogo-i-legkogo-bpla-iz-stekloplastika (дата обращения: 11.02.2026).
24. Области применения арамидного волокна [Электронный ресурс]. URL: https://ru.impact-fibers.com/info/application-fields-of-aramid-fiber-95705883.html (дата обращения: 11.02.2026).
25. Working of Predator Drone [Electronic resource] // Full Afterburner. URL: http://fullafterburner.weebly.com/3/post/2016/11/working-of-predator-drone.html (дата обращения: 11.02.2026).
26. Composites in Aerospace Applications [Electronic resource]. URL: https://www.spglobal.com/pdf/Composites-Aerospace-Applications-whitepaper_26455811091 3046532.pdf (дата обращения: 13.02.2026).
27. Unmanned Composites Market to Reach USD 3.24 Billion by 2033 CAGR of 8.21% [Electronic resource]. URL: https://evolvebi.com/report/unmanned-composites-market-analysis/ (дата обращения: 13.02.2026).
28. Borchardt J. K. Unmanned aerial vehicles spur composites use // Reinforced Plastics. Elsevier, 2004. P. 28–31.

29. History of Boron [Electronic resource] // Specialty Materials. URL: https://www.specmaterials.com/history-of-boron (дата обращения: 13.02.2026).

30. Ahmad F., Kumar P., Patil P. Structural Analysis of a Quadcopter Propeller using Finite Element Method // 2020 International Conference on Advances in Computing, Communication & Materials (ICACCM). IEEE, 2020. P. 408–412.

31. Прогноз развития науки и технологий в гражданском авиастроении в России на период до 2050 года [Электронный ресурс]. ФГБУ «НИЦ «Институт имени Н.Е. Жуковского». URL: https://www.nrczh.ru/upload/medialibrary/c8b/hvew7vtmfw1x7h927gdwxq6ian65kg2r.pdf (дата обращения: 18.05.2026).

32. Siemens strengthens leadership in industrial software and AI with acquisition of Altair Engineering [[Electronic resource] // Siemens. 2024. URL: https://news.siemens.com/en-us/siemens-altair/ (дата обращения: 11.03.2026).

33. Continuous Composites demonstrates CF3D technology for Lockheed Martin, AFRL WiSDM project [Electronic resource]. 2026. URL: https://www.compositesworld.com/news/continuous-composites-demonstrates-cf3d-technology-for-lockheed-martin-afrl-wisdm-project (дата обращения: 05.03.2026).

34. CF3D technology developments for continuous fiber AM applications [Electronic resource]. 2026. URL: https://www.compositesworld.com/news/potential-news (дата обращения: 05.03.2026).

35. Fang G. et al. Exceptional mechanical performance by spatial printing with continuous fiber: Curved slicing, toolpath generation and physical verification // Additive Manufacturing. 2024. T. 82. P. 104048.

36. Load-Oriented Nonplanar Additive Manufacturing with Continuous Carbon Fiber Composites [Electronic resource]. URL: https://www.addcomposites.com/post/load-oriented-nonplanar-additive-manufacturing-with-continuous-carbon-fiber-composites (дата обращения: 05.03.2026).

37. Ricardo M. D. B. et al. 3D-Printed Continuous Fiber Composites: An Overview of Materials, Systems and Processes: // Advanced Materials & Sustainable Manufacturing. 2025. T. 2, № 4. P. 10018–10018.

38. Khan M. H. U. et al. Rapid Manufacturing of Lightweight Drone Frames Using Single-Tow Architected Composites. arXiv, 2025. P. 23.

39. Khan I. M. 3D Fiber Tethering for rapid fabrication of continuous fiber composites: CarbonForm's 3DFit technology combines robotic, continuous fiber 3D printing and winding to produce small, high-strength, complex parts // CompositesWorld. 2025. P. 36.

40. Lab B. Bambu Lab Launches X1 Series - The prosumer-grade CoreXY printer that brings 3D printing technology into AI-powered era [Electronic resource]. URL: https://www.prnewswire.com/news-releases/bambu-lab-launches-x1-series--the-prosumer-grade-corexy-printer-that-brings-3d-printing-technology-into-ai-powered-era-301553488.html (дата обращения: 06.03.2026).

41. Tyrer-Jones A. British Army Deploys Bambu Lab 3D Printer to Manufacture Attack Drones [Electronic resource] // 3D Printing Industry. 2025. URL: https://3dprintingindustry.com/news/british-army-deploys-bambu-lab-3d-printer-to-manufacture-attack-drones-242725/ (дата обращения: 06.03.2026).

42. Baron J. D., Naveed M. O., Chen L. An experimental investigation of hybrid fused filament fabrication with in-process machining // Manufacturing Letters. 2025. T. 44. P. 442–452.

43. Kosmal T. et al. Hybrid additive robotic workcell for autonomous fabrication of mechatronic systems – A case study of drone fabrication // Additive Manufacturing Letters. 2022.

44. Sensors for process and structural health monitoring of aerospace composites: A review [Electronic resource]. 2021. URL: https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0141029621003813 (дата обращения: 11.03.2026).

45. COST Action TU1402 - Quantifying the Value of Structural Health Monitoring - COST Action TU 1402 [Electronic resource] // https://www.cost-tu1402.eu. URL: https://www.cost-tu1402.eu/ (дата обращения: 11.03.2026).

46. Leon J. S. D. et al. Structural Health Monitoring of UAV Wing Platform Using FBG Sensors, Wavelet Transform, and Computational Intelligence // Proceedings of the 15th International Workshop on Structural Health Monitoring. Destech Publications, Inc., 2025.

47. Paladugu S. R. M. et al. A Comprehensive Review of Self-Healing Polymer, Metal, and Ceramic Matrix Composites and Their Modeling Aspects for Aerospace Applications // Materials. 2022. Т. 15, № 23.

48. Sottos N., White S., Bond I. Introduction: self-healing polymers and composites // Journal of The Royal Society Interface. 2007.

49. Cenciotti D. Transformer jets, self-healing aircraft and UAVs printed with 3D printers: future of aviation unveiled [Electronic resource] // The Aviationist. 2014. URL: https://theaviationist.com/2014/07/09/bae-futuristic-aircraft/ (дата обращения: 11.03.2026).

50. The Future of Simulation: AI, Cloud Computing, and Democratization of FEA [Electronic resource] // FEA Academy. URL: https://www.fea-academy.com/index.php/component/content/article/27-blog/fea-generalities/84-the-future-of-simulation-ai-cloud-computing-and-democratization-of-fea (дата обращения: 12.03.2026).

51. AIAA Digital Twin Institute. Digital Twin: Definition & Value [Electronic resource]: Position Paper. American Institute of Aeronautics and Astronautics (AIAA), 2020. URL: https://aiaa.org/wp-content/uploads/2024/12/digital-twin-institute-position-paper-december-2020.pdf (дата обращения: 12.03.2026).

52. Karali H., Inalhan G., Tsourdos A. Advanced UAV Design Optimization Through Deep Learning-Based Surrogate Models // Aerospace. 2024. Т. 11, № 8. P. 669.

53. Каппуццо Ф. Редуцирование модели для увеличения скорости расчета в Simcenter Amesim // CAD/CAM/CAE Observer. 2021. № 2 (142). С. 34–40.

54. Цифровая платформа по разработке и применению цифровых двойников «Digital Twins» CML-Bench® (часть 8.2): применение параметрической оптимизации, методов машинного обучения и генеративного искусственного интеллекта при разработке цифровых двойников изделий / А. Боровков, А. Новокшенов, А. Матвеева [и др.] // САПР и графика. – 2025. – № 11(351). – С. 32-41.

55. Цифровая платформа по разработке и применению цифровых двойников «Digital Twins» CML-Bench® (часть 8.1): применение параметрической оптимизации, методов машинного обучения и генеративного искусственного интеллекта при разработке цифровых двойников изделий / А.И. Боровков [и др.] // САПР и графика. – 2025. – № 10. – С. 19-29.

56. Sharma R. S., Hosder S. Investigation of Aircraft Design Space Exploration with Machine Learning // AIAA Scitech 2021 Forum. VIRTUAL EVENT: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2021. P. 114.

57. Azizi Oroumieh M. A. et al. Aircraft design cycle time reduction using artificial intelligence //

Aerospace Science and Technology. 2013. Т. 26, № 1. P. 244–258.

58. Boutemedjet A. et al. UAV aerodynamic design involving genetic algorithm and artificial neural network for wing preliminary computation // Aerospace Science and Technology. 2019. Т. 84. P. 464–483.
59. Digital engineering in an AI world McKinsey [Electronic resource]. URL: https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/unveiling-the-next-frontier-of-engineering-simulation#/ (дата обращения: 13.03.2026).
60. Ghimire R., Raji A. Use of Artificial Intelligence in Design, Development, Additive Manufacturing, and Certification of Multifunctional Composites for Aircraft, Drones, and Spacecraft // Applied Sciences. 2024. P. 1187.
61. Menon S. S. et al. On scientific foundation models: Rigorous definitions, key applications, and a comprehensive survey // Neural Networks. 2026. Т. 198. P. 108567.
62. Liao M., Renaud G., Bombardier Y. Airframe digital twin technology adaptability assessment and technology demonstration // Engineering Fracture Mechanics. 2020. Т. 225. P. 106793.
63. A digital twin for composite parts manufacturing [Electronic resource]. URL: https://www.addcomposites.com/post/a-digital-twin-for-composite-parts-manufacturing (дата обращения: 13.03.2026).
64. В Петербурге разрабатывают цифровые модели БПЛА [Электронный ресурс] // Российская газета. 2025. URL: https://rg.ru/2025/10/15/reg-szfo/startuet-dvojnik.html (дата обращения: 13.03.2026).
65. Цифровая платформа по разработке и применению цифровых двойников «Digital Twins» CML-Bench® (часть 9.1): применение в отрасли беспилотных авиационных систем / А.И. Боровков [и др.] // САПР и графика. – 2026. – № 4. – С. 16-28.
66. Zhou X. et al. On the development of the structural digital twin of an unmanned aerial vehicle. 2024. P. 1–8.
67. Китай официально признал российский ГОСТ цифровых двойников изделий [Электронный ресурс]. URL: https://www.spbstu.ru/media/news/achievements/kitay-ofitsialno-priznal-rossiyskiy-gost-tsifrovykh-dvoynikov-izdeliy/ (дата обращения: 01.06.2026).
68. Foundational Research Gaps and Future Directions for Digital Twins [Electronic resource]. Washington, D.C.: National Academies Press, 2024. С. 26894. URL: https://www.nationalacademies.org/publications/26894 (дата обращения: 17.06.2026).
69. Li L. et al. Digital Twin in Aerospace Industry: A Gentle Introduction // IEEE Access. 2022. Т. 10. P. 9543–9562.
70. Creating a large-scale European drone market [Electronic resource] // European Commission. URL: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_22_7076 (дата обращения: 12.05.2026).
71. Drone Strategy 2.0: A vision for the future, actions for today [Electronic resource]. URL: https://fipra.com/insights/drone-strategy-2-0-a-vision-for-the-future-actions-for-today/ (дата обращения: 12.05.2026).
72. EDIP Forging Europe's Defence [Electronic resource]. URL: https://defence-industry-space.ec.europa.eu/eu-defence-industry/edip-forging-europes-defence_en (дата обращения: 12.05.2026).
73. GENEX [Electronic resource]. URL: https://genex-project.eu/ (дата обращения: 12.05.2026).

74. Clean Aviation Joint Undertaking European Union [Electronic resource]. URL: https://european-union.europa.eu/institutions-law-budget/institutions-and-bodies/search-all-eu-institutions-and-bodies/clean-aviation-joint-undertaking_en (дата обращения: 12.05.2026).

75. Clean Aviation [Electronic resource]. URL: https://www.clean-aviation.eu/ (дата обращения: 12.05.2026).

76. Eco Compass Project [Electronic resource]. URL: http://www.eco-compass.eu/ (дата обращения: 12.05.2026).

77. Unleashing American Drone Dominance [Electronic resource] // The White House. 2025. URL: https://www.whitehouse.gov/presidential-actions/2025/06/unleashing-american-drone-dominance/ (дата обращения: 01.06.2026).

78. Elroy Air - About Us [Electronic resource]. URL: https://elroyair.com/company/about-us (дата обращения: 12.05.2026).

79. Skydweller Aero Signals Dawn of Practical Solar Flight - Forbes Skydweller - [Electronic resource] // Skydweller. 2024. URL: https://www.skydweller.aero/news/forbes-skydweller-aero-us-navy-eternal-drone-solar-flight/ (дата обращения: 13.02.2026).

80. Anduril Introduces Ghost 4 – Airscope Technologies [Electronic resource]. URL: https://air-scope.ae/anduril-introduces-ghost-4/ (дата обращения: 13.02.2026).

81. Elroy Air lands deal with Mesa Airlines, unveils newest Chaparral aircraft [Electronic resource] // Vertical Mag. 2022. URL: https://verticalmag.com/news/elroy-air-deal-mesa-airlines-unveils-chaparral-aircraft/ (дата обращения: 13.02.2026).

82. Syensqo's composites demonstrate titanium replacement on Boeing applications [Electronic resource] // Syensqo. 2025. URL: https://www.syensqo.com/en/press-release/syensqos-composites-demonstrate-titanium-replacement-boeing-applications (дата обращения: 13.02.2026).

83. Hexcel Supports Boeing's Development of the MQ-25 Stingray with Innova tive Honeycomb Core Solution [[Electronic resource]. 2024. URL: https://hexcel.com/hexcel-supports-boeings-development-of-the-mq-25-st ingray-with-innovative-honeycomb-core-solution/ (дата обращения: 13.02.2026).

84. MQ-9B SkyGuardian: General Atomics Brings the Future of Unmanned Systems to JUSTAS [Электронный ресурс] // Canadian Defence Review. 2017. URL: https://www.ga-asi.com/images/news/100117CDR_MQ-9B_SkyGuardian_Readly_to_deliver_JUSTAS.pdf (дата обращения: 13.02.2026).

85. Fire Scout reborn: MQ-8C cutaway and technical description [Electronic resource] // Flight Global. URL: https://www.flightglobal.com/fire-scout-reborn-mq-8c-cutaway-and-technical-description/112982.article (дата обращения: 13.02.2026).

86. Firejet Kratos Defense [Electronic resource]. URL: https://www.kratosdefense.com/unmanned-systems/air/aerial-targets/fire jet (дата обращения: 13.02.2026).

87. T-20 - Industrial drone by Arcturus-UAV, LLC AeroExpo [Electronic resource]. URL: https://www.aeroexpo.online/prod/arcturus-uav-llc/product-181444-26664 .html (дата обращения: 13.02.2026).

88. AeroVironment RQ-12A Wasp III - War Wings Daily [Electronic resource]. 2024. URL: https://warwingsdaily.com/drones-uavs-ucavs/aerovironment-rq-12a-wasp-iii/ (дата обращения: 13.02.2026).

89. BQM-167A Air Force Subscale Aerial Target [Electronic resource] // Air Force. URL:

https://www.af.mil/Home/Article/104562/bqm-167a-air-force-subscale-aerial-target/ (дата обращения: 13.02.2026).

90. Insitu's ScanEagle & Integrator [Electronic resource] // Uncrewed Systems. 2024. URL: https://www.uncrewed-systems.com/insitus-scaneagle-integrator/ (дата обращения: 13.02.2026).
91. A160 Hummingbird Unmanned Rotorcraft [Electronic resource] // Airforce Technology. URL: https://www.airforce-technology.com/projects/hummingbird/ (дата обращения: 13.02.2026).
92. Under the Radar with Unmanned Aerial Vehicles [Electronic resource] // Smithsonian Magazine. URL: https://www.smithsonianmag.com/arts-culture/under-the-radar-with-unmanned-aerial-vehicles-51043609/ (дата обращения: 13.02.2026).
93. Shadow 200 RQ-7 Tactical Unmanned Aircraft System [Electronic resource] // Army Technology. URL: https://www.army-technology.com/projects/shadow-200-uav/ (дата обращения: 13.02.2026).
94. Parrot Drones SAS. ANAFI USA White Paper [Electronic resource]. 2024. URL: https://www.parrot.com/assets/s3fs-public/2023-02/ANAFI-USA-white-paper-en.pdf (дата обращения: 16.02.2026).
95. Drone Volt. Hercules 20: High Payload Capacity Drone [Electronic resource]. Villepinte, France, 2025. URL: https://www.dronevolt.com/wp-content/uploads/2025/06/Hercules_20_EN_DroneVolt_2025.pdf (дата обращения: 19.02.2026).
96. Export success for the Spy'Ranger 330 Thales Group [Electronic resource]. 2026. URL: https://www.thalesgroup.com/en/news-centre/news-brief/defence/air/export-success-spyranger-330 (дата обращения: 19.02.2026).
97. Wingcopter begins type certification for composite drone in Japan [Electronic resource]. 2026. URL: https://www.compositesworld.com/news/wingcopter-begins-type-certification-for-composite-drone-in-japan (дата обращения: 19.02.2026).
98. LUNA – Uncrewed air-supported reconnaissance system Rheinmetall [Electronic resource]. URL: https://www.rheinmetall.com/en/products/uncrewed-systems/luna (дата обращения: 19.02.2026).
99. SuperHornet UAV [Electronic resource] // Robodrone. URL: https://www.robodrone.com/defense-superhornet (дата обращения: 19.02.2026).
100. Primoco One 150 UAV, Czech Republic [Electronic resource] // Army Technology. URL: https://www.army-technology.com/projects/primoco-one-150-uav-czech-republic/ (дата обращения: 19.02.2026).
101. EquipTech Services LLP. Presentation of PRIMOCO UAV [Electronic resource]. URL: https://www.equiptechservices.com/wp-content/uploads/Brochures/UAV%20Technical%20Specification%20&%20Application.pdf (дата обращения: 19.02.2026).
102. WB Electronics (Flytronic) «FlyEye» [Electronic resource]. URL: http://www.samolotypolskie.pl/samoloty/13908/77/Flytronic-WB-Electronics-FlyEye2 (дата обращения: 19.02.2026).
103. UMS SKELDAR introduces the modular design benefits of its V-150 UAS at UMEX 2022 [Electronic resource] // UMS SKELDAR. 2022. URL: https://umsskeldar.aero/ums-skeldar-introduces-the-modular-design-benefits-of-its-v-150-uas-at-umex-2022/ (дата обращения: 20.02.2026).
104. SKELDAR V-150 VTOL UAV, Switzerland/Sweden [Electronic resource] // Airforce Technology. URL: https://www.airforce-technology.com/projects/skeldar-v-150-vtol-uav/ (дата обращения:

20.02.2026).

