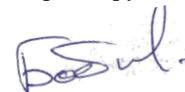


Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

На правах рукописи



Бобков Илья Алексеевич

**ЭКОНОМИЧЕСКИЙ МЕХАНИЗМ УПРАВЛЕНИЯ РАЗРАБОТКОЙ
ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНОЙ ПРОДУКЦИИ АВИАСТРОЕНИЯ НА
ОСНОВЕ АНАЛИЗА НЕОПРЕДЕЛЁННОСТЕЙ**

*5.2.3 Региональная и отраслевая экономика
(экономика промышленности)*

**Диссертация на соискание ученой степени
кандидата экономических наук**

Научный руководитель
доктор экономических наук,
профессор Бурдина А.А.

Москва 2023

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	4
<p>ГЛАВА 1. АНАЛИЗ ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИХ АСПЕКТОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗРАБОТКИ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНОЙ ПРОДУКЦИИ АВИАСТРОЕНИЯ</p>	
1.1 Анализ современного состояния и перспектив развития авиастроения (на примере БПЛА)	11
1.2 Проблемы эффективности разработки высокотехнологичной продукции авиастроения	24
1.3. Подходы к анализу неопределённостей разработки высокотехнологичной продукции авиастроения	31
1.4. Применение цифровых двойников в процессе разработки ВПА как фактор повышения эффективности на основе снижения неопределённости	47
Выводы по 1 главе	53
<p>ГЛАВА 2. ФОРМИРОВАНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОГО МЕХАНИЗМА УПРАВЛЕНИЯ РАЗРАБОТКОЙ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНОЙ ПРОДУКЦИИ АВИАСТРОЕНИЯ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА НЕОПРЕДЕЛЁННОСТЕЙ</p>	
2.1. Концептуальная модель управления разработкой высокотехнологичной продукции авиастроения	55
2.2. Методический инструментарий оценки факторов неопределенности при производстве высокотехнологичной продукции авиастроения	65
2.3. Методический подход к оценке тактической и стратегической целесообразности производства разработанной высокотехнологичной продукции авиастроения	78
2.4. Структура экономического механизма управления разработкой высокотехнологичной продукции авиастроения на основе анализа неопределённостей	90
Выводы по 2 главе	97

ГЛАВА 3. ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОГО МЕХАНИЗМА УПРАВЛЕНИЯ РАЗРАБОТКОЙ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНОЙ ПРОДУКЦИИ АВИАСТРОЕНИЯ	99
3.1. Практическая реализация методического инструментария оценки внутренних и внешних факторов неопределенности при производстве ВПА	99
3.2. Практическая реализация методического подхода к оценке тактической и стратегической целесообразности производства разработанной ВПА	109
Выводы по 3 главе.....	122
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	124
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ.....	129
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	130
ПРИЛОЖЕНИЕ А	141
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	142
ПРИЛОЖЕНИЕ В	143
ПРИЛОЖЕНИЕ Г	144
ПРИЛОЖЕНИЕ Д	146
ПРИЛОЖЕНИЕ Е.....	153
ПРИЛОЖЕНИЕ Ж.....	155
ПРИЛОЖЕНИЕ И	156
ПРИЛОЖЕНИЕ К	157
ПРИЛОЖЕНИЕ Л	160
ПРИЛОЖЕНИЕ М.....	163
ПРИЛОЖЕНИЕ Н	164