105. Process development for pressing hull components [Electronic resource] // Smartplanes. URL: https://smartplanes.com/project/processutveckling/ (дата обращения: 20.02.2026).

106. Nordic Aircraft – Your partner in composites [Electronic resource]. URL: https://www.nordicaircraft.com/ (дата обращения: 20.02.2026).

107. An Adaptive Landing Gear for Extending the Operational Range of VTOL UAVs [Electronic resource] // 2018 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS). IEEE, 2018. URL: https://www.markobjelonic.com/publications/files/2018_iros_stolz.pdf (дата обращения: 20.02.2026).

108. Technical Analysis of the Bayraktar Kızılelma Unmanned Combat Aerial Vehicle (UCAV) Architecture LinkedIn [Electronic resource]. URL: https://www.linkedin.com/pulse/technical-analysis-bayraktar-k%C4%B1z%C4%B1lelma-unmanned-combat-amir-raza-7zz0f/ (дата обращения: 20.02.2026).

109. Unmanned / Autonomous Systems [Electronic resource] // Lentatek. URL: https://www.lentatek.com/solutions/unmanned-systems-autonomous-systems (дата обращения: 20.02.2026).

110. AMSL Aero makes H2 testing milestones for hybrid Vertiia eVTOL [Electronic resource]. 2026. URL: https://www.compositesworld.com/news/amsl-aero-makes-h2-testing-milestones-for-hybrid-vertiia-evtol (дата обращения: 20.02.2026).

111. Boeing, RAAF validate MQ-28 aircraft's operational capabilities [Electronic resource] // Airforce Technology. 2025. URL: https://www.airforce-technology.com/news/boeing-raaf-mq-28-aircraft/ (дата обращения: 20.02.2026).

112. The Royal Australian Air Force demonstrated the capabilities of its new MQ-28 Ghost Bat collaborative combat drone [Electronic resource]. URL: https://www.zona-militar.com/en/2025/09/17/the-royal-australian-air-force-demonstrated-the-capabilities-of-its-new-mq-28-ghost-bat-collaborative-combat-drone/ (дата обращения: 20.02.2026).

113. Bremer 80 Drone [Electronic resource] // Industrial and Commercial Drones - Made in Australia - UAV Hardware and Software. URL: https://www.saidynamics.com.au/bremer-80-drone-rpas/ (дата обращения: 20.02.2026).

114. Fixed-Wing / VTOL Airframes: Carbonix Brochure [Electronic resource]. 2021. URL: https://carbonix.com.au/wp-content/uploads/2021/2021%20Carbonix%20Brochure.pdf (дата обращения: 20.02.2026).

115. ScanEagle (SE) Unmanned Aircraft System (UAS) Standard Operating Procedure, Phase II [Electronic resource]: Bertholf Notice (BERTNOTE). United States Coast Guard, 2013. URL: https://www.unols.org/sites/default/files/ScanEagle_SOP_phase2OII_ver1.pdf (дата обращения: 20.02.2026).

116. Textron Systems beds down Aerosonde operations in Blackstone [Electronic resource] // Flight Global. URL: https://www.flightglobal.com/textron-systems-beds-down-aerosonde-operations-in-blackstone/120540.article (дата обращения: 20.02.2026).

117. Постановление Правительства Российской Федерации от 22.05.2026 г. № 587 «О продлении срока действия экспериментального правового режима в сфере цифровых инноваций по эксплуатации сельскохозяйственных беспилотных авиационных систем и внесении изменений в Постановление Правительства Российской Федерации от 16 сентября 2023 г. № 1510» [Электронный ресурс]. URL: http://government.ru/docs/all/164709/ (дата обращения: 01.06.2026).

118. Минпромторг предложил стратегию развития беспилотной авиации до 2035 года [Электронный ресурс] // Коммерсантъ. 2025. URL: https://www.kommersant.ru/doc/8159704 (дата обращения: 01.06.2026).

119. 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.

120. Анализ российского рынка композитных материалов: итоги 2023 г., прогноз до 2027 г.: [Электронный ресурс] // РБК Магазин исследований. URL: https://marketing.rbc.ru/articles/14733/ (дата обращения: 20.02.2026).

121. «Наша цель — сделать Россию передовой страной в области композитных технологий» [Электронный ресурс]. URL: https://atomvestnik.ru/2024/04/01/nasha-cel-sdelat-rossiju-peredovoj-stranoj-v-oblasti-kompozitnyh-tehnologij/ (дата обращения: 20.02.2026).

122. БАС miniSIGMA от производителя АВАКС [Электронный ресурс]. URL: https://sigma.uav-siberia.com (дата обращения: 20.02.2026).

123. Supercam X6M2F [Electronic resource] // SUPERCAM. URL: https://supercam.aero/catalog/bvs/supercam-x6m2f (дата обращения: 20.02.2026).

124. Supercam X4 [Electronic resource] // SUPERCAM. URL: https://supercam.aero/catalog/supercam-x4 (дата обращения: 20.02.2026).

125. Supercam S350 [Electronic resource] // SUPERCAM. URL: https://supercam.aero/catalog/ supercam-s350 (дата обращения: 20.02.2026).

126. Supercam S100F [Electronic resource] // SUPERCAM. URL: https://supercam.aero/catalog/bvs/supercam-s100f (дата обращения: 20.02.2026).

127. Беспилотный авиационный комплекс (БПЛА) Supercam S100F [Электронный ресурс]. URL: https://tradegeo.ru/bpla/supercam/bespilotnyy-aviatsionnyy-kompleks-bpla-supercam-s100f/ (дата обращения: 20.02.2026).

128. UAV ZALA 421-22 [Electronic resource]. URL: https://www.rstradehouse.com/item?id=100210122487&l=en (дата обращения: 20.02.2026).

129. Commercial Drones in 2023: Trends and Growth Prospects [Electronic resource] // Drone Industry Insights (Droneii). URL: https://www.commercialuavnews.com/international/commercial-drones-in-2023-trends-and-growth-prospects (дата обращения: 06.02.2026).

130. Drone Market Growth 2025 and beyond [Electronic resource] // Drone Industry Insights (Droneii). 2025. URL: https://droneii.com/drone-market-growth-in-2025-and-beyond (дата обращения: 05.02.2026).

131. Drones Take Flight: Unlocking Market Growth and Potential [Electronic resource] // BCC Research. URL: https://www.bccresearch.com/pressroom/product/global-drone-technology-markets (дата обращения: 05.02.2026).

132. Global Drone Technology Markets Size, Share and Growth 2029 [Electronic resource] // BCC Research. URL: https://www.bccresearch.com/market-research/instrumentation-and-sensors/drone-technology-global-markets.html (дата обращения: 05.02.2026).

133. Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Drones Market Size, Share, and Trends 2026 to 2035 [Electronic resource] // Precedence Research. URL: https://www.precedenceresearch.com/unmanned-aerial-vehicle-drones-market (дата обращения: 06.02.2026).

134. Unmanned Aerial Vehicle Market Size, Share, and Trends 2025 to 2034 [Electronic resource] //

Precedence Research. URL: https://www.precedenceresearch.com/unmanned-aerial-vehicle-market (дата обращения: 05.02.2026).

135. Global Drone Market Size, Trends, Growth & Forecast 2030 [Electronic resource] // Markets and Markets. URL: https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/unmanned-aerial-vehicles-uav-market-662.html (дата обращения: 05.02.2026).
136. Global Drone Market Size, Share Analysis Report [Electronic resource] // Market.us Scoop. URL: https://market.us/report/drone-market/ (дата обращения: 05.02.2026).
137. Unmanned Aerial Vehicle [UAV] Market Size, Share, Report 2032 [Electronic resource] // Fortune Business Insights. URL: https://www.fortunebusinessinsights.com/industry-reports/unmanned-aerial-vehicle-uav-market-101603 (дата обращения: 05.02.2026).
138. Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Market [Electronic resource] // Market Research Future. URL: https://www.marketresearchfuture.com/reports/unmanned-aerial-vehicle-uav-market-806 (дата обращения: 05.02.2026).
139. UAV Drones Market Report 2026 [Electronic resource] // The Business Research Company. URL: https://www.thebusinessresearchcompany.com/report/uav-drones-global-market-report (дата обращения: 05.02.2026).
140. Global State of Drones 2025 [Electronic resource] // Drone Industry Insights (Droneii). 2025. URL: https://droneii.com/project/global-state-of-drones-2025-2 (дата обращения: 06.02.2026).
141. The State of the Drone Industry 2025 – Survey Demographics [Electronic resource] // Drone Industry Insights (Droneii). 2025. URL: https://droneii.com/the-state-of-the-drone-industry (дата обращения: 11.02.2026).
142. 10 Years of Commercial Drone Funding and Hard Times Ahead [Electronic resource] // Dronell. 2025. URL: https://droneii.com/commercial-drone-funding-a-phase-of-realignment (дата обращения: 26.02.2026).
143. Dual-use drones dominate global funding 2025 [Electronic resource] // Dronell. 2026. URL: https://droneii.com/dual-use-drones-dominate-2025-funding (дата обращения: 26.02.2026).
144. Drone Market Size, Share & Growth Industry Report [Electronic resource] // Grand View Research. URL: https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/drone-market-report (дата обращения: 06.02.2026).
145. Анализ мирового рынка БАС: перспективы российского экспорта [Electronic resource]. URL: https://налетай.рф/ (дата обращения: 06.02.2026).
146. Aerospace And Defense Materials Market Size Report [Electronic resource] // Grand View Research. URL: https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/aerospace-defense-materials-market (дата обращения: 09.02.2026).
147. US UAV (Drone) Market Size, Share, Analysis & Statistics, 2030 [Electronic resource] // Markets and Markets. URL: https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/us-uav-drone-market-72861820.html (дата обращения: 10.02.2026).
148. North America Drone Market [Electronic resource] // Market.us Scoop. URL: https://market.us/report/north-america-drone-market/ (дата обращения: 10.02.2026).
149. The U.S. Aerial Drone Market [Electronic resource] // Center for Security and Emerging Technology Georgetown University's Walsh School of Foreign Service. URL: https://cset.georgetown.edu/publication/the-u-s-aerial-drone-market/ (дата обращения: 11.02.2026).

150. Uncrewed Systems and Robotics Database [Electronic resource] // AUVSI. URL: https://www.auvsi.org/advocacy/research-reports/uncrewed-systems-and-robotics-database/ (дата обращения: 11.02.2026).

151. Aerospace Composites Market Share, Size, Forecast [Electronic resource] // The Business Research Company. URL: https://www.thebusinessresearchcompany.com/report/aerospace-composites-global-market-report (дата обращения: 13.02.2026).

152. Aerospace Composite Market: Trends, Growth Forecast, and Key Industry Insights [Electronic resource]. URL: https://www.precedenceresearch.com/aerospace-composite-market (дата обращения: 13.02.2026).

153. Aerospace Composites Market Business Trends Analysis [Electronic resource] // SkyQuest Technology Consulting. URL: https://www.skyquestt.com/report/aerospace-composites-market (дата обращения: 13.02.2026).

154. Global Aerospace Composites Market Size & Forecast [Electronic resource] // Markets and Markets. URL: https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/aerospace-composites-market-246663558.html (дата обращения: 13.02.2026).

155. Aerospace Composites Market [Electronic resource] // Market.us Scoop. URL: https://market.us/report/aerospace-composites-market/ (дата обращения: 13.02.2026).

156. Aerospace Composites Market Aiming for USD 101.2 bn by 2033 [Electronic resource] // Market.us Scoop. 2024. URL: https://scoop.market.us/aerospace-composites-market-news/ (дата обращения: 13.02.2026).

157. Aerospace Composites Market Size, Share, Forecast to 2035 [Electronic resource] // Market Research Future. URL: https://www.marketresearchfuture.com/reports/aerospace-composites-market-1242 (дата обращения: 13.02.2026).

158. Unmanned Composites Market Size, Industry Analysis, Share, Forecast 2034 [Electronic resource] // Zion Market Research. URL: https://www.zionmarketresearch.com/report/unmanned-composites-market (дата обращения: 13.02.2026).

159. Composite Material Drone Market Outlook 2025-2032 [Electronic resource] // Intel Market Research. URL: https://www.intelmarketresearch.com/composite-material-drone-2025-2032-460-4878 (дата обращения: 13.02.2026).

160. 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 [и др.] ; под ред. канд. техн. наук А. И. Боровкова. – СПб. : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2025. – 140 с.

162. Composite Material Simulation Analysis Software Market Disruption and Future Trends [Electronic resource] // Market Report Analytics. 2026. URL: https://www.marketreportanalytics.com/reports/composite-material-simulation-analysis-software-56595 (дата обращения: 13.02.2026).

163. Composite Material Simulation Software Market Research Report [Electronic resource] // Wise-Guy Reports. URL: https://www.wiseguyreports.com/reports/composite-material-simulation-software-market (дата обращения: 13.02.2026).

164. Consumer-Driven Trends in Composite Material Simulation Analysis Software Market [Electronic resource] // Data Insights Market. 2026. URL: https://www.datainsightsmarket.com/reports/composite-material-simulation-analysis-software-1427235 (дата обращения: 13.02.2026).

165. AV Global Defense Technology across Air, Land, Sea, Space, and Cyber [Electronic resource] // AeroVironment, Inc. URL: https://www.avinc.com (дата обращения: 19.02.2026).

166. The Top 36 Drone Companies in 2025 [Electronic resource] // Drone UTM. URL: https://www.thedroneu.com/blog/top-drone-companies/ (дата обращения: 19.02.2026).

167. Top 10 Companies Leading the Drone Technology Market [Electronic resource] // BCC Research. URL: https://blog.bccresearch.com/top-10-companies-leading-the-drone-technology-market (дата обращения: 19.02.2026).

168. Challenger Aerospace Systems (Resilient Energy Inc.) [Electronic resource] // BAVOVNA. URL: https://bavovna.ai/manufactures/challenger-aerospace-systems/ (дата обращения: 19.02.2026).

169. Resilient Energy Inc. Announces Major Breakthrough [Electronic resource] // Subcontractors USA. 2024. URL: https://subcusa.com/resilient-energy-inc-announces-major-breakthrough/ (дата обращения: 19.02.2026).

170. Challenger Aerospace & Defense 2026 Company Profile: Valuation, Investors, Acquisition PitchBook [Electronic resource] // PitchBook. URL: https://pitchbook.com/profiles/company/538960-69 (дата обращения: 19.02.2026).

171. Unmanned Systems Development, Research and Integration [Electronic resource] // UAVOS. URL: https://www.uavos.com/ (дата обращения: 19.02.2026).

172. Transforming U.S. Defense Capabilities with Advanced Technology [Electronic resource] // Anduril. URL: https://www.anduril.com/ (дата обращения: 19.02.2026).

173. Easy Aerial 2026 Company Profile: Valuation, Funding & Investors [Electronic resource]. URL: https://pitchbook.com/profiles/company/225223-48 (дата обращения: 20.02.2026).

174. Easy Aerial [Electronic resource]. URL: https://www.easyaerial.com/ (дата обращения: 20.02.2026).

175. xCraft UAV [Electronic resource]. 2022. URL: https://xcraft.io/ (дата обращения: 04.03.2026).

176. Multi-Mission Remotely Piloted Aircraft [Electronic resource] // General Atomics Aeronautical Systems. URL: https://www.ga-asi.com (дата обращения: 05.03.2026).