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Авиационная промышленность (далее по тексту – сокр. АП) является высокотехнологичным, системообразующим сектором экономики. В контексте внешних вызовов, задач развития, обеспечения экономического, технологического суверенитета Правительством России разработаны: Стратегии пространственного развития, национальной безопасности, программа развития авиационной промышленности. Ключевыми задачами нормативных правовых документов являются: формирование оптимальных номенклатуры, объемов и сроков поставок воздушных судов отечественного производства с учетом реализации в возможно короткий срок программ импортозамещения, разработка новых конструкционных материалов, аддитивных технологий для авиа- и космической техники, разработка новой конкурентоспособной авиационной техники. Решение поставленных государством задач опосредовано необходимостью обеспечения высокой скорости реакции разработчиков высокотехнологической продукции авиастроения (далее по тексту – сокр. ВПА) и производителей на изменения рынка, предпочтения заказчиков авиационной техники (далее по тексту – сокр. АТ) и потребителей, повышению эффективности разработок с учётом финансовых, производственных, технологических рисков. Таким образом, необходимо разрабатывать экономические механизмы управления, способствующие повышению скорости и эффективности разработки новой ВПА (например, посредством использования цифрового инструментария), технической подготовки производства, вывода продукции на внутренний и внешний рынок. В новых экономических реалиях необходимы критерии эффективности выбора ВПА для постановки на производство с учётом тактических, стратегических задач и факторов неопределённости, возникающих в современных условиях, что обосновывает актуальность темы исследования.

Степень разработанности темы исследования. Вопросы оценки эффективности НИР и ОКР рассмотрены в трудах российских и зарубежных

ученых Е.В. Григорьева, Н.А. Дубровского, И.Б. Ипатова, А.С. Карасева, Е.Т. Купрейшвили, Е.Ю. Морозова, А.А. Румянцева и других авторов. Фундаментальные исследования в области управления процессами в организациях проведены М. Вебером, М. Портером, Ф. Тейлором, И. Фишером. Анализу проблем разработки высокотехнологичной продукции, модернизации продукции, анализу рисков посвящены труды Г. Армстронга, А.Г. Бадаловой, Б. Банди, П.Г. Белова, Д.Б. Берга, Н.Г. Верстиной, Д. Гэлаи, Ю.Я. Еленевой, А.Т. Зуб, А.П. Ковалёва, Ф. Котлера, Н.Ш. Кремера, Р.А. Фатхутдинова и др. Однако вопросы управления разработкой ВПА, способствующие повышению эффективности разработки новой ВПА, технической подготовки производства с учётом факторов неопределённости требуют углубленного изучения в условиях цифровой среды.

Цель диссертационного исследования заключается в формировании структуры механизма управления разработкой высокотехнологичной продукции авиастроения на основе анализа неопределённостей, обеспечивающей выбор продукции для постановки на производство.

Для достижения сформулированной цели в диссертации были поставлены следующие **задачи исследования**:

1. Изучить состояние, тенденции, особенности развития авиастроения в условиях необходимости, а также укрепления экономического и технологического суверенитета России.
2. Провести анализ процессов управления жизненным циклом ВПА, методов оценки эффективности этапов НИОКР.
3. Разработать концептуальную модель управления разработкой высокотехнологичной продукции авиастроения.
4. Разработать методический инструментарий оценки внутренних и внешних факторов неопределенности при производстве разработанной высокотехнологичной продукции авиастроения.
5. Предложить методический подход к оценке тактической и стратегической целесообразности производства разработанной ВПА.

6. Разработать структуру экономического механизма управления разработкой высокотехнологичной продукции авиастроения с учётом тактической и стратегической целесообразности на основе анализа неопределённостей.

7. Провести апробацию разработанного механизма управления разработкой ВПА на основе анализа неопределённостей.

Объектом исследования в диссертации являются предприятия авиастроительной отрасли, занимающиеся разработкой и производством высокотехнологичной продукции авиастроения.

Предметом исследования определен процесс управления разработкой высокотехнологичной продукции авиастроения на основе анализа неопределённостей.

Методология и методы исследования. Настоящее диссертационное исследование основано на теоретических и методологических положениях фундаментальных трудов отечественных и зарубежных авторов, занимающихся вопросами эффективности НИР и ОКР, управлением жизненным циклом высокотехнологичной продукции, производственного менеджмента, анализа неопределённости при принятии решений. В рамках диссертационного исследования основополагающими являлись принципы теории стоимости, оптимизации. Основными методами, используемыми в работе, являются методы статистического анализа, теории вероятности, нейросетевого моделирования.

Научная новизна диссертационной работы состоит в теоретическом обосновании, построении и практической реализации экономического механизма управления разработкой высокотехнологичной продукции авиастроения, обеспечивающего проведение оценки эффективности разработки ВПА и принятие обоснованного решения о постановке продукции на производство.

В результате диссертационного исследования получены и выносятся на защиту следующие результаты, содержащие элементы научной новизны:

1. Концептуальная модель управления разработкой высокотехнологичной продукции авиастроения, отличающаяся возможностью оценки эффективности разработки ВПА на основе анализа экономических,

технологических факторов неопределённости, производственного риска для решения тактических и стратегических задач (п.2.2 Паспорта специальности ВАК).

2. Методический инструментарий оценки внутренних и внешних факторов неопределенности при производстве разработанной высокотехнологичной продукции авиастроения посредством нейросетевого моделирования, применение которого, в отличие от существующих подходов, позволяет дать оценку уровню производственного риска, оценить сложность производства разработанной ВПА; экономические, финансовые, технологические возможности обновления материально-производственной базы предприятий для создания ВПА (п. 2.16 Паспорта специальности ВАК).

3. Методический подход к оценке тактической и стратегической целесообразности производства разработанной ВПА, отличительной особенностью которого является оценка производства разработанной АТ в определённой конфигурации с учетом производственного риска, временного фактора, обеспечивающей рост доли рынка, снижение периода окупаемости ВПА, а также оценка производства АТ с учётом обеспечения производственного, технологического суверенитета авиастроения в долгосрочной перспективе за счёт качественного изменения лётных характеристик, развития в стране материально-технической, полигонной базы для производства АТ. Предложенный методический подход позволяет оценить эффективность разработки ВПА, принять решения о постановке разработанной продукции на производство (п.2.2, п.2.16 Паспорта специальности ВАК).

4. Экономический механизм управления разработкой высокотехнологичной продукции авиастроения на основе анализа неопределенностей, отличающийся возможностью повышения скорости реакции на изменения рынка, предпочтения заказчиков авиационной техники, эффективности разработки новой высокотехнологичной продукции авиастроения, посредством моделирования цифровых двойников, технической подготовки производства, вывода продукции на внутренний и внешний рынок. В основе

механизма критерии эффективности выбора ВПА для постановки на производство с учётом тактических, стратегических задач и факторов неопределённости (п.2.2, п.2.16 Паспорта специальности ВАК).

Теоретическая значимость диссертационной работы состоит в обобщении и развитии теоретико-методологических положений оценки эффективности НИОКР, управления жизненным циклом ВПА; обосновании применения методов нейросетевого моделирования для оптимизации компонент авиационной техники; определении критериальных показателей «тактическая целесообразность» и «стратегическая целесообразность», которые позволяют оценить эффективность разработки ВПА.

Практическая значимость диссертационного исследования состоит в том, что результаты работы могут быть использованы для обоснования принятия управленческих решений, связанных с производством разработанной ВПА. Предложенный методический подход позволяет оценить эффективность разработки ВПА с помощью показателей тактической и стратегической целесообразности. Разработанные нейросетевые модели способствуют развитию отраслевого искусственного интеллекта.

Информационную базу исследования составили нормативные правовые акты по вопросам развития отрасли авиастроения, сектора беспилотных летательных аппаратов, искусственного интеллекта, официальные данные Федеральной службы государственной статистики, Министерства экономического развития РФ; результаты исследований, находящиеся в открытом доступе в научных изданиях России и других стран; информационные ресурсы сети Интернет, а также результаты исследований, проведенных автором.

Основные положения выносимые на защиту:

1. Концептуальная модель управления разработкой высокотехнологичной продукции авиастроения.

2. Методический инструментарий оценки внутренних и внешних факторов неопределенности при производстве разработанной высокотехнологичной продукции авиастроения.

3. Методический подход к оценке тактической и стратегической целесообразности производства разработанной ВПА.

4. Экономический механизм управления разработкой высокотехнологичной продукции авиастроения на основе анализа неопределенностей

Степень достоверности и апробации результатов. Обоснованность и достоверность результатов исследования обеспечивается использованием общепризнанных достоверных источников, составляющих информационно-методическую основу исследования, а также корректностью аналитических выкладок и научной интерпретируемостью результатов расчета, и применением апробированного математического и программного обеспечения.