177. America's Leading Drone Manufacturer [Electronic resource] // Harris Aerial. URL: https://harrisaerial.com/ (дата обращения: 04.03.2026).

178. Autonomous heavy-lift systems for mission-critical operations [Electronic resource] // Kaizen Aerospace. URL: https://www.kaizen.aero (дата обращения: 03.03.2026).

179. Accelerating the industry [Electronic resource] // Northrop Grumman Corporation. URL: https://www.northropgrumman.com (дата обращения: 04.03.2026).

180. A family of flying robots [Electronic resource] // Skydio. URL: https://www.skydio.com/ (дата обращения: 05.03.2026).

181. UAV solutions [Electronic resource] // uav solutions. URL: https://uav-solutions.com (дата обращения: 04.03.2026).

182. The Unfair Advantage [Electronic resource] // Griffon Aerospace. URL: https://www.griffonaerospace.com/ (дата обращения: 04.03.2026).

183. Leading Drone IPOs 2025: Winners, Losers & Market Outlook [Electronic resource] // Dronell. 2025. URL: https://droneii.com/the-diverging-fortunes-of-drone-ipos (дата обращения: 20.02.2026).

184. NextVision Stabilized Systems [Electronic resource] // NextVision Stabilized Systems. URL: https://nextvision-sys.com/about-us/ (дата обращения: 24.02.2026).

185. Mission-critical networks, autonomous drone infrastructure, counter UAV, and artificial intelligence [Electronic resource] // Ondas. URL: https://www.ondas.com/ (дата обращения: 04.03.2026).

186. Defining the Future of All Domain Operations [Electronic resource] // redcat. URL: https://redcat.red/ (дата обращения: 04.03.2026).

187. Here to serve the American drone industry [Electronic resource] // unusual machines. URL: https://www.unusualmachines.com/ (дата обращения: 03.03.2026).

188. Parrot is Europe's leader in the field of professional micro-UAVs [Electronic resource] // Parrot. URL: https://www.parrot.com/en (дата обращения: 04.03.2026).

189. The Sky Is Not the Limit. It's Where We Begin... [Electronic resource] // Volatus Aerospace. URL: https://volatusaerospace.com/ (дата обращения: 04.03.2026).

190. The global leader in uav technology [Electronic resource] // ideaforge. URL: https://ideaforgetech.com/ (дата обращения: 03.03.2026).

191. Professionality. Reliability. Results. [Electronic resource] // Primoco UAV. URL: www.uav-stol.com (дата обращения: 03.03.2026).

192. The Halo Solution: Spectrum-aware connectivity for UAVs and UGVs [Electronic resource] // Elsight Limited. URL: elsight.com (дата обращения: 03.03.2026).

193. A Trusted Name in UAV Hardware, Software, Sensors & Services [Electronic resource] // draganfly. URL: https://draganfly.com/ (дата обращения: 04.03.2026).

194. Drone Market Consolidation 2024 Analysis [Electronic resource] // Dronell. 2025. URL: https://droneii.com/drone-market-consolidation (дата обращения: 20.02.2026).

195. DELAIR acquires SQUADRONE SYSTEM [Electronic resource] // Delair. 2024. URL: https://delair.aero/press/delair-acquires-squadrone-system/ (дата обращения: 20.02.2026).

196. Ondas Holdings completes $12 million acquisition of Apeiro Motion [Electronic resource] // Investing.com. URL: https://www.investing.com/news/sec-filings/ondas-holdings-completes-12-million-acquisition-of-apeiro-motion-93CH-4226830 (дата обращения: 20.02.2026).

197. Hexconn Manufacturing Intelligent Technology (Qingdao) Co., Ltd [Electronic resource] // Baidu-Wiki. URL: https://baike.baidu.com/en/item/Hexconn Manufacturing Intelligent Technology (Qingdao) Co., Ltd/73399 (дата обращения: 20.02.2026).

198. Manufacturing Intelligence [Electronic resource] // Hexagon. URL: https://hexagon.com/company/divisions/manufacturing-intelligence (дата обращения: 20.02.2026).

199. MSC Software [Electronic resource] // Hexagon. URL: https://hexagon.com/company/divisions/manufacturing-intelligence/msc-software (дата обращения: 20.02.2026).

200. Cadence to Acquire Hexagon's Design & Engineering Business, Accelerating Expansion in Physical AI and System Design and Analysis [Electronic resource]. URL: https://www.cadence.com/en_US/home/company/newsroom/press-releases/pr/2025/cadence-to-acquire-hexagons-design--engineering-business.html (дата обращения: 24.02.2026).

201. Cadence Design Systems (CDNS) Market capitalization [Electronic resource] // Companies-MarketCap. URL: https://companiesmarketcap.com/cadence-design-systems/marketcap/ (дата обращения: 24.02.2026).

202. Computational Software for Intelligent System DesignTM [Electronic resource] // Cadence Design Systems. URL: https://www.cadence.com/en_US/home.html (дата обращения: 24.02.2026).

203. Digimat [Electronic resource] // Hexagon. URL: https://hexagon.com/products/digimat (дата обращения: 24.02.2026).

204. Digimat The Material Modeling Platform [Electronic resource] // Cadence Design Systems. URL: https://www.cadence.com/en_US/home/tools/msc-software/digimat.html (дата обращения: 24.02.2026).

205. MaterialCenter Materials Lifecycle Management [Electronic resource] // Cadence Design Systems. URL: https://www.cadence.com/en_US/home/tools/msc-software/materialcenter.html (дата обращения: 24.02.2026).

206. Molecular Modeling Software OpenEye Scientific [Electronic resource]. URL: https://www.eyesopen.com (дата обращения: 24.02.2026).

207. Dassault Systèmes (DSY.PA) Market capitalization [Electronic resource] // Companies-MarketCap. URL: https://companiesmarketcap.com/dassault-systemes/marketcap/ (дата обращения: 24.02.2026).

208. Dassault Systèmes Virtual Worlds Help You Improve Real Life [Electronic resource] // Dassault Systèmes. URL: https://www.3ds.com/ (дата обращения: 04.03.2026).

209. 3dexperience catia [Electronic resource] // Dassault Systèmes. URL: https://www.3ds.com/products/catia/3dexperience-catia (дата обращения: 05.02.2026).

210. Abaqus. Finite Element Analysis for Mechanical Engineering and Civil Engineering. [Electronic resource] // Dassault Systèmes. URL: https://www.3ds.com/products/simulia/abaqus (дата обращения: 05.03.2026).

211. DELMIA. Make It Happen. DELMIA empowers manufacturing, supply chain and service providers to efficiently plan, manage, optimize, and execute their operations. [Electronic resource] // Dassault Systèmes. URL: https://www.3ds.com/products/delmia (дата обращения: 05.03.2026).

212. Siemens (SIE.DE) Market capitalization [Electronic resource] // CompaniesMarketCap. URL: https://companiesmarketcap.com/siemens/marketcap/ (дата обращения: 24.02.2026).

213. Products & services [Electronic resource] // siemens. URL: https://www.siemens.com/en-us/ (дата обращения: 05.03.2026).

214. Siemens acquires Altair to create most complete AI-powered portfolio of industrial software [Electronic resource]: c2_ct_press_release // Siemens. URL: https://press.siemens.com/global/en/pressrelease/siemens-acquires-altair-create-most-complete-ai-powered-portfolio-industrial-software (дата обращения: 24.02.2026).

215. Fibersim [Electronic resource]. URL: https://www.siemens.com/en-us/products/designcenter/nx-cad-software/offerings/fibersim-composites/ (дата обращения: 05.03.2026).

216. Simcenter 3D software [Electronic resource] // Siemens. URL: https://www.siemens.com/en-us/products/simcenter/mechanical-simulation/simcenter-3d/ (дата обращения: 05.03.2026).

217. Designing with Continuous Fiber Materials [Electronic resource] // Altair. URL: https://altair.com/composites/ (дата обращения: 04.03.2026).

218. Altair Engineering (ALTR) Market capitalization [Electronic resource] // CompaniesMarketCap. URL: https://companiesmarketcap.com/altair-engineering/marketcap/ (дата обращения: 24.02.2026).

219. Altair HyperWorks [Electronic resource] // CML Центр компьютерного инжиниринга СПбПУ. URL: https://fea.ru/article/hyperworks (дата обращения: 14.03.2023).

220. Altair® OptiStruct® [Electronic resource] // Altair. URL: https://altair.com/optistruct (дата обращения: 03.03.2026).

221. Altair® Radioss® [Electronic resource] // Altair. URL: https://altair.com/radioss/ (дата обращения: 05.03.2026).

222. Altair ESAComp Datasheet [Electronic resource] // Altair. URL: https://altair.com/resource/altair-esacomp-datasheet (дата обращения: 04.03.2026).

223. About COMSOL – Multiphysics Simulation Software Provider [Electronic resource]. URL: https://www.comsol.com/company (дата обращения: 25.02.2026).

224. COMSOL Multiphysics® Software – Understand, Predict, and Optimize [Electronic resource] // COMSOL. URL: https://www.comsol.com/comsol-multiphysics (дата обращения: 25.02.2026).

225. Analyze Layered Composite Materials with Software from COMSOL [Electronic resource] // COMSOL. URL: https://www.comsol.com/composite-materials-module (дата обращения: 25.02.2026).

161. Обзор технологий цифрового моделирования композиционных материалов для применения в атомной отрасли. Экспертно-аналитический доклад : монография / А. И. Боровков [и др.] ; под ред. А. И. Боровкова. – СПб. : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2025. – 176 с.

226. Сибирцев С. Рука представила крупнейший с/х дрон-опрыскиватель Pelican 2 [Электронный ресурс] // ruposters. 2025. URL: https://ruposters.ru/news/21-02-2025/predstavila-krupneishii-dronopriskivatel (дата обращения: 10.02.2026).

227. Израильский военный водородный БПЛА может находиться в воздухе более 10 часов [Электронный ресурс]. 2025. URL: https://hightech.plus/2025/02/14/izrailskii-voennii-vodorodnii-bpla-mozhet-nahoditsya-v-vozduhe-bolee-10-chasov (дата обращения: 10.02.2026).

228. Венчурная компания AeroFlex из Университета Цукубы успешно провела демонстрационный эксперимент «системы регулярных полетов беспилотных летательных аппаратов». [筑波大発ベンチャーのAeroFlex、「ドローン定時飛行システム」の実証実験に成功] [Electronic resource] // logi-biz. 2025. URL: https://online.logi-biz.com/120135/ (дата обращения: 20.02.2026).

229. Aerospace prepregs with braided reinforcement demonstrate improved production rates, cost [Electronic resource]. 2025. URL: https://www.compositesworld.com/kc/cw-tech-days-composites-in-aam/articles/aerospace-prepregs-with-braided-reinforcements-demonstrate-improved-production-rates-cost (дата обращения: 19.02.2026).

230. Composites end markets: Aviation and advanced air mobility (2025) [Electronic resource]. 2025. URL: https://www.compositesworld.com/kc/cw-tech-days-composites-in-aam/articles/composites-end-markets-aviation-and-advanced-air-mobility-2025 (дата обращения: 20.02.2026).

231. Турецкая Solid AERO представила Talay - БПЛА, который летает на 3 м над водой, несет до 30 кг груза и избегает береговых радаров [Электронный ресурс] // gagadget.com. 2025. URL: https://gagadget.com/ru/659735-turetskaya-solid-aero-predstavila-talay-bpla-kotoryij-letaet-na-3-m-nad-vodoj-neset-do-30-kg-gruza-i-izbegaet-beregovyih-radarov/ (дата обращения: 07.02.2026).

232. The leading European trade fair for autonomous technologies & robotics [Electronic resource] // fraunhofer. 2025. URL: https://www.fkie.fraunhofer.de/en/events/xponential-europe-2025.html (дата обращения: 19.02.2026).

233. The 29th national SAMPE Symposium highlighted composite technologies for a sustainable future [Electronic resource]. 2025. URL: https://ikv-aachen.de/en/the-29th-national-sampe-symposium-highlighted-composite-technologies-for-a-sustainable-future/ (дата обращения: 19.02.2026).

234. Amsterdam Drone Week, Commercial UAV Expo Europe Form Strategic Partnership [Electronic resource] // dronelife. 2025. URL: https://dronelife.com/2024/04/11/amsterdam-drone-week-commercial-uav-expo-europe-form-strategic-partnership/ (дата обращения: 03.03.2026).

235. CRP USA at Xponential AUVSI 2025: Shaping the Future of Autonomy with Advanced 3D Printing and Windform Composites [Electronic resource] // manufacturing tomorrow. URL: https://www.manufacturingtomorrow.com/content.php?post=24963 (дата обращения: 19.02.2026).

236. Japan Drone Expo [Electronic resource] // Japan Drone. URL: https://ssl.japan-drone.com/ (дата обращения: 03.03.2026).

237.Innovation, deals, and sustainable skies [Electronic resource]. 2025. URL: https://www.magzter.com/fr/stories/business/SPs-Aviation/INNOVATION-DEALS-AND-SUSTAINABLE-SKIES (дата обращения: 19.02.2026).

238.ADF x Aviation Africa 2025 [Electronic resource] // african drone forum. URL: https://www.africandroneforum.org/african-drone-forum-2025 (дата обращения: 03.03.2026).

239. We form The Future. Combined Strength. Unsurpassed Innovation. [Electronic resource] // CAMX. URL: https://www.thecamx.org/ (дата обращения: 19.02.2026).

240. Воздушный кодекс Российской Федерации от 19.03.1997 N 60-ФЗ (ред. от 28.11.2025) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.03.2026) [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_13744/ (дата обращения: 30.03.2026).

241. Архитектура и итоги 2025 года для рынка беспилотной авиации [Электронный ресурс] // АЭРОНЕКСТ. URL: https://aeronext.aero/press_room/analytics/063901 (дата обращения: 11.03.2026).

242. Официальные курсы валют на заданную дату, устанавливаемые ежедневно [Электронный ресурс] // Банк России. URL: https://www.cbr.ru/currency_base/daily/ (дата обращения: 23.03.2026).

243. Итоги 2024 года для рынка беспилотной авиации [Электронный ресурс] // АЭРОНЕКСТ. URL: https://aeronext.aero/press_room/analytics/302672 (дата обращения: 23.03.2026).

244. Россия может к 2030 г. стать пятой на мировом рынке беспилотных авиасистем — Sk Capital [Электронный ресурс] // Инк. 2025. URL: https://incrussia.ru/news/rossiya-mozhet-k-2030-g-stat-pyatoj-na-mirovom-rynke-bespilotnyh-aviasistem-sk-capital/ (дата обращения: 25.03.2026).

245. Космос, аэрофотосъёмка и сокращение ГГЗ: «Беспилот» подвёл итоги с главой «Геоскана» Алексеем Юрецким [Электронный ресурс] // Ruposters.ru. URL: https://ruposters.ru/news/15-12-2025/kosmos-aerofotosyomka-sokraschenie-bespilot-podvyol-itogi-glavoi-geoskana-alekseem-yuretskim (дата обращения: 18.03.2026).

246. Оперативное совещание с вице-премьерами [Электронный ресурс] // Правительство России. 2026. URL: http://government.ru/news/57792/ (дата обращения: 25.03.2026).

247. Анализ рынка гражданских коммерческих БПЛА: итоги, прогнозы, тренды [Электронный ресурс] // ГидМаркет. URL: https://gidmark.ru/news/analiz-ryinka-grazhdanskih-bpla-itogi-

prognozyi-trendyi (дата обращения: 13.03.2026).

248. Анализ рынка гражданских БПЛА: итоги, прогнозы, тренды (ГидМаркет) [Электронный ресурс] // IT Channel News. URL: https://www.novostiitkanala.ru/news/detail.php?ID=183878 (дата обращения: 13.03.2026).
249. Команда на взлет [Электронный ресурс] // Коммерсантъ. 2025. URL: https://www.kommersant.ru/doc/7753922 (дата обращения: 16.03.2026).
250. О группе компаний Б1 [Электронный ресурс] // Группа компаний Б1. URL: https://b1.ru/about-us/ (дата обращения: 19.03.2026).
251. Рынок программного обеспечения и ИТ-услуг [Электронный ресурс] // Группа компаний Б1. URL: https://b1.ru/analytics/b1-software-and-it-services-in-russia-research-2025/ (дата обращения: 19.03.2026).
252. Системный софт: Лицензионное программное обеспечение для бизнеса и дома [Электронный ресурс] // Системный софт. URL: https://www.syssoft.ru/ (дата обращения: 30.03.2026).
253. Рынок инженерного ПО в России вырос на 20% [Электронный ресурс] // IKSMEDIA.RU: деловой портал для бизнеса в телекоме, ИТ, медиа. URL: https://www.iksmedia.ru/news/6077775-Rynok-inzhenernogo-PO-v-Rossii-vyro.html (дата обращения: 30.03.2026).
254. Объем продаж российского ПО в 2025г составил 2,5 трлн рублей [Электронный ресурс] // RUSSOFT. URL: https://russoft.org/news/ru-mishustin-obem-prodazh-rossijskogo-po-v-2025g-sostavil-2-5-trln-rublej/ (дата обращения: 02.06.2026).
255. Обзор применяемых технологий проведения цифровых испытаний элементов беспилотных систем в России и странах – участницах БРИКС. Экспертно-аналитический доклад : монография / А. И. Боровков [и др.] ; под ред. А. И. Боровкова. – СПб. : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2025. – 248 с.
256. На малый и средний бизнес приходится более 70% производителей БПЛА в РФ [Электронный ресурс] // ТАСС. URL: https://tass.ru/ekonomika/23503925 (дата обращения: 11.03.2026).
257. В России продолжает расти число МСП-производителей беспилотников [Электронный ресурс] // Корпорация МСП. URL: https://corpmsp.ru/about/press/news/novosti-korporatsii/v-rossii-prodolzhaet-rasti-chislo-msp-proizvoditeley-bespilotnikov-/ (дата обращения: 11.03.2026).
258. ИС Компонент Технологическая платформа [Электронный ресурс] // Компонент БАС. URL: https://component.aeronext.aero/ (дата обращения: 13.03.2026).
259. ГК «Геоскан» — создаем беспилотные технологии для профессионалов [Электронный ресурс] // ГК «Геоскан». URL: https://www.geoscan.ru/ru/about (дата обращения: 16.03.2026).
260. Каталог отечественных производителей БАС за 2022 год [Электронный ресурс] // ДРОНУС. 2024. URL: https://dronus.ru/official/katalog-otechestvennyh-proizvoditelej-bas-za-2022-god (дата обращения: 16.03.2026).
261. ZALA: Беспилотные системы (БПЛА), беспилотные воздушные суда (БВС) [Электронный ресурс] // ZALA. URL: https://zala-aero.com/about/ (дата обращения: 16.03.2026).
262. Беспилотные проекты АФК «Система» сменили учредителя [Электронный ресурс]. URL: https://ruposters.ru/news/06-02-2026/bespilotnie-proekti-sistema-smenili-uchreditelya (дата обращения: 31.03.2026).
263. ГК «Аэромакс» [Электронный ресурс]. URL: https://www.aeromax-group.ru/ (дата обращения: 31.03.2026).
264. ГК «ИКАР» [Электронный ресурс]. URL: https://ikarcenter.ru/ (дата обращения: 31.03.2026).

265. ZALA AERO GROUP [Электронный ресурс]. URL: https://zala-aero.com/ (дата обращения: 31.03.2026).

266. АО «НПП «Радар ммс» [Электронный ресурс]. URL: https://radar-mms.com/ (дата обращения: 31.03.2026).

267. ООО «Альбатрос» [Электронный ресурс]. URL: https://alb.aero/ (дата обращения: 31.03.2026).

268. «Транспорт Будущего» [Электронный ресурс]. URL: https://tb-drone.ru/ (дата обращения: 31.03.2026).

269. В Тольятти «Транспорт будущего» начал выпуск аккумуляторов для беспилотников [Электронный ресурс] // Обозрение. 2025. URL: https://myseldon.com/ru/news/index/332188010 (дата обращения: 12.02.2026).

270. «Ирбис Скай Тех» [Электронный ресурс]. URL: https://irbisskytech.ru/ (дата обращения: 31.03.2026).

271. Gaskar Group («ГАСКАР») [Электронный ресурс]. URL: https://gaskar.group/ (дата обращения: 31.03.2026).

272. «Робоавиа» [Электронный ресурс]. URL: https://robo-avia.ru/ (дата обращения: 31.03.2026).

273. О компании Аэрокон [Электронный ресурс] // ООО «Аэрокон». URL: https://aerokon.su/about (дата обращения: 16.03.2026).

274. Российская высокотехнологичная компания «Кронштадт» [Электронный ресурс] // Компания Кронштадт. URL: https://kronshtadt.ru/about-company (дата обращения: 16.03.2026).

275. Знаменитого российского производителя БПЛА завалили исками. За три месяца сумма превысила 600 миллионов, за полгода – 1,5 миллиарда [Электронный ресурс] // CNews.ru. URL: https://www.cnews.ru/news/top/2025-08-20_znamenitogo_rossijskogo (дата обращения: 17.03.2026).

276. uDrone Пегас [Электронный ресурс]. URL: https://aerodyne.tech/udrone_pegas (дата обращения: 17.03.2026).

277. Центурион [Электронный ресурс] // ООО «Аэродин». URL: https://aerodyne.tech/centurion (дата обращения: 17.03.2026).

278. Пилигрим [Электронный ресурс] // ООО «Аэродин». URL: https://aerodyne.tech/piligrim (дата обращения: 17.03.2026).

279. ООО «ВР-ТЕХНОЛОГИИ»: ИНН 5027172359, адрес, реквизиты, полное название, коды статистики [Электронный ресурс] // Выберу Контрагенты. URL: https://kontragent.vbr.ru/ooo-vrtehnologii-1115027003024/ (дата обращения: 16.03.2026).

280. Разработчик легкого вертолета VRT500 инициирует собственное банкротство [Электронный ресурс] // Interfax.ru. 2024. URL: https://www.interfax.ru/russia/953157 (дата обращения: 16.03.2026).

281. ООО «ВР-ТЕХНОЛОГИИ» [Электронный ресурс]. URL: https://www.list-org.com/company/6621563 (дата обращения: 16.03.2026).

282. ООО «ВР-Технологии» [Электронный ресурс]. URL: https://www.rusprofile.ru/id/5593388 (дата обращения: 16.03.2026).

283. Песков Д. Н. и др. Каталог отечественных моделей беспилотных авиационных систем, малых космических систем, комплектующих и информационных решений в сфере БАС: справочник. АНО «Платформа НТИ», 2025. С. 434.

284. АО «Стратим» [Электронный ресурс]. URL: https://stratim.tech/ (дата обращения: 31.03.2026).

285. ООО «Интегральные роботизированные технологии» (ИРТ) [Электронный ресурс]. URL: https://www.irtsolution.com/ (дата обращения: 31.03.2026).

286. ООО «Лаборатория будущего» [Электронный ресурс]. URL: https://cablewalker.ru/ (дата обращения: 31.03.2026).

287. «Техноджет» планирует начать производство беспилотника на базе самолета [Электронный ресурс]. URL: https://tass.ru/ekonomika/23642431 (дата обращения: 31.03.2026).

288. ООО «АС-КАМ» [Электронный ресурс]. URL: https://www.aeromax-group.ru/group-ac-cam/ (дата обращения: 31.03.2026).

289. Продукты Геоскан [Электронный ресурс] // ГК «Геоскан». URL: https://www.geoscan.ru/ru/products (дата обращения: 16.03.2026).

290. Первый российский аппарат формата 16U вывели на орбиту [Электронный ресурс] // РИА Новости. 2025. URL: https://ria.ru/20250725/sputniki-2031422233.html (дата обращения: 01.04.2026).

291. Квадрокоптер «Геоскан Пионер Мини 2» [Электронный ресурс] // geoscan. URL: https://geoscan.education/pioneer-mini-2 (дата обращения: 12.02.2026).

292. Шоу из 2500 дронов устроили в Салехарде в честь 80-летия Победы [Электронный ресурс] // Красный север. 2025. URL: https://ks-yanao.ru/news/obschestvo/shou-iz-2500-dronov-ustroili-v-saleharde-v-chest-80-letija-pobedy (дата обращения: 31.03.2026).

293. Geoscan. Пресс-центр [Электронный ресурс] // Geoscan. URL: https://www.geoscan.ru/ru/press-releases (дата обращения: 31.03.2026).

294. Геоскан обновил симулятор полетов Pioneer Drone Sim: онлайн-гонки, образовательные миссии и мониторинг для педагога [Электронный ресурс] // Geoscan. 2025. URL: https://www.geoscan.ru/ru/press-releases/geoskan-obnovil-simulyator-poletov-pioneer-drone-sim-onlayn-gonki-obrazovatelnye-missii-i (дата обращения: 31.03.2026).

295. «Геоскан» представила обновленную платформу для настройки образовательных дронов Pioneer Station 2.0 [Электронный ресурс] // cnews. 2025. URL: https://www.cnews.ru/news/line/2025-11-26_geoskan_predstavila_obnovlennuyu (дата обращения: 01.04.2026).

296. ТАСС. «Беспилотные системы»: дроны Supercam S350 применяются на всех направлениях СВО - Лента новостей Крыма [Электронный ресурс]. 2025. URL: https://crimea-news.com/other/2025/08/20/1752132.html (дата обращения: 01.04.2026).

297. Эксперт Федутинов: Supercam S350 входит в число лучших мировых образцов БПЛА [Электронный ресурс] // ВПК.name. 2025. URL: https://vpk.name/news/1075920_ekspert_fedutinov_supercam_s350_vhodit_v_chislo_luchshih_mirovyh_obrazcov_bpla.html (дата обращения: 01.04.2026).

298. Опубликована деловая программа форума «Беспилотные системы: технологии будущего» [Электронный ресурс] // Lenta.RU. URL: https://lenta.ru/pressrelease/2025/07/31/opublikovana-delovaya-programma-foruma-bespilotnye-sistemy-tehnologii-buduschego/ (дата обращения: 01.04.2026).

299. Новости Р.И.А. ПСБ, ЦБСТ и ФЦ БАС договорились развивать беспилотные системы [Электронный ресурс] // РИА Новости. 20251215T1650. URL: https://ria.ru/20251215/psb-2062180470.html (дата обращения: 01.04.2026).

300. Пресс-центр [Электронный ресурс] // «Аэромакс». URL: https://www.aeromax-group.ru/press-centr/ (дата обращения: 01.04.2026).

301. «Аэромакс» и Правительство Сахалинской области объединяют усилия в сфере беспилотных технологий [Электронный ресурс] // ASTV.RU. URL: https://astv.ru/news/society/2025-09-07-aeromaks-i-pravitel-stvo-sahalinskoj-oblasti-ob-edinyayut-usiliya-v-sfere-bespilotnyh-tehnologij (дата обращения: 01.04.2026).

302. Новости, события и выставки Компании «Кронштадт» [Электронный ресурс]. URL: https://kronshtadt.ru/press-center/articles/all (дата обращения: 01.04.2026).

303. Глава «Транспорта будущего» Юрий Козаренко рассказал «Беспилоту» об итогах 2025 года [Электронный ресурс] // Ruposters.ru. URL: https://ruposters.ru/news/18-12-2025/glava-transporta-buduschego-kozarenko-rasskazal-bespilotu-itogah (дата обращения: 18.03.2026).

304. АСКОН на ЦИПР-2025: успешная премьера КОМПАС-Композиты, участие в экосистеме Ростеха, партнёрство с Университетом Лобачевского [Электронный ресурс] // АСКОН. 2025. URL: https://ascon.ru/news/2025/06/06/askon-na-cipr-2025-uspeshnaya-premera-kompas-kompozity-uchastie-v-ehkosisteme-rostekha-partnerstvo-s-universitetom-lobachevskogo/ (дата обращения: 13.03.2026).

305. C3D Labs [Электронный ресурс]. URL: https://c3dlabs.com (дата обращения: 20.03.2026).

306. АО «Нанософт Разработка». Нанософт Разработка [Электронный ресурс]. URL: https://nanocad.ru (дата обращения: 20.03.2026).

307. «Топ Системы» поделились итогами 2025 года и ожиданиями на 2026 год [Электронный ресурс] // Топ Системы. 2025. URL: https://www.tflex.ru/about/publications/detail/index.php?ID=5551 (дата обращения: 13.03.2026).

308. АО «Си Софт». Си Soft [Электронный ресурс]. URL: https://csoft.ru (дата обращения: 20.03.2026).

309. ООО «3Б Сервис». 3Б Сервис [Электронный ресурс]. URL: https://3b.ru (дата обращения: 20.03.2026).

310. Финансовые отчеты FabricaONE AI: Официальная документация для инвесторов [Электронный ресурс] // FabricaONE AI. URL: https://f1ai.ru/investors/reports/ (дата обращения: 27.03.2026).

311. О компании Bimeister FabricaONE.AI [Электронный ресурс]. URL: https://bimeister.com/ru/company/ (дата обращения: 27.03.2026).

312. Промышленное ПО для автоматизации производства FabricaONE AI [Электронный ресурс] // FabricaONE AI. URL: https://f1ai.ru/services/promyshlennoe-programmnoe-obespechenie/ (дата обращения: 27.03.2026).

313. Strata Solutions [Электронный ресурс]. URL: https://strata-s.ru (дата обращения: 20.03.2026).

314. ООО «ЦУС». ЦУС [Электронный ресурс]. URL: https://tsus.ru (дата обращения: 20.03.2026).

315. В платформе Sarex новый модуль — «Запросы» [Электронный ресурс] // isicad.ru. 2025. URL: https://isicad.ru/ru/news.php?news=23370 (дата обращения: 16.03.2026).

316. Государственный информационный ресурс бухгалтерской (финансовой) отчетности [Электронный ресурс] // Ресурс БФО. URL: https://bo.nalog.gov.ru/ (дата обращения: 19.03.2026).

317. АСКОН вырос на 18% в 2024 году [Электронный ресурс] // АСКОН. URL: https://ascon.ru/news/2025/03/12/askon-vyros-na-18-v-2024-godu/ (дата обращения: 16.06.2026).

318. АСКОН вырос в 2023 году на 47% [Электронный ресурс] // АСКОН. URL: https://ascon.ru/news/2024/03/28/askon-vyros-v-2023-godu-na-47/ (дата обращения: 16.06.2026).

319. СПРУТКАМ — CAD/CAM система для программирования ЧПУ [Электронный ресурс]. URL: https://sprut.ru/sprutcam/ (дата обращения: 01.04.2026).

320. ADEM — Автоматизация проектно-конструкторской и технологической подготовки производства [Электронный ресурс]. URL: https://adem.ru/ (дата обращения: 01.04.2026).

321. Программа ZWCAD Официальный сайт [Электронный ресурс]. URL: https://sapr-soft.ru/ (дата обращения: 01.04.2026).

322. ИндорСофт [Электронный ресурс] // ИндорСофт.ru. URL: https://www.indorsoft.ru/ (дата обращения: 01.04.2026).

323. НТЦ ГеММа – разработчик программного обеспечения для эффективного управления обработкой на станках с ЧПУ [Электронный ресурс]. URL: https://gemma.ru/ (дата обращения: 01.04.2026).

324. Вышел КОМПАС-3D v24 с встроенной фотореалистикой и САПР изделий из композитов [Электронный ресурс] // АСКОН. 2025. URL: https://ascon.ru/news/2025/08/27/vyshel-kompas-3d-v24-s-vstroennoj-fotorealistikoj-i-sapr-izdelij-iz-kompozitov/ (дата обращения: 13.03.2026).

325. Вышел КОМПАС-3D v24 с встроенной фотореалистикой и САПР изделий из композитов [Электронный ресурс] // isicad.ru. 2025. URL: https://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=23325 (дата обращения: 19.03.2026).

326. КОМПАС-3D: Композиты. Подробный анонс нового продукта [Электронный ресурс] // АСКОН. 2024. URL: https://ascon.ru/news/2024/11/14/kompas-3d-kompozity-podrobnyj-anons-novogo-produkta/ (дата обращения: 13.03.2026).

327. КОМПАС-3D V24: презентация новых возможностей и предзаказ опережающих обновлений [Электронный ресурс] // Архитект Дизайн. 2025. URL: https://www.architect-design.ru/news/kompas-3d-v24-premiera-ascon-novye-vozmozhnosti-i-predzakaz/ (дата обращения: 19.03.2026).

328. ОДК с опережением внедряет российское ПО для создания авиадвигателей [Электронный ресурс] // CNews. 2025. URL: https://www.cnews.ru/news/line/2025-09-12_odk_s_operezheniem_vnedryaet (дата обращения: 19.03.2026).

329. Новые возможности расчётной программы T-FLEX Анализ 18 для анализа конструкций из гиперупругих, пластичных и композитных материалов [Электронный ресурс] // Топ системы. 2026. URL: https://www.tflex.ru/about/publications/detail/index.php?ID=5555 (дата обращения: 13.03.2026).

330. Новейшие разработки компании «Топ Системы» представлены на главном ежегодном событии компании – «Форум T-FLEX PLM 2024» [Электронный ресурс] // Топ Системы. 2024. URL: https://www.tflex.ru/about/news/detail/index.php?ID=5353 (дата обращения: 13.03.2026).

331. Вектор развития систем инженерного анализа в комплексе T-FLEX PLM от компании «Топ Системы» [Электронный ресурс] // «Топ Системы». 2025. URL: https://www.tflex.ru/about/publications/detail/index.php?ID=5499 (дата обращения: 16.03.2026).

332. Компания «Топ Системы» выпустила новое поколение САПР T-FLEX CAD 18 [Электронный ресурс] // CNews. 2025. URL: https://www.cnews.ru/news/line/2025-10-08_kompaniya_top_sistemy_vypustila (дата обращения: 19.03.2026).