Апробация работы и внедрение результатов исследования осуществлялись на конференциях: 21-ой международной конференции «Авиация и космонавтика» (г. Москва, ноябрь 2022 г.), международной научно-практической конференции «Фундаментальные и прикладные научные исследования: актуальные вопросы современной науки, достижения и инновации» (Уфа, июнь 2023 г.) и других конференциях. А также доложены на XIV Всероссийский межотраслевой молодёжный конкурс научно-технических работ и проектов «Молодёжь и будущее авиации и космонавтики» (г. Москва, ноябрь 2022 г.).

Личный вклад автора: определены цели и задачи исследования, лично осуществлён подбор и анализ литературных данных, разработан методический подход и методический инструментарий, проведена их практическая реализация. Созданы компьютерные программы для практической реализации разработанного механизма управления разработкой высокотехнологичной продукции авиастроения на основе анализа неопределенностей. Осуществлён анализ, обработка и интерпретация полученных результатов, сформулированы выводы и написан текст диссертации.

Публикации по теме диссертации. Результаты диссертационного исследования опубликованы в 9 статьях, 5 из которых в рецензируемых научных изданиях из перечня, рекомендованного Высшей аттестационной комиссией при Минобрнауки России и 1 статья опубликована в журнале, входящем в реферативную базу данных Scopus.

Соответствие темы диссертации требованиям паспорта специальности ВАК. Профиль диссертации соответствует Паспорту специальности ВАК 5.2.3 – Региональная и отраслевая экономика в пп.: 2.2. Вопросы оценки и повышения эффективности хозяйственной деятельности на предприятиях и в отраслях промышленности. 2.16. Инструменты внутрифирменного и стратегического планирования на промышленных предприятиях, отраслях и комплексах.

Структура диссертационной работы. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы, состоящего из 93 наименований, и 12 приложений. Общий объем диссертации составляет 164 страницы машинописного текста, включая 39 рисунков и 28 таблиц.

ГЛАВА 1. АНАЛИЗ ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИХ АСПЕКТОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗРАБОТКИ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНОЙ ПРОДУКЦИИ АВИАСТРОЕНИЯ

1.1 Анализ современного состояния и перспектив развития авиастроения (на примере БПЛА)

Развитие и эффективное использование авиационного потенциала Российской Федерации представляют собой неотъемлемую необходимость и важное условие для достижения социально-экономического, технологического и инновационного прогресса. Отличительные черты авиационной промышленности (АП) включают в себя масштабы её деятельности, высокотехнологичность в производстве, высокую инновационную активность, интенсивное использование информационных технологий и другие факторы. Множество организаций в сфере авиастроения являются стратегически важными предприятиями для страны.

Развитие экономики заключается в изменении направления с упора на экспорт сырья к новому социально-ориентированному типу, основанному на инновациях. Этот переход будет способствовать значительному повышению уровня конкурентоспособности российской экономики благодаря увеличению её преимуществ в области науки, образования и высоких технологий. Формирование инновационной экономики подразумевает использование интеллекта и творческого потенциала как основного движущего фактора экономического роста и национальной конкурентоспособности. Развитие высокотехнологичной продукции авиастроения (ВПА) сопровождается интенсивным внедрением инноваций, способствующим развитию технологий производства и, следовательно, укреплению сектора авиастроения в целом.