333. МЦД и «Фидесис» подписали соглашение о технологическом партнёрстве [Электронный ресурс] // CNews. 2023. URL: https://www.cnews.ru/news/line/2023-12-19_mtsd_i_fidesis_podpisali (дата обращения: 19.03.2026).

334. CAE Fidesys 8.0: новый функционал и возможности для пользователей [Электронный ресурс] // CNews. 2025. URL: https://www.cnews.ru/news/line/2025-09-05_cae_fidesys_80_novyj_funktsional (дата обращения: 19.03.2026).

335. В CAE Fidesys 8.1 улучшены упруго-пластические расчёты и моделирование болтовых соединений [Электронный ресурс] // ГК СиСофт. 2025. URL: https://www.csoft.ru/press/news/news_20251230.html (дата обращения: 16.03.2026).

336. Выход APM v21 [Электронный ресурс] // НТЦ «АПМ». 2025. URL: https://apm.ru/vyhod-apm-v21 (дата обращения: 19.03.2026).

337. Компания НТЦ «АПМ» с успехом провела форум «РазвИТие.Прочность'2025», посвященный выходу новой версии программной платформы APM WinMachine [Электронный ресурс] // fea.ru. 2025. URL: https://fea.ru/news/9115 (дата обращения: 16.03.2026).

338. APM FEM прочностной анализ для КОМПАС-3D [Электронный ресурс] // АПМ. URL: https://apm.ru/apm-fem (дата обращения: 19.03.2026).

339. ООО Лаборатория «Вычислительная механика» (CompMechLab®) и ООО НТЦ «АПМ» проведут совместный вебинар по APM WinMachine v21 и взаимодействию с Передовыми инженерными школами [Электронный ресурс] // CompMechLab. URL: https://fea.ru/news/9249 (дата обращения: 19.03.2026).

340. РФЯЦ-ВНИИЭФ продемонстрировал разработки на форуме «ИТОПК-24» [Электронный ресурс] // atomic-energy.ru. 2024. URL: https://www.atomic-energy.ru/news/2024/10/09/150106 (дата обращения: 19.03.2026).

341. Новая версия ПО ЛОГОС 5.3.24.014 [Электронный ресурс] // Технологии ПЛМ. 2025. URL: https://tech-plm.ru/news/ (дата обращения: 16.03.2026).

342. Санкт-Петербургский Политех интегрировал «ЛОГОС» Росатома в CML-Bench® [Электронный ресурс] // atomic-energy.ru. 2025. URL: https://www.atomic-energy.ru/news/2025/06/06/156514 (дата обращения: 19.03.2026).

343. РФЯЦ-ВНИИЭФ получил статус государственного научного центра [Электронный ресурс] // Атомная энергия 2.0. 2025. URL: https://www.atomic-energy.ru/news/2025/12/09/161696 (дата обращения: 20.03.2026).

344. Передовая инженерная школа СПбПУ «Цифровой инжиниринг» выиграла стратегически важный конкурс и заключила контракт с АНО «Федеральный центр беспилотных авиационных систем» [Электронный ресурс] // Официальный сайт Инфраструктурного центра «Технет» СПбПУ. URL: http://technet.spbstu.ru/news/8904 (дата обращения: 04.08.2025).

345. Представители ПИШ СПбПУ «Цифровой инжиниринг» приняли участие в мероприятиях военно-технического форума «Армия-2024» [Электронный ресурс] // Центр трансфера и импортозамещения передовых цифровых производственных технологий. 2024. URL: https://ctt.spbstu.ru/news/8911 (дата обращения: 19.03.2026).

346. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого и ПСБ подписали Соглашение о стратегическом партнёрстве в области цифровых двойников для обеспечения технологического лидерства страны [Электронный ресурс] // CompMechLab® СПбПУ. 2025. URL: https://fea.ru/news/9143 (дата обращения: 20.03.2026).

347. ТЕХНОПРОМ-2025: Алексей Боровков представил достижения Передовой инженерной

школы СПбПУ «Цифровой инжиниринг» на панельной дискуссии «Инвестиции бизнеса в науку: проблемы и перспективы» [Электронный ресурс] // CompMechLab® СПбПУ. 2025. URL: https://fea.ru/news/9188 (дата обращения: 20.03.2026).

348. Команда ПИШ СПбПУ «Цифровой инжиниринг» приняла участие в деловой программе конференции «Авиацифра-2026» [Электронный ресурс] // nticenter.spbstu.ru. URL: http://nticenter.spbstu.ru/news/9334 (дата обращения: 03.06.2026).
349. Уральский завод гражданской авиации (УЗГА) внедряет FlowVision [Электронный ресурс] // FlowVision. 2023. URL: https://flowvision.ru/ru/news-ru/uzga-vnedriaet-flowvision (дата обращения: 15.03.2026).
350. В Москве прошёл «День FlowVision 2024» [Электронный ресурс] // FlowVision. 2024. URL: https://flowvision.ru/ru/news-ru/flowvision-day-2024 (дата обращения: 19.03.2026).
351. «ТЕСИС» и МГТУ 23 апреля проведут семинар по применению российского «FlowVision» на предприятиях Росатома [Электронный ресурс] // atomic-energy.ru. 2025. URL: https://www.atomic-energy.ru/news/2025/03/19/154599 (дата обращения: 19.03.2026).
352. ТЕСИС и Трамплин Электроникс разрабатывают доверенный отечественный ПАК [Электронный ресурс] // ТЕСИС. 2025. URL: https://tesis.com.ru/news/tesis-i-tramplin-elektroniks-razrabatyvayut-doverennyy-otechestvennyy-pak/ (дата обращения: 19.03.2026).
353. ТЕСИС принял участие в круглом столе «Сертификация БАС» в рамках VII Всероссийского форума «Передовые цифровые и производственные технологии» в СПбПУ [Электронный ресурс] // ТЕСИС. 2025. URL: https://tesis.com.ru/news/tesis-prinyal-uchastie-v-kruglom-stole-sertifikatsiya-bas/ (дата обращения: 19.03.2026).
354. Вышел релиз FlowVision 3.15.03 [Электронный ресурс] // ТЕСИС. 2025. URL: https://tesis.com.ru/news/vyshel-reliz-flowvision-3-15-03/ (дата обращения: 19.03.2026).
355. VI Международная конференция «Суперкомпьютерные технологии математического моделирования» (СКТеММ'25) [Электронный ресурс]. Москва, МИАН (ул. Губкина, 8), 2025. URL: https://www.mathnet.ru/conf2616 (дата обращения: 20.03.2026).
356. «ЛС-Технологии» выступит на конференции по математическому моделированию в МГТУ им. Н.Э. Баумана [Электронный ресурс] // ЛС-Технологии. 2025. URL: https://ls-technologies.ru/ls-tekhnologii-vystupit-na-konferencii-po-matematicheskomu-modelirovaniyu-v-mgtu-im-n-e-baumana/ (дата обращения: 20.03.2026).
357. Новости компании «Юникомпозит» (2024–2025) [Электронный ресурс] // Юникомпозит / ООО «Метатекс». URL: https://metatex.ru/index.php?category=0&id=3 (дата обращения: 19.03.2026).
358. Конференция «Композиционные материалы, технологии и оборудование для их переработки в авиастроении» в рамках XVIII Международной выставки HeliRussia 2025 [Электронный ресурс]. Москва, МВЦ «Крокус Экспо», павильон 1, 2025. URL: https://helirussia.ru/delovaya-programma-2025/ (дата обращения: 20.03.2026).
359. Владимир Путин открыл в Тольятти первое в РФ производство аккумуляторов для дронов [Электронный ресурс] // Союз ТПП г.Тольятти. 2025. URL: https://tlt.tpprf.ru/ru/news/562084/ (дата обращения: 09.02.2026).
360. Владимир Путин провел совещание по развитию беспилотной авиации в НПЦ «Самара» [Электронный ресурс] // Волга Ньюс. 2025. URL: https://volga.news/article/740058.html (дата обращения: 22.04.2026).
361. Новости Р.И.А. Путин приехал в НПЦ беспилотных авиасистем в Тольятти [Электронный

ресурс] // РИА Новости. 20250128T1928. URL: https://ria.ru/20250128/putin-1995990617.html (дата обращения: 22.04.2026).

362. В Томске открылся крупнейший за Уралом научно-производственный центр беспилотной авиации [Электронный ресурс]. 2025. URL: https://www.tp-tara.ru/news/8556 (дата обращения: 10.02.2026).

363. В Новосибирске запустили производство сверхлегких конструкций для летательных аппаратов [Электронный ресурс] // Mashnews. 2025. URL: https://mashnews.ru/v-novosibirske-zapustili-proizvodstvo-sverxlegkix-konstrukczij-dlya-letatelnyix-apparatov.html (дата обращения: 10.02.2026).

364. Конкуренты предлагают куда более архаичные технологии. В России запустили передовое производство сверхлегких деталей для БПЛА [Электронный ресурс] // ixbt. 2025. URL: https://www.ixbt.com/news/2025/02/25/konkurenty-predlagajut-kuda-bolee-arhaichnye-tehnologii-v-rossii-zapustili-peredovoe-proizvodstvo-sverhlegkih-detalej.html (дата обращения: 10.02.2026).

365. В России испытали БПЛА с крылом, меняющим форму в полете [Электронный ресурс] // ТАСС. 2025. URL: https://tass.ru/nauka/23473031?utm_referrer=https%3a%2f%2fwww.google.com%2f (дата обращения: 10.02.2026).

366. Более 4 млрд руб. получат семь российских регионов на развитие гражданских беспилотников в 2025 г. [Электронный ресурс]. URL: https://www.comnews.ru/content/238424/2025-03-24/2025-w13/1008/bolee-4-mlrd-rub-poluchat-sem-rossiyskikh-regionov-razvitie-grazhdanskikh-bespilotnikov-2025-g (дата обращения: 22.04.2026).

367. Эксперты разработали концепцию «цифрового неба России» [Электронный ресурс] // РБК. URL: https://www.rbc.ru/technology_and_media/22/05/2025/682d7c9e9a7947bc47395812 (дата обращения: 22.04.2026).

368. В России появится «цифровое небо» и «цифровое транспортное право» – CNews [Электронный ресурс] // CNews.ru. URL: https://www.cnews.ru/news/top/2025-05-22_v_rossii_poyavitsya_tsifrovoe (дата обращения: 22.04.2026).

369. Композитный дивизион вступил в Ассоциацию «АЭРОНЕКСТ» [Электронный ресурс] // Росатом. 2025. URL: https://rosatom-composites.ru/news/kompozitnyy-divizion-vstupil-v-assotsiatsiyu-aeronekst/ (дата обращения: 17.02.2026).

370. Архипелаг-2025: Специалисты ПИШ СПбПУ представили демонстратор программного комплекса автоматизированного проектирования и расчета электрических винтомоторных групп беспилотных воздушных судов на выставке-конкурсе «Дрон-гараж» [Электронный ресурс]. 2025. URL: https://pish.spbstu.ru/news/9174 (дата обращения: 19.02.2026).

371. Удмуртия получит 1 млрд рублей в 2026 году на оснащение центра БАС [Электронный ресурс] // Ведомости. 2025. URL: https://www.vedomosti.ru/strana/privolzhsky/news/2025/08/25/1133904-osnaschenie-tsentra-bas (дата обращения: 10.02.2026).

372. Специалисты МГТУ повысили ударную стойкость дронов на 20% [Электронный ресурс] // Plastinfo. 2025. URL: https://plastinfo.ru/information/news/55816_05.09.2025/ (дата обращения: 12.02.2026).

373. МАИ разрабатывает цифровую систему для испытания композитов в авиации [Электронный ресурс] // PLASTINFO. 2025. URL: https://plastinfo.ru/information/news/55847_12.09.2025/ (дата обращения: 10.02.2026).

374. Фонд НТИ поддержит развитие технологической независимости БАС грантами на 5 млрд [Электронный ресурс]. URL: https://nti.fund/about/news/?ELEMENT_ID=4143 (дата

обращения: 22.04.2026).

375. Российская технология 3D-ткани сделает БПЛА более ударопрочными [Электронный ресурс] // aviastat.ru. 2025. URL: https://www.aviastat.ru/news/288399-rossiyskaya-tehnologiya-3dtkani-sdelaet-bpla-bolee-udaroprochnymi (дата обращения: 10.02.2026).

376. Меры поддержки резидентов НПЦ [Электронный ресурс] // Фонд НТИ. 2025. URL: https://nti.fund/support/bas/ (дата обращения: 22.04.2026).

377. В Казани создадут промышленный технопарк беспилотных авиационных систем [Электронный ресурс] // Реальное время. URL: https://realnoevremya.ru/news/366638-v-kazani-sozdadut-promyshlennyy-tehnopark-bespilotnyh-aviacionnyh-sistem (дата обращения: 22.04.2026).

378. Модернизация БПЛА «Форпост-Р» обеспечила повышение его эффективности [Электронный ресурс] // rg.ru. 2025. URL: https://rg.ru/2025/11/19/modernizaciia-bpla-forpost-r-obespechila-povyshenie-ego-effektivnosti.html?utm_referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F (дата обращения: 17.02.2026).

379. Не только на МС-21: композитное крыло впервые появится на БПЛА [Электронный ресурс] // www1.ru. 2025. URL: https://www1.ru/news/2025/11/26/ne-tolko-na-ms-21-kompozitnoe-krylo-vpervye-poiavitsia-na-bpla.html (дата обращения: 17.02.2026).

380. Кто и как финансирует производство гражданских беспилотников [Электронный ресурс] // РБК. 2025. URL: https://www.rbc.ru/economics/02/12/2025/692e8be09a79477bb3eea739 (дата обращения: 22.04.2026).

381. В 2025 году для отрасли БАС подготовят свыше 11 тысяч специалистов Национальные проекты РФ [Электронный ресурс]. 2025. URL: https://xn--80aapampemcchfmo7a3c9ehj.xn--p1ai/news/v-2025-godu-dlya-otrasli-bas-podgotovyat-svyshe-11-tysyach-spetsialistov/ (дата обращения: 22.04.2026).

382. XII Национальная выставка и форум инфраструктуры гражданской авиации НАИС 2025 успешно завершены! [Электронный ресурс] // НАИС. 2025. URL: https://naisrussia.ru/news/tpost/2rxx3x8f81-xii-natsionalnaya-vistavka-i-forum-infra (дата обращения: 12.02.2026).

383. Аэрологистика. Новый уровень [Электронный ресурс] // Leader ID. 2025. URL: https://leader-id.ru/events/542729 (дата обращения: 08.02.2025).

384. Авиацифра [Электронный ресурс] // Авиацифра. URL: https://aviacifra.ru/#aviacifra2025 (дата обращения: 07.02.2026).

385. 17-я Международная выставка «Композит-Экспо» 2025 [Электронный ресурс] // НИЦ «Курчатовский институт» – ЦНИИ КМ «Прометей». 2025. URL: https://www.crism-prometey.ru/news/events/vystavki/kompozit-ekspo-2025/?ELEMENT_CODE=kompozit-ekspo-2025 (дата обращения: 09.02.2026).

386. VII Всероссийская конференция ExpoUAV «Защита гражданских объектов от беспилотных систем» [Электронный ресурс] // expouav. 2025. URL: https://expouav.ru/post_release_27-28_march_2025 (дата обращения: 07.02.2026).

387. Беспилотная авиация 2025 - евразийская международная конференция и выставка [Электронный ресурс] // expomap. 2025. URL: https://expomap.ru/conference/bespilotnaja-aviatsija/ (дата обращения: 08.02.2026).

388. «Технологии Геоскана 2025» [Электронный ресурс] // istu. 2025. URL: https://istu.ru/material/tehnologii-geoskana-2025 (дата обращения: 12.02.2026).

389. HeliRussia [Электронный ресурс] // АЭРОНЕКСТ. 2025. URL: https://helirussia.ru/ (дата обращения: 07.02.2026).

390. Подготовка кадров для индустрии беспилотных технологий [Электронный ресурс] // АЭРОНЕКСТ. 2025. URL: https://aeronext.aero/Event/239 (дата обращения: 07.02.2026).

391. ЦИПР [Электронный ресурс] // Пленарное заседание ЦИПР 2025. 2025. URL: https://cipr.ru/ (дата обращения: 08.02.2026).

392. Международная конференция «Беспилотная авиация: состояние, проблемы и перспективы развития» [Электронный ресурс] // АЭРОНЕКСТ. 2025. URL: https://aeronext.aero/Event/245 (дата обращения: 07.02.2026).

393. Роль беспилотной авиации в изменении текущего технологического уклада [Электронный ресурс] // Leader ID. 2025. URL: https://leader-id.ru/events/561125 (дата обращения: 08.02.2026).

394. XV международная промышленная выставка «Иннопром» [Электронный ресурс]. 2025. URL: http://government.ru/news/55569/ (дата обращения: 06.02.2026).

395. Форум «Беспилотная эволюция» открылся в Калужской области [Электронный ресурс] // ТАСС. 2025. URL: https://tass.ru/obschestvo/24599789?utm_referrer=https%3a%2f%2fwww.google.com%2f (дата обращения: 07.02.2026).

396. Архипелаг-2025: Алексей Боровков рассказал о результатах аналитических исследований рынка НТИ «Технет» для отрасли беспилотных воздушных судов [Электронный ресурс] // Официальный сайт Центра компетенций Национальной технологической инициативы по направлению «Новые производственные технологии» СПбПУ. 2025. URL: https://nticenter.spbstu.ru/news/9183 (дата обращения: 11.02.2026).

397. Дрон Экспо 2025 [Электронный ресурс] // Аэронекст. 2025. URL: http://www.aeronext.aero/Event/233 (дата обращения: 12.02.2026).

398. Фестиваль Композиты без границ [Электронный ресурс] // World Atomic Week. URL: https://compositesforum.ru/ (дата обращения: 17.02.2026).

399. Всероссийский Форум Защита гражданских объектов от атак беспилотных систем и коммерческая эксплуатация БАС [Электронный ресурс] // expouav. 2025. URL: https://expouav.ru/7-9_october_2025 (дата обращения: 07.02.2026).

400. XVIII Научно-практическая конференция «Композитные материалы: производство, применение, тенденции рынка» [Электронный ресурс] // Полимерные материалы. URL: https://polymerbranch.com/events/xviii-nauchno-prakticheskaya-konferentsiya-kompozitnye-materialy-proizvodstvo-primenenie-tendentsii-rynka/ (дата обращения: 09.02.2026).

402. Tech Trends 2026 [Electronic resource] // Deloitte Insights. URL: https://www.deloitte.com/us/en/insights/topics/technology-management/tech-trends.html (дата обращения: 25.02.2026).

403. Top Tech Trends of 2026 [Electronic resource] // Capgemini. URL: https://www.capgemini.com/insights/research-library/top-tech-trends-of-2026/ (дата обращения: 25.02.2026).

404. Global tech report 2026 [Electronic resource] // KPMG. URL: https://kpmg.com/xx/en/our-insights/ai-and-technology/global-tech-report.html (дата обращения: 25.02.2026).

405. Top Strategic Technology Trends for 2026 [Electronic resource] // Gartner. URL: https://www.gartner.com/en/articles/top-technology-trends-2026 (дата обращения: 25.02.2026).

406. Gartner Hype CycleTM for Emerging Technologies [Electronic resource] // Gartner. URL: https://www.gartner.com/en/articles/hype-cycle-for-emerging-technologies (дата обращения: 26.02.2026).

407. Tech trends 2025 tech in the future sidebar [Electronic resource] // McKinsey. URL: https://www.mckinsey.com/capabilities/mckinsey-digital/our-insights/the-top-trends-in-tech (дата обращения: 25.02.2026).

408. 2025 Simulation & Analysis Market Analysis Report [Electronic resource] // CIMdata. URL: https://www.cimdata.com/en/online-store/market-analysis-reports/product/351-2025-simulation-analysis-market-analysis-report (дата обращения: 25.02.2026).

409. CIMdata Publishes 2025 Simulation and Analysis Market Report [Electronic resource] // DailyCADCAM. 2025. URL: https://dailycadcam.com/cimdata-publishes-2025-simulation-and-analysis-market-report/ (дата обращения: 25.02.2026).

410. CIMdata Publishes Simulation and Analysis Market Report [Electronic resource] // Digital Engineering 24/7. 2025. URL: https://www.digitalengineering247.com/article/cimdata-publishes-simulation-and-analysis-market-report (дата обращения: 25.02.2026).

411. Beacon: Northrop тестирует ИИ-дрон для ВВС США [Электронный ресурс] // ponomaroleg. 2025. URL: https://www.ponomaroleg.com/beacon-northrop-testiruet-ii-dron-dlya-vvs-ssha/ (дата обращения: 26.02.2026).

412. Quantum Systems acquires AI specialist Spleenlab [Electronic resource] // quantum systems. 2025. URL: https://quantum-systems.com/news/quantum-systems-acquires-ai-specialist-spleen-lab/#:~:text=Aerial%20intelligence%20when%20it%20matters,hardware%2C%20software%2C%20and%20AI. (дата обращения: 26.02.2026).

413. Powered by artificial intelligence and a turbo engine, bayraktar tb2t-ai ucav takes to the skies [Electronic resource] // baykar. 2025. URL: https://clc.li/pdhjd (дата обращения: 26.02.2026).

414. Yellowscan Voyager: 400ft and Beyond | Technology Webinar [Electronic resource] // frontier precision. 2025. URL: https://frontierprecision.com/events/event/yellowscan-voyager-400ft-and-beyond-technology-webinar/#:~:text=Wednesday%2C%20October%2022%2C%202025%20@,projects%20to%20manned%20aircraft%20operations. (дата обращения: 25.02.2026).

415. ZenaTech's ZenaDrone IQ Nano Indoor Drone Targets US Defense with Green and Blue UAS Certifications [Electronic resource] // uasweekly. 2025. URL: https://uasweekly.com/2025/06/19/zenatechs-zenadrone-iq-nano-indoor-drone-targets-us-defense-with-green-and-blue-uas-certifications/ (дата обращения: 26.02.2026).

416. Aerometrex Achieves Growth Milestones and Strategic Advancements in 2025 [Electronic resource]. 2025. URL: https://www.tipranks.com/news/company-announcements/aerometrex-achieves-growth-milestones-and-strategic-advancements-in-2025 (дата обращения: 27.02.2026).

417. L3Harris Provides Next-Generation EO/IR Sensor Systems to Airbus Helicopters for Canadian Police Support [Electronic resource]. 2025. URL: https://www.l3harris.com/newsroom/press-release/2025/06/l3harris-provides-next-generation-eoir-sensor-systems-airbus (дата обращения: 26.02.2026).

418. Miriam McNabb. One Operator, Multiple Drones: Is This a Game Changer for Public Safety? [Electronic resource] // dronelife. 2025. URL: https://dronelife.com/2025/09/18/one-operator-multiple-drones-is-this-a-game-changer-for-public-safety/#:~:text=Skydio%20R10:%20An%20Indoor%20Drone,upload%20directly%20into%20digital%20systems (дата обращения: 12.02.2026).

419. Red Cat и Palantir тестируют визуальную навигацию на дроне Black Widow армии США

[Electronic resource]. 2025. URL: https://clc.li/gupGZ (дата обращения: 25.02.2026).

420. L3Harris Unveils 'Wolf Pack' Concept for Cheap, Kinetic/Nonkinetic Missile Swarms [Electronic resource]. 2025. URL: https://www.airandspaceforces.com/l3harris-wolf-pack-concept-missile-swarms/ (дата обращения: 25.02.2026).

421. Беспилотный истребитель Bayraktar впервые в истории сбил самолет[Электронный ресурс]. 2025. URL: https://ria.ru/20251130/bespilotnik-2058716698.html (дата обращения: 25.02.2026).

422. H3 Dynamics представила универсальные водородные силовые установки для обеспечения дальних полетов [Electronic resource]. URL: https://building-tech.org/%D0%A2%D1%80%D0%B0%D0%BD%D1%81%D0%BF%D0%BE%D1%80%D1%82/h3-dynamics-predstavyla-unyversalnie-vodorodnie-sylovie-ustanovky-dlya-obespechenyya-dalnykh-poletov (дата обращения: 27.02.2026).

423. EASA certifies ANRA Technologies as first U-space service provider [Electronic resource]. 2025. URL: https://www.easa.europa.eu/en/newsroom-and-events/press-releases/easa-certifies-anra-technologies-first-u-space-service-provider (дата обращения: 27.02.2026).

424. AUSA 2025: Assured PNT, Launch Effects, Autonomy [Electronic resource]. URL: https://insideunmannedsystems.com/ausa-2025-assured-pnt-launch-effects-autonomy/ (дата обращения: 26.02.2026).

425. The US boasts success. Futuristic drone completes test [USA chwalą się sukcesem. Futurystyczny dron ukończył test] [Electronic resource]. URL: https://tech.wp.pl/usa-chwala-sie-sukcesem-futurystyczny-dron-ukonczyl-test,709719553817657 6a (дата обращения: 19.05.2026).

401. Отраслевой форум по развитию беспилотной авиации [Электронный ресурс] // Аэронекст. URL: https://aeronext.aero/aeronext2025 (дата обращения: 08.02.2026).

426. Швеция испытает новую технологию роя дронов на учениях Arctic Strike [Электронный ресурс]. URL: https://armiya.az/ru/news/222279 (дата обращения: 27.02.2026).

427. Турецкий БПЛА Kızılelma в рамках испытаний условно сбил F-16 [Электронный ресурс]. URL: https://overclockers.ru/blog/This_is_the_way/show/244119/Tureckij-BPLA-K-z-lelma-v-ramkah-ispytanij-virtual-no-sbil-F-16 (дата обращения: 27.02.2026).

428. FAA's proposed Part 108 BVLOS Rule: Industry response and key concerns [Электронный ресурс]. 2025. URL: https://www.dlapiper.com/en-nl/insights/publications/2025/10/faa-propo sed-part-108-bvlos-rule (дата обращения: 19.05.2026).

429. НАТО и ЕС работают над единой системой защиты от БПЛА, заявил Рютте [Электронный ресурс]. URL: https://ria.ru/20251105/es-2053048779.html (дата обращения: 27.02.2026).

430. Renishaw to showcase end-to-end additive manufacturing workflow at Formnext 2025 [Electronic resource]. 2025. URL: https://www.renishaw.com/en/renishaw-to-showcase-end-to-end-additive-manufacturing-workflow-at-formnext-2025--49915 (дата обращения: 27.02.2026).

431. Gartner Hype Cycle Research Methodology [Electronic resource] // Gartner. URL: https://www.gartner.com/en/research/methodologies/gartner-hype-cycle (дата обращения: 02.03.2026).

432. Диффузия инноваций – руководство от команды СберУниверситета [Электронный ресурс] // АНО ДПО «Корпоративный университет Сбербанка». URL: https://sberuniversity.ru/research/management-practices/practical-guide/razvitie-komandy/diffuziya-innovatsiy/ (дата обращения: 02.03.2026).

433. Aerit Announces Bankruptcy and Upcoming Sale of Assets [Electronic resource] // Cision. 2024.

URL: https://news.cision.com/aerit/r/aerit-announces-bankruptcy-and-upcoming-sale-of-assets,c3986476 (дата обращения: 02.03.2026).

434. Commercial drone company PrecisionHawk shutting down [Electronic resource] // The Robot Report. 2023. URL: https://www.therobotreport.com/commercial-drone-company-precisionhawk-shutting-down/ (дата обращения: 02.03.2026).

435. Conclusion of SkyDrop's Pioneering Era in Drone Delivery Due to Financial Constraints [Electronic resource] // Emergency Drone Responder. 2024. URL: https://emergencydroneresponder.com/conclusion-of-skydrops-pioneering-era-in-drone-delivery-due-to-financial-constraints/ (дата обращения: 02.03.2026).

436. Valqari expands drone industry leadership with acquisition of Skydrop Intellectual Property portfolio [Electronic resource] // PR Newswire. URL: https://www.prnewswire.com/news-releases/valqari-expands-drone-industry-leadership-with-acquisition-of-skydrop-intellectual-property-portfolio-302617705.html (дата обращения: 02.03.2026).

437. All notices gazette 16 october 2024 [Electronic resource] // Companies In The UK. URL: https://www.companiesintheuk.co.uk/gazette/publication/2024-10-17 (дата обращения: 02.03.2026).

438. Bankruptcy ended Atmos Uav BV (Faillissement beëindigd Atmos Uav B.V.) [Electronic resource] // FaillissementsDossier.nl. URL: https://www.faillissementsdossier.nl/nl/faillissement/1801160/atmos-uav-b-v.aspx (дата обращения: 02.03.2026).

439. Airpeak S1 End of Sale Announcement [Electronic resource] // Sony Group Corporation. URL: https://www.sony.jp/airpeak/info2/20241101/ (дата обращения: 02.03.2026).

440. Sentrycs Joins Ondas Autonomous Systems to Deliver Next-Gen Airspace Security [Electronic resource] // The Fast Mode. URL: https://www.thefastmode.com/technology-solutions/45641-sentrycs-joins-ondas-autonomous-systems-to-deliver-next-gen-airspace-security (дата обращения: 02.03.2026).

441. Ondas Completes Acquisition of Sentrycs, a Global Leader in Counter-UAS Cyber Technology [Electronic resource] // Ondas Inc. 2025. URL: https://ir.ondas.com/press-releases/detail/256/ondas-completes-acquisition-of-sentrycs-a-global-leader-in (дата обращения: 02.03.2026).

442. Ondas to Acquire Controlling Interest in 4M Defense, Integrating Smart Demining Capabilities, Terrestrial and Subsurface Robotics, and AI-Powered Intelligence Platform [Electronic resource] // Ondas Inc. 2025. URL: https://ir.ondas.com/press-releases/detail/249/ondas-to-acquire-controlling-interest-in-4m-defense (дата обращения: 02.03.2026).

443. Ondas Completes Acquisition of Roboteam, a Global Leader in Rugged Tactical Ground Robotics [Electronic resource] // Ondas Inc. 2025. URL: https://ir.ondas.com/press-releases/detail/264/ondas-completes-acquisition-of-roboteam-a-global-leader-in (дата обращения: 02.03.2026).

444. Ondas Enters into Definitive Agreement to Strengthen Multi-Domain Autonomy Leadership with Strategic Acquisition of Robotics Innovator Apeiro Motion [Electronic resource] // Ondas Inc. 2025. URL: https://ir.ondas.com/press-releases/detail/230/ondas-enters-into-definitive-agreement-to-strengthen (дата обращения: 02.03.2026).

445. Ondas Expands its AI Sensing Capabilities with the Acquisition of a Controlling Interest in Insight Intelligent Sensors Ltd [Electronic resource] // Ondas Inc. 2025. URL: https://ir.ondas.com/press-releases/detail/250/ondas-expands-its-ai-sensing-capabilities-with-the (дата обращения: 02.03.2026).

446. Airbus finalises acquisition of Aerovel and its UAS Flexrotor [Electronic resource] // Airbus. 2024.

URL: https://www.airbus.com/en/newsroom/press-releases/2024-05-airbus-finalises-acquisition-of-aerovel-and-its-uas-flexrotor (дата обращения: 02.03.2026).

447. Robinson Helicopter Company Acquires Ascent Aerosystems, Adding Tactical Uncrewed Solutions Portfolio [Electronic resource] // Robinson Helicopter Company. URL: https://www.robinsonheli.com/press/robinson-helicopter-company-acquires-ascent-aerosystems-adding-tactical-uncrewed-solutions-portfolio (дата обращения: 02.03.2026).

448. Red Cat Signs LOI to Acquire Flightwave Aerospace Systems [Electronic resource] // Commercial UAV News. URL: https://www.commercialuavnews.com/red-cat-signs-loi-to-acquire-flightwave-aerospace-systems (дата обращения: 02.03.2026).

449. Flightwave [Electronic resource] // Red Cat. URL: https://redcat.red/solutions/flightwave/ (дата обращения: 02.03.2026).

450. The PLM M&A race — from lifecycle to enterprise digital everything [Electronic resource] // Engineering.com. 2025. URL: https://www.engineering.com/the-plm-ma-race-from-lifecycle-to-enterprise-digital-everything/ (дата обращения: 25.02.2026).

451. Cadence to Acquire BETA CAE, Expanding into Structural Analysis [Electronic resource] // Cadence. 2024. URL: https://www.cadence.com/en_US/home/company/newsroom/press-releases/pr/2024/cadence-to-acquire-beta-cae-expanding-into-structural-analysis.html (дата обращения: 11.03.2026).

452. What is the IVCAD Suite? [Electronic resource] // Dassault Systèmes. 2024. URL: https://www.3ds.com/products/simulia/ivcad-suite (дата обращения: 11.03.2026).

453. Dassault Systèmes Acquires Diota, Bringing Augmented Reality and Field Control Technology to Its Manufacturing and Operations Customers [Electronic resource] // Dassault Systèmes. 2023. URL: https://www.3ds.com/newsroom/media-alerts/dassault-systemes-acquires-diota-bringing-augmented-reality-and-field-control-technology-its-manufacturing-and-operations-customers (дата обращения: 12.03.2026).

454. Самарские ученые разработали для БПЛА систему искусственного интеллекта со стереозрением [Электронный ресурс]. 2025. URL: https://ssau.ru/news/24369-samarskie-uchenye-razrabotali-dlya-bpla-sistemu-iskusstvennogo-intellekta-so-stereozreniem (дата обращения: 12.02.2026).

455. МАИ представил на выставке HeliRussia-2025 отечественное решение для управления беспилотниками [Электронный ресурс]. 2025. URL: https://mai.ru/press/news/detail.php?ID=185007 (дата обращения: 25.02.2026).