В процессе исследования изучена нормативная правовая база, определяющая тренды развития отрасли авиастроения, как подотрасли авиационной промышленности, основные положения которой представлены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 Нормативная правовая база

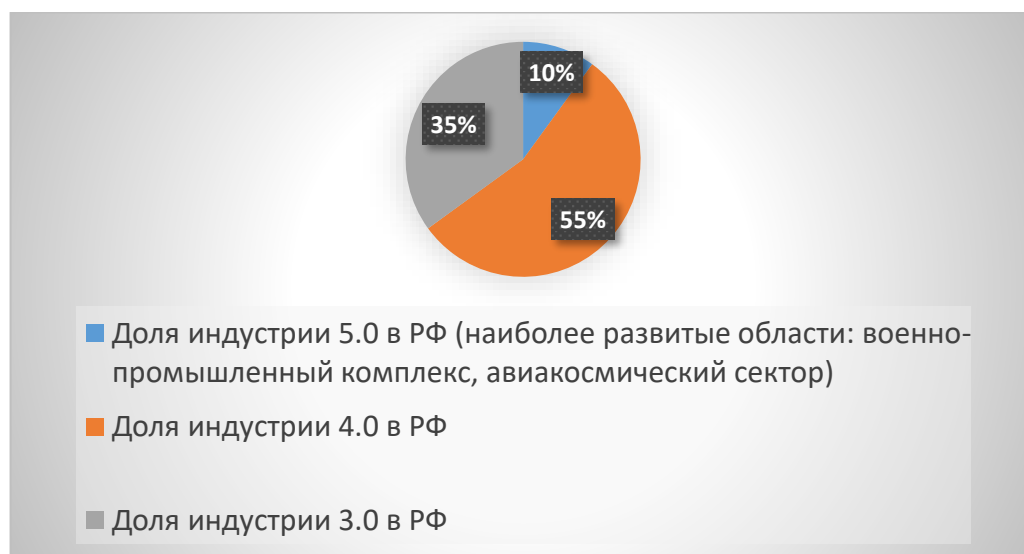
Наименование документа	Основные положения, обосновывающие актуальность исследования
Указ Президента №400 от 02.07.2021 № 400 « Стратегия национальной безопасности Российской Федерации »	<ul style="list-style-type: none"> • для повышения уровня конкурентоспособности и устойчивости развития необходимо произвести переход от экспорта сырья к переработке, развивать высокотехнологичные производства, обновлять технологическую и производственную базу, реализовывать масштабные инновационные проекты, объединяющие научно-технический, ресурсный и производственный потенциалы РФ. • эффективное использование бюджетных средств и управление гос. активами предприятий, имеющих стратегическое значение.
ФЗ № 172 от 28.06.2014 « Стратегическое планирование в РФ » (редакция от 17.02.2023)	<ul style="list-style-type: none"> • выявление факторов внутренней и внешней среды, основных тенденций, ограничивающих факторов для социально-экономического развития страны; • определение стратегий, методов и подходов, направленных на достижение целей и решение задач социально-экономической политики для обеспечения эффективного задействования требуемых ресурсов;
« Комплексная программа развития авиационной отрасли РФ до 2030 года », № 1693-р от 25.07.2022	<p>Одной из основных целей является обеспечение технологического суверенитета в отрасли авиастроения РФ.</p> <p>Стратегической задачей предприятий авиастроения ставится быстрый переход на отечественные компоненты АТ.</p>
« Стратегия развития беспилотной авиации России до 2030 года... » от 21.06.2023 № 1630-р	<p>Главные направления программы содержат:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Сохранение уровня спроса на беспилотные аппараты; • Разработка и массовое производство БПЛА, создание центров для внедрения инновационных технологий; • Развитие объектов, включая строительство аэродромов, вертолётных площадок и пунктов обслуживания дронов; • Подготовка специалистов; • Научные исследования в области беспилотных авиационных систем.
Постановление № 377 от 29.03.2019г. « Об утверждении госпрограммы «Научно-технологическое развитие РФ »	<p>Целями программы являются:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Обеспечение научно-технической и интеллектуальной основы для структурных изменений в экономике; • Развитие интеллектуального потенциала страны.