456. Разработка инновационной навигационной системы в МАИ [Электронный ресурс]. 2025. URL: https://glonass-global.ru/news/development-of-an-innovative-navigation-system-in-mai/ (дата обращения: 25.02.2026).

457. БВС ZALA получили новые бортовые системы с ИИ для проведения авиамониторинга объектов ТЭК [Электронный ресурс]. 2025. URL: https://zala-aero.com/news/bvs-zala-poluchili-novye-bortovye-sistemy-s-ii-dlya-provedeniya-aviamonitoringa-obektov-tek/ (дата обращения: 25.02.2026).

458. Нейросети в виртуальных помощниках: САТЕЛ открывает новые возможности для бизнеса [Электронный ресурс] // elec.ru. 2025. URL: https://www.elec.ru/publications/tsifrovye-tekhnologii-svjaz-izmerenija/8694/ (дата обращения: 12.02.2026).

459. В Иннополисе испытали радар для мониторинга поверхности земли с беспилотника [Электронный ресурс] // tatar-inform. URL: https://www.tatar-inform.ru/news/v-innopolise-ispytali-radar-dlya-monitoringa-poverxnosti-zemli-s-bespilotnika-5991353 (дата обращения:

12.02.2026).

460. В России запатентован БПЛА, собирающий фрукты и складывающий их в корзину [Электронный ресурс] // CNews. URL: https://www.cnews.ru/news/top/2025-10-30_glonass_v_pomoshch_rossiyane (дата обращения: 12.02.2026).

461. «Геоскан» разработал первый российский образовательный квадрокоптер с бортовым ИИ [Электронный ресурс] // cnews. 2025. URL: https://www.cnews.ru/news/line/2025-03-05_geoskan_razrabotal_pervyj (дата обращения: 28.02.2026).

462. В России создали учебный квадрокоптер для отработки роевого взаимодействия [Электронный ресурс]. URL: https://russianhighways.ru/press/news/121007/ (дата обращения: 12.02.2026).

463. Новая технология позволит дронам работать сообща при поисковых операциях - CNews [Электронный ресурс] // CNews.ru. URL: https://www.cnews.ru/news/line/2025-02-13_novaya_tehnologiya_pozvolit (дата обращения: 02.04.2026).

464. «Лишён недостатков самолётов»: на что способен российский транспортный БПЛА С-76 [Электронный ресурс] // RT. 2025. URL: https://russian.rt.com/russia/article/1478394-bespilotnik-s-76-oak (дата обращения: 26.02.2026).

465. В России проводят испытания новой беспилотной системы доставки грузов [Электронный ресурс]. 2025. URL: https://science.mail.ru/news/5092-bespilotnaya-sistema-dostavki-gruzov/ (дата обращения: 25.02.2026).

466. «Росатом Композитные технологии» запустил первое в России серийное производство термопластичных композитов [Электронный ресурс]. 2025. URL: https://rosatom-composites.ru/news/rosatom-kompozitnye-tekhnologii-zapustil-pervoe-v-rossii-seriynoe-proizvodstvo-termoplastichnykh-kom/ (дата обращения: 27.02.2026).

467. Фонд НТИ представил новый стелс-материал с антиобледенением для беспилотников [Электронный ресурс]. URL: https://news.rambler.ru/tech/55452287-fond-nti-predstavil-novyy-stels-material-s-antiobledeneniem-dlya-bespilotnikov/ (дата обращения: 11.02.2026).

468. Владимир Путин открыл первое в России производство литий-ионных аккумуляторов для дронов [Электронный ресурс] // Волга Ньюс. URL: https://volga.news/article/740047.html (дата обращения: 25.02.2026).

469. В России создали электродвигатель для БПЛА на замену китайским - CNews [Электронный ресурс] // CNews.ru. URL: https://www.cnews.ru/news/top/2025-03-26_v_rossii_sozdali_elektrodvigatel (дата обращения: 02.04.2026).

470. Сертификат происхождения получил второй российский ДВС для беспилотников! [Электронный ресурс] // Аэронекст. 2025. URL: https://aeronext.aero/press_room/news/103748 (дата обращения: 12.02.2026).

471. Российский «Зефир-М» зависнет в воздухе на сутки [Электронный ресурс] // lenta.ru. 2025. URL: https://lenta.ru/news/2025/09/16/rossiyskiy-zefir-m-zavisnet-v-vozduhe-na-sutki/ (дата обращения: 25.02.2026).

472. В России создают гибрид самолета и дирижабля, который станет базовой станцией [Электронный ресурс]. 2025. URL: https://myseldon.com/ru/news/index/338402630?requestId=ecacf551-3752-422b-8838-270f058f4723 (дата обращения: 25.02.2026).

473. В России разработали компактный отечественный двигатель для БПЛА [Электронный ресурс] // ТАСС. URL: https://tass.ru/armiya-i-opk/26217641 (дата обращения: 02.04.2026).

474. «Гонец» разработал спутниковый модем для БПЛА [Электронный ресурс] // PRO Космос. URL:

https://prokosmos.ru/2025/03/06/gonets-razrabotal-sputnikovii-modem-dlya-bpla (дата обращения: 12.02.2026).

475. Геоскан и «Гонец» провели успешное тестирование купольной связи на беспилотнике [Электронный ресурс]. URL: https://www.cnews.ru/news/line/2025-05-21_geoskan_i_gonets_proveli (дата обращения: 12.02.2026).

476. В МАИ разработали и протестировали систему управления БПА на дальних расстояниях через геостационарный спутник [Электронный ресурс] // cnews. URL: https://www.cnews.ru/news/line/2025-11-27_v_mai_razrabotali_i_protestirovali (дата обращения: 27.02.2026).

477. В России создается система информбезопасности для БПЛА на основе квантовых технологий [Электронный ресурс]. 2025. URL: https://safe.cnews.ru/news/top/2025-03-28_sistemu_informbezopasnosti (дата обращения: 26.02.2026).

478. Система удаленной идентификации БАС успешно прошла тестирование [Электронный ресурс]. 2025. URL: https://favt.gov.ru/novosti-novosti/?id=16456 (дата обращения: 26.02.2026).

479. Прорыв в небе: как Россия в 2025 году завоевала рынок беспилотников [Электронный ресурс] // Life.ru. 2026. URL: https://life.ru/p/1829129 (дата обращения: 02.04.2026).

480. В Ростехе распечатали новый разведдрон на 3D-принтере [Электронный ресурс]. 2025. URL: https://rostec.ru/media/news/v-rostekhe-raspechatali-novyy-razveddron-na-3d-printere/#start (дата обращения: 25.02.2026).

481. Резидент Сколково запустил в серийное производство [Электронный ресурс]. URL: https://sk.ru/news/rezident-skolkovo-zapustil-v-serijnoe-proizvodstvo-3d-pechat-detalej-po-tehnologii-mbj/ (дата обращения: 02.04.2026).

482. Минпромторг разработал обновленную стратегию развития беспилотной авиации [Электронный ресурс] // РИА Новости. URL: https://ria.ru/20251028/minpromtorg-2051067475.html (дата обращения: 02.04.2026).

483. Кабмин направит регионам 4 млрд рублей на центры по развитию БАС [Электронный ресурс]. URL: https://www.vedomosti.ru/strana/central/news/2025/03/21/1099371-razvitie-tsentrov-bas (дата обращения: 25.03.2026).

484. Василий Шпак обозначил приоритеты развития рынка БПЛА: фокус на создание сервисных компаний-эксплуатантов [Электронный ресурс]. URL: https://minpromtorg.gov.ru/press-centre/news/442b1cc3-0af7-43d8-a71d-c0221eb36fbb (дата обращения: 25.03.2026).

485. Крупные российские компании объединились для создания «тяжёлой» САПР [Электронный ресурс] // Ruposters.ru. URL: https://ruposters.ru/news/20-06-2025/krupnie-rossiiskie-kompanii-obedinilis-sozdaniya-tyazhyoloi (дата обращения: 26.03.2026).

486. В ОДК спроектировали детали авиадвигателя ПД-14 с помощью российской системы «КОМПАС-Композиты» [Электронный ресурс] // ПВ.РФ Международный промышленный портал. URL: https://promvest.info/ru/intellekt/v-odk-sproektirovali-detali-aviadvigatelya-pd-14-s-pomoschyu-rossiyskoy-sistemyi-kompas-kompozityi/ (дата обращения: 26.03.2026).

487. Законы о беспилотниках в 2025 г. [Электронный ресурс]. URL: https://uav.intecgroup.ru/tpost/15o8xmii91-osobennosti-zakonodatelstva-dlya-bpla-v (дата обращения: 26.03.2026).

488. Интеллектуальные графические интерфейсы и цифровые двойники Вячеслава Хачумова для ICIEAM 2025 и Российских космических систем [Электронный ресурс] // Институт проблем искусственного интеллекта ФИЦ ИУ РАН. URL: https://rairi.frccsc.ru/en/news/168 (дата обращения: 26.03.2026).

489. Новая ИТ-платформа позволит создавать детали для спутников, яхт и авто [Электронный

ресурс]. URL: https://mirror.bmstu.ru/news/novaya-it-platforma-pozvolit-sozdavat-detali-dlya-sputnikov-yakht-i-avto (дата обращения: 26.03.2026).

490. Aviation EXplorer: Метод включения: новая ИИ-платформа ускорит проектирование деталей для БПЛА [Электронный ресурс]. URL: https://www.aex.ru/m/fdocs/1/2026/1/23/33994/ (дата обращения: 26.03.2026).
491. Global Drone Review 2024: Drone adoption "through the roof" worldwide [Electronic resource] // Zag Daily. 2024. URL: https://zagdaily.com/zag-air/global-drone-review-2024-drone-adoption-through-the-roof-worldwide/ (дата обращения: 23.03.2026).
492. EASA certifies first U-space service provider [Electronic resource] // AGN. 2025. URL: https://aerospaceglobalnews.com/news/easa-certifies-first-u-space-service-provider/ (дата обращения: 25.03.2026).
493. Good marketing or bust: why drone companies must devote their budgets to sales and marketing - LJ Aero [Electronic resource]. 2025. URL: https://ljaero.com/good-marketing-or-bust-why-drone-companies-must-devote-their-budgets-to-sales-and-marketing/ (дата обращения: 25.03.2026).
494. German flying taxi startup Volocopter files for bankruptcy [Electronic resource] // dw.com. URL: https://www.dw.com/en/german-flying-taxi-startup-volocopter-files-for-bankruptcy/a-71186747 (дата обращения: 27.03.2026).
495. Lilium faces second bankruptcy as funding deal collapses [Electronic resource] // AviTrader Aviation News. 2025. URL: https://avitrader.com/2025/02/24/lilium-faces-second-bankruptcy-as-funding-deal-collapses/ (дата обращения: 27.03.2026).
496. Acquisitions (and fight for survival) suggest challenges for drone market in 2025 [Electronic resource] // The Drone Girl. 2025. URL: https://www.thedronegirl.com/2025/03/26/drone-market-2025/ (дата обращения: 27.03.2026).
497. Defunct electric aircraft startup Lilium's tech lives on over at Archer [Electronic resource] // TechCrunch. 2025. URL: https://techcrunch.com/2025/10/16/defunct-electric-aircraft-startup-liliums-tech-lives-on-over-at-archer/ (дата обращения: 27.03.2026).
498. Stolz M. et al. Harmonized Skies: A Survey on Drone Acceptance across Europe // Drones. 2024. Т. 8, № 3. P. 107.
499. Drone Laws 2026: Everything You Need to Know [Electronic resource] // ZenaTech. 2025. URL: https://www.zenatech.com/drone-laws-2025-everything-you-need-to-know/ (дата обращения: 27.03.2026).
500. The Drone Industry's Hiring Crisis: Why U.S. Companies Struggle to Find Leaders Who Can Deliver [Electronic resource] // The Patriot Group. 2025. URL: https://thepatriotsgrp.com/the-drone-industrys-hiring-crisis-why-u-s-companies-struggle-to-find-leaders-who-can-deliver/ (дата обращения: 30.03.2026).
501. Drone Recruiting and UAV Talent Acquisition Christian & Timbers Christian & Timbers [Electronic resource]. URL: https://www.christianandtimbers.com/insights/drone-recruiting-and-uav-talent-acquisition-in-2025 (дата обращения: 30.03.2026).
502. DJI still dominates the 2025 drone market — and new data proves it [Electronic resource] // The Drone Girl. 2025. URL: https://www.thedronegirl.com/2025/11/06/2025-drone-market-dji/ (дата обращения: 30.03.2026).
503. What is the Blue UAS Cleared List? Everything drone pilots and buyers should know [Electronic resource] // The Drone Girl. 2026. URL: https://www.thedronegirl.com/2026/03/19/blue-uas-

cleared-list/ (дата обращения: 30.03.2026).

504. Research and Markets 8 min read. Drone Inspection and Monitoring Global Market Report 2024-2030: Growing Focus on Oil and Gas Pipeline Monitoring, AI for Automated Defect Detection Drives Adoption in Manufacturing [Electronic resource] // Yahoo Finance. 2025. URL: https://finance.yahoo.com/news/drone-inspection-monitoring-global-market-094000581.html (дата обращения: 30.03.2026).

505. Drone Supply Chain Disrupted: Western Shift Intensifies [Electronic resource]. 2025. URL: https://droneii.com/global-drone-supply-chain-disrupted-crisis-opportunity (дата обращения: 30.03.2026).

506. 2025 Global Drone Import Crisis: 3 Survival Tactics for OEMs & Importers LinkedIn [Electronic resource]. URL: https://www.linkedin.com/pulse/2025-global-drone-import-crisis-3-survival-tactics-oems-lindsay-liu-a7zzc/ (дата обращения: 31.03.2026).

507. Military Drone Market 2025–2035: Trends, Challenges, and Growth Opportunities [Electronic resource] // Market Business Insights. 2025. URL: https://www.marketbusinessinsights.com/military-drone-market (дата обращения: 31.03.2026).

508. Modular UAV Systems and Custom Payloads Custom Payload Integration for Versatile Missions [Electronic resource] // Drone America. URL: https://droneamerica.com/modular-uav-systems-custom-payloads/ (дата обращения: 31.03.2026).

509. Market News Updates. Global Drones as a Service (DaaS) Opportunity Positioned to Exceed $25 Billion Over the Next Decade [Electronic resource]. Globe Newswire, 2026. URL: https://www.globenewswire.com/news-release/2026/02/12/3237238/0/en/Global-Drones-as-a-Service-DaaS-Opportunity-Positioned-to-Exceed-25-Billion-Over-the-Next-Decade.html (дата обращения: 31.03.2026).

510. Lockheed Martin Ventures invests in rocket propulsion startup Venus Aerospace [Electronic resource] // SpaceNews Job Exchange. URL: https://spacenews.com/lockheed-martin-ventures-invests-in-rocket-propulsion-startup-venus-aerospace/ (дата обращения: 10.04.2026).

511. Drones as a Service (DaaS) Delivering Future-Ready Drone Operations for Today's Military and Defense Services [Electronic resource]. URL: https://www.prnewswire.com/news-releases/drones-as-a-service-daas-delivering-future-ready-drone-operations-for-todays-military-and-defense-services-302646113.html (дата обращения: 10.04.2026).

512. Percepto launches new drones, analytics for inspection platform - Helicopters MagazineHelicopters Magazine [Electronic resource]. 2021. URL: https://www.helicoptersmagazine.com/percepto-launches-new-drones-analytics-for-inspection-platform/ (дата обращения: 10.04.2026).

513. PrecisionHawk Creates Cell Tower Drone Inspection Solution UST [Electronic resource] // Unmanned Systems Technology. 2021. URL: https://www.unmannedsystemstechnology.com/2021/02/precisionhawk-creates-cell-tower-drone-inspection-solution/ (дата обращения: 10.04.2026).

514. DARTdrones: The Nation's Leader in Drone Training [Electronic resource] // DARTdrones. URL: https://www.dartdrones.com/ (дата обращения: 10.04.2026).

515. В России рынок гражданских БПЛА рухнул на треть - CNews [Электронный ресурс] // CNews.ru. URL: https://www.cnews.ru/news/top/2026-03-10_v_rossii_idet_spad_rynka (дата обращения: 08.04.2026).

516. Ключевые цитаты и фотоотчет с форума «АЭРОНЕКСТ 2025» [Электронный ресурс] // АЭРОНЕКСТ. URL: https://aeronext.aero/press_room/news/173847 (дата обращения: 08.04.2026).

517. «АЭРОНЕКСТ» представила отчет о состоянии рынка БАС в РФ [Электронный ресурс]. URL: https://securika-moscow.ru/ru/about/news/2025/september/23/otchet-o-sostoyanii-rynka-bas-v-rf/ (дата обращения: 07.04.2026).

518. Чиновники знали, что эксперименты с беспилотниками в пяти регионах заведомо провальные [Электронный ресурс] // Информационно-аналитический портал «Новости промышленности MASHNEWS». URL: https://mashnews.ru/chinovniki-znali-chto-eksperimentyi-s-bespilotnikami-v-pyati-regionax-zavedomo-provalnyie.html (дата обращения: 07.04.2026).

519. Месяц на бюрократию: Минтранс предложил упростить возможность аэрофотосъёмки с дронов [Электронный ресурс]. URL: https://www1.ru/news/2025/08/04/mesiac-na-biurokratiiu-mintrans-predlozil-uprostit-vozmoznost-aerofotosieemki-s-dronov.html (дата обращения: 08.04.2026).

520. Гостайну спускают на землю [Электронный ресурс] // Коммерсантъ. 2025. URL: https://www.kommersant.ru/doc/7940573 (дата обращения: 08.04.2026).

521. Гражданские беспилотники [Электронный ресурс] // Коммерсантъ. 2025. URL: https://www.kommersant.ru/doc/7794375 (дата обращения: 08.04.2026).

522. В России локализовано производство основных комплектующих для БПЛА - CNews [Электронный ресурс] // CNews.ru. URL: https://www.cnews.ru/news/top/2026-02-10_proizvodstvo_komplektuyushchih (дата обращения: 08.04.2026).

523. БПЛА не хватает полигонов. В Петербурге и Москве должны появиться центры тестирования беспилотников [Электронный ресурс] // Информационно-аналитический портал «Новости промышленности MASHNEWS». URL: https://mashnews.ru/bpla-ne-xvataet-poligonov.-v-peterburge-i-moskve-dolzhnyi-poyavitsya-czentryi-dlya-testirovaniya-bespilotnikov.html (дата обращения: 09.04.2026).

524. Не менее 20 дронопортов планируют установить в России до конца 2025 года [Электронный ресурс] // Ведомости. 2025. URL: https://www.vedomosti.ru/technology/news/2025/06/06/1115654-20-dronoportov (дата обращения: 09.04.2026).

525. Для системы планирования полетов дронов в общем пространстве согласовали бюджет [Электронный ресурс] // Ведомости. 2025. URL: https://www.vedomosti.ru/business/articles/2025/08/27/1134394-dlya-sistemi-planirovaniya-poletov-dronov-soglasovali-byudzhet (дата обращения: 09.04.2026).

526. Управление полётами дронов: старт платформы ЕС ОрВД [Электронный ресурс]. URL: https://logistics.ru/avtomatizaciya-logistiki-transportirovka/upravlenie-vozdushnym-dvizheniem-s-uchastiem-dronov-start (дата обращения: 09.04.2026).

527. В России не хватает почти 15 000 операторов гражданских дронов [Электронный ресурс] // news2035.ru. 2026. URL: https://news2035.ru/articles/v-rossii-ne-hvataet-pochti-15-000-operatorov-grazhdanskih-dronov/ (дата обращения: 10.04.2026).

528. Зарплаты в гражданской беспилотной авиации выросли на 3–15% [Электронный ресурс] // СенатИнформ – сетевое издание. 2026. URL: https://senatinform.ru/news/zarplaty_v_grazhdanskoy_bespilotnoy_aviatsii_vyrosli_na_3_15/ (дата обращения: 10.04.2026).

529. Российский рынок аграрных БПЛА в 2026 году может вырасти на четверть и достигнуть 22 млрд рублей [Электронный ресурс] // Информационно-аналитический портал «Новости промышленности MASHNEWS». URL: https://mashnews.ru/rossijskij-ryinok-agrarnyix-bpla-v-2026-godu-mozhet-vyirasti-na-chetvert-i-dostignut-22-mlrd-rublej.html (дата обращения: 10.04.2026).

530. Правительство утвердило постановление об экспериментальном правовом режиме по

эксплуатации воздушных беспилотников на Северном морском пути и в Арктической зоне [Электронный ресурс]. 2026. URL: http://government.ru/docs/58219/ (дата обращения: 10.04.2026).

531. Borovkov A., Khovaiko M., Martynets E., Ryabov Yu., Prytkov N., Anufrieva V., Ponyaeva I., Aleksashkin A., Mikhailov A., Rozhdestvensky O. Digital engineering in shipbuilding (https://assets.fea.ru/uploads/fea/news/2024/07/04/Poceedings%20NSN2024_Digital%20Engineering.pdf). XIII International Conference NAVY AND SHIPBUILDING NOWADAYS NSN'2024 PROCEEDINGS. Conference theme Construction materials. Strength and structural mechanics. 2024. С. 269-278.

532. Цифровая платформа по разработке и применению цифровых двойников «Digital Twins» CML-Bench® (часть 7): разработка и применение цифровых двойников композиционных материалов / А. Боровков, Д. Ожгибесова, А. Глазунов [и др.] // САПР и графика. – 2025. – № 7(347). – С. 4-18.

533. Insights S. Top 10 Trends in Composite Materials (2025) [Electronic resource] // StartUs Insights. 2025. URL: https://www.startus-insights.com/innovators-guide/trends-in-composite-materials/ (дата обращения: 09.03.2026).

534. Zouggar K. et al. Numerical damage assessment in T700/epoxy composite laminate under low and high velocity impacts using a modified hashin-puck criterion // Composite Structures. 2025. Т. 372. P. 119578.

535. Wang K., Taheri F. A reliable framework for assessing the impact resistance and post-impact damage tolerance of 3D hybrid composites against high-energy fragments and hailstones // Composite Structures. 2025. Т. 372. P. 119589.

536. Podolak P., Jakubczak P., Bieniaś J. Hybrid composite-metal structure response to post-impact compression – Experimental and numerical study // Composite Structures. 2025. Т. 352. P. 118685.

537. Shabani P., Li L., Laliberte J. Low-velocity impact (LVI) and compression after impact (CAI) of Double-Double composite laminates // Composite Structures. 2025. Т. 351.

538. Martín-Santos E. et al. A continuum constitutive model for the simulation of fabric-reinforced composites // Composite Structures. 2014. Т. 111. P. 122–129.

539. Rivallant S., Bouvet C., Hongkarnjanakul N. Failure analysis of CFRP laminates subjected to compression after impact: FE simulation using discrete interface elements // Composites Part A: Applied Science and Manufacturing. 2013. Т. 55. P. 83–93.

540. Ali M., Shaban Y., Lawaty S. Impact-induced damage mechanisms in PPS-based laminates: experimental characterization and ANN prediction of residual mechanical properties // J. Eng. Appl. Sci. 2025. Т. 72, № 1. P. 213.

541. Hu J. et al. Failure analysis of compression-after-impact of CFF/PEEK thermoplastic composites subjected to double-position impact based on DIC and Micro-CT techniques // Engineering Failure Analysis. 2025. Т. 171.

542. Li Y. et al. On Low-Velocity Impact Response and Compression after Impact of Hybrid Woven Composite Laminates // Coatings. Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 2024. Т.14, № 8.

543. Grotto F. et al. Testing Structural Elements under Multiaxial Loading: A Numerical Model of the Bench to Understand and Predict Complex Boundary Conditions // Aerospace. Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 2024. Vol. 11, No. 1.

544. Zhu X. et al. Experimental and numerical investigation on the compression after high-velocity

impact behavior of composite laminates // Engineering Failure Analysis. 2024. Vol. 159.

545. Qiang X. et al. Study on Low-Velocity Impact and Residual Compressive Mechanical Properties of Carbon Fiber–Epoxy Resin Composites // Materials. Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 2024. Vol. 17, No. 15.

546. Su S., Chen X., Li L. Residual Strength Evaluation of Multi-site Damage Structures with Irregular Cracks // 2023 Asia-Pacific International Symposium on Aerospace Technology (APISAT 2023) Proceedings / Springer Nature, 2024. P. 163–173.

547. Katunin A. et al. Methodology of residual strength prediction of composite structures with low-velocity impact damage based on NDT inspections and numerical-experimental CAI testing // International Journal of Impact Engineering. 2023. Vol. 181. P. 104762.

548. Острика А. В., Бугай И. В. Расчет низкоскоростного удара торцом жесткого цилиндра по композитной ортотропной пластине // Конструкции из композиционных материалов. ФГУП «НТЦ оборонного комплекса Компас», 2024. С. 11–16.

549. Dubinskii S. V. et al. Impact Damage Influence Investigations on the Composite Skin-Stringer Joint Fatigue Characteristics Under Conditions of Vibroacoustic Loading // Akustičeskij žurnal. 2023. Т. 69, № 2. P. 261–269.

550. Arbeiter F. et al. Damage tolerance-based methodology for fatigue lifetime estimation of a structural component produced by material extrusion-based additive manufacturing // Additive Manufacturing. 2020. Т. 36.

551. Гарифуллин М. Ф., Казаков И. А., Киреев В. А. Приближенный метод оценки остаточной прочности композитных тонкостенны х элементов конструкции ЛА при наличии низкоскоростного ударного повре ждения // Вестник Московского авиационного института. Aerospace MAI Journal, 2025. С. 137–146.

552. Староверов О. А., Струнгарь Е. М., Мугатаров А. И. Остаточная прочность и усталостная долговечность слоистого полимерного композита в условиях сжатия после удара // PNRPU Mechanics Bulletin. 2024. № 5. С. 106–119.

553. Димитриенко Ю. И., Димитриенко А. Ю. «Химический» критерий для моделирования усталостной долговечности материалов, разносопротивляющихся растяжению-сжатию // Математическое моделирование и численные методы. Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана, 2024. С. 18–42.

554. Ansys 2026 R1: Ansys LS-DYNA What's New [Electronic resource]. URL: https://www.ansys.com/webinars/ansys-2026-r1-ls-dyna?utm_source (дата обращения: 22.04.2026).

555. Ansys Materials 2025 R2 [Electronic resource]. URL: https://www.ansys.com/blog/ansys-materials-2025-r2 (дата обращения: 22.04.2026).

556. Autodyn Composite Modeling Guide. Release 2025 R1 [Electronic resource]. 2026. URL: https://ansyshelp.ansys.com/public/Views/Secured/corp/v251/en/pdf/Autodyn_Composite_Modeling_Guide.pdf (дата обращения: 19.05.2026).

557. Oasys Suite 22.0 released - Oasys LS-DYNA Environment [Electronic resource]. 2025. URL: https://dyna.oasys-software.com/oasys-suite-22-0-released/ (дата обращения: 22.04.2026).

558. Inside Abaqus 2025 [Electronic resource] // 4RealSim. 2025. URL: https://www.4realsim.com/post/inside-abaqus-2025 (дата обращения: 22.04.2026).

559. Altair® HyperWorks® 2025. Release Notes [Electronic resource]. URL: https://2025.help.altair.com/2025/simulation/pdfs/relnotes/AltairHyperWorks_2025_ReleaseNo

tes.pdf (дата обращения: 22.04.2026).

560. What's New in MSC Nastran 2025.1 [Electronic resource]. URL: https://simcompanion.hexagon.com/customers/s/article/What-s-New-in-MSC-Nastran-2025-1 (дата обращения: 22.04.2026).

561. What's New in Patran 2025.1 [Electronic resource]. URL: https://simcompanion.hexagon.com/customers/s/article/What-s-New-in-Patran-2025-1 (дата обращения: 23.04.2026).

562. What's New in MSC Nastran 2025.2 [Electronic resource]. URL: https://simcompanion.hexagon.com/customers/s/article/Whats-New-in-MSC-Nastran-2025-2 (дата обращения: 22.04.2026).

563. What's New in Patran 2025.2 [Electronic resource]. URL: https://mscsoftware.my.site.com/customers/s/article/What-s-New-in-Patran-2025-2 (дата обращения: 22.04.2026).

564. Что нового в Digimat 2026.1 [Электронный ресурс]. URL: https://simcompanion.hexagon.com/customers/s/article/What-s-New-in-Digimat-2026-1 (дата обращения: 22.04.2026).

565. What's new in Simcenter STAR-CCM+ 2602? - Simcenter [Electronic resource]. URL: https://blogs.sw.siemens.com/simcenter/simcenter-star-ccm-2602-released/ (дата обращения: 22.04.2026).

566. Simcenter Nastran 2512: Accelerating engineering innovation with unmatched performance and usability - Simcenter [Electronic resource]. 2026. URL: https://blogs.sw.siemens.com/simcenter/simcenter-nastran-2512-accelerating-engineering-innovation-with-unmatched-performance-and-usability/ (дата обращения: 22.04.2026).

567. Simcenter 3D: The Latest - Archive Nov 2024 - Aug 2025 - Simcenter [Electronic resource]. URL: https://blogs.sw.siemens.com/simcenter/simcenter-3d-the-latest-archive-nov-2024-aug-2025/?utm_source=chatgpt.com (дата обращения: 22.04.2026).

568. Цифровая платформа по разработке и применению цифровых двойников CML-Bench® [Электронный ресурс]. URL: https://cml-bench.ru (дата обращения: 19.05.2026).

569. Архипелаг-2025: Алексей Боровков выступил с лекцией «Цифровая платформа разработки БПЛА как основа обеспечения технологического лидерства» [Электронный ресурс]. URL: https://ctt.spbstu.ru/news/9187 (дата обращения: 14.05.2026).

570. Росатом выпустил обновленную версию программного пакета «Логос» Новости науки [Электронный ресурс]. URL: https://xn--80aa3ak5a.xn--p1ai/news/rosatom-vypustil-obnovlennuyu-vers iyu-programmnogo-paketa-logos/ (дата обращения: 27.11.2024).

571. САРУС+ Композиты [Электронный ресурс]. URL: http://sarusplus.ru/composites (дата обращения: 19.05.2026).

572. Димитриенко Ю. И. Моделирование нелинейно-упругих характеристик композитов с конечными деформациями методом асимптотического осреднения // PoHEI.MB. 2015. № 107. С. 68–77.

573. About CMH-17 [Электронный ресурс]. URL: https://www.cmh17.org/ (дата обращения: 19.03.2026).

574. Димитриенко Ю. И. Численное моделирование и экспериментальное исследование деформирования упругопластических пластин при смятии // Математическое моделирование и численные методы. 2015. С. 67–82.

575. LLorca J. et al. Multiscale Modeling of Composites: Toward Virtual Testing ... and Beyond // JOM. 2013. P. 215–225.

576. Furrer D. U., Dimiduk D. M., Ward C. H. Evolution of Model-Based Materials Definitions // Integr Mater Manuf Innov. 2024. Т. 13, № 2. P. 474–487.

577. Rauch L. et al. Complex Modelling Platform based on Digital Material Representation // Complex Systems Concurrent Engineering / под ред. Loureiro G., Curran R. London: Springer London, 2007. P. 403–410.

578. Россия закрыла цикл композитов для вертолётов, которые выгоднее продавать иностранцам [Электронный ресурс]. 2026. URL: https://www1.ru/news/2026/04/21/rossiia-zakryla-tsikl-kompozitov-dlia- vertoliotov-kotorye-vygodnee-prodavat-inostrantsam.html (дата обращения: 23.04.2026).

579. ГОСТ Р 57700.42-2023 «Численное моделирование полимерных композиционных материалов. Общие положения» [Электронный ресурс]. URL: https://gostassistent.ru/doc/9c4f73e2-ae5d-4089-b23e-cd3f12f2f4ee?ysclid=mqkyv1j77s10908091&utm_source=yandex.ru&utm_medium=organic&utm_campaign=yandex.ru&utm_referrer=yandex.ru (дата обращения: 11.03.2026).

580. Анализ изменений Воздушного кодекса РФ, подписанных 29 сентября 2025 г . [Электронный ресурс]. URL: https://aeronext.aero/press_room/regulation/203793 (дата обращения: 14.05.2026).

581. Распоряжение Правительства РФ от 20.05.2023 № 1315-р «Об утверждении Концепции технологического развития на период до 2030 года» [Электронный ресурс]. URL: http://government.ru/news/48570/ (дата обращения: 03.06.2026).

ИЗДАНИЯ ЭКОСИСТЕМЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ СПБПУ



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



Тенденции и перспективы развития новых материалов (включая цифровые технологии моделирования изделий из композиционных материалов на основе инструментов разработки и применения цифровых двойников композиционных материалов). Экспертно-аналитический доклад: монография / А.И. Боровков, Е.Р. Мартынец, Л.А. Щербина, Ю.А. Рябов, Е.Р. Хуторцова, И.И. Поняева, Е.П. Чхеидзе, Д.Д. Ожгибесова; под ред. А.И. Боровкова. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2026. – 172 с.



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



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



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



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



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



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



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



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



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



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



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



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



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



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



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



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



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



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



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



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



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



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



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



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



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



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



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



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



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



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



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



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



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

ОБ ИНФРАСТРУКТУРНОМ ЦЕНТРЕ НТИ ПО НАПРАВЛЕНИЮ «ТЕХНЕТ» СПБПУ

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

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

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

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
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

Монография

Подписано в печать 26.06.2026. Формат 60×84/8. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 38,0. Тираж 500. Заказ 3465.

Отпечатано с готового оригинал-макета, предоставленного авторами,
в Издательско-полиграфическом центре Политехнического университета.
195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29.
Тел.: (812) 552-77-17; 550-40-14.