Таблица 1.1 Нормативная правовая база (продолжение)

Наименование документа	Основные положения, обосновывающие актуальность исследования
Указ президента России №490 «О развитии искусственного интеллекта в РФ» от 10.10.2019	Использование технологий искусственного интеллекта в экономике способствует созданию условий для повышения эффективности и появления новых направлений в деятельности предприятий. Этот эффект достигается за счёт: <ul style="list-style-type: none"> • повышения эффективности планирования, прогнозирования и принятия решений; • автоматизации производственных задач; • использования интеллектуальных и робототехнических систем. • повышения безопасности; • повышения удовлетворенности потребителей путем предоставления персонализированных предложений и рекомендаций; • оптимизацию процессов подбора и обучения персонала, разработку оптимального графика.
Указ президента «Стратегия НТР России» № 642 от 01.12.2016	<ul style="list-style-type: none"> • переориентация на передовые цифровые и интеллектуальные технологии производства, использование роботизированных систем; • переход к использованию новых материалов и методов проектирования.
«Транспортная стратегия РФ до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года» № 3363-р от 27.11.2021	Одной из целей стратегического планирования в транспортной области является цифровая трансформация отраслей и ускоренное внедрение новых технологий. Для достижения этой цели поставлены следующие задачи: <ul style="list-style-type: none"> • Оцифровка сведений о пассажирских и грузовых перевозках; • Оцифровка ЖЦ инфраструктуры и процессов управления транспортным комплексом; • Повышение уровня технологического развития транспортных систем.
«Федеральная научно-техническая программа развития синхротронных и нейтронных исследований и исследовательской инфраструктуры на 2019 - 2027 годы» от 16.03.2020 № 287	Цель направления исследований - разработка технологий получения и контроля качества конструкционных и функциональных материалов, что укрепит производственную безопасность РФ роста конкурентоспособности продукции. Главные направления исследований: <ul style="list-style-type: none"> • разработка инновационных конструкционных материалов для машино- и судостроения, авиационной и космической техники; • создание новых материалов с уникальными функциональными свойствами, среди которых сплавы, композиты, магнитные материалы, полупроводники, сверхпроводники для укрепления отечественной элементной базы.

Источник: составлено автором по данным [1, 2, 3, 4, 5, 89, 91, 92, 93]

Развитие авиастроения с точки зрения технологических укладов является важнейшей стратегической задачей и для авиационного сектора экономики России.



Источник: составлено автором по данным [43]

Рисунок 1.1. Доли типов индустрий в РФ

По оценкам ученых, РФ отстает от ведущих стран мира в экономическом плане. Основной проблемой для российской промышленности и науки является достижение уровня 6.0, минуя пятую ступень индустриализации (рисунок 1.1) [23].

Отставание России в высокотехнологичной сфере объясняется следующими факторами. Не эффективная нормативная база, регулирующая научный, высокотехнологичный сектор. Из федерального бюджета исключена статья по развитию фундаментальных исследований, что мешает научно-техническому развитию. Фундаментальные исследования финансируются наряду с общегосударственными вопросами, а прикладные исследования – из раздела «Национальная экономика». Практически нет частного финансирования научных исследований. Разделение между фундаментальной и прикладной наукой при финансовом планировании свидетельствует о неэффективности научной работы и нарушает принцип единого технологического цикла.

Ведущими странами в развитии высокотехнологичной производственной базы являются США, Япония, Швеция, Китай и другие, достигшие в некоторых

областях технологий индустрии 6.0, основные характеристики которой представлены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 - Основные характеристики индустрии 6.0

«... Циклы экономики	страны-лидеры	США, Япония, ЕС, Китай, Юго- Восточная Азия, Россия, Индия, Бразилия
	характеристика цикла	Нанотехнологическая и биотехнологическая революции, стремительное развитие когнитивной науки
Универсальный ресурс		Нано-электро-механические системы, биопроцессоры, устройства с прямым доступом к нейронам
Инфраструктура	транспорт и связь	Интегрированные информационные системы и телекоммуникации, мобильный Интернет, широкополосный доступ
	энергия	Водородная и термоядерная энергия
Состояние науки и образования		Конвергенция NBIC-технологий, глобальный рынок услуг, сетевые научно-исследовательские и инновационные системы
Преобладающие технологии		Нано- и биотехнологии, геновая инженерия, мембранные и квантовые технологии, фотоника, микро (нано)-механика, термоядерная энергетика, искусственный интеллект» [23,45]

Источник: составлено автором по данным [23,45,73]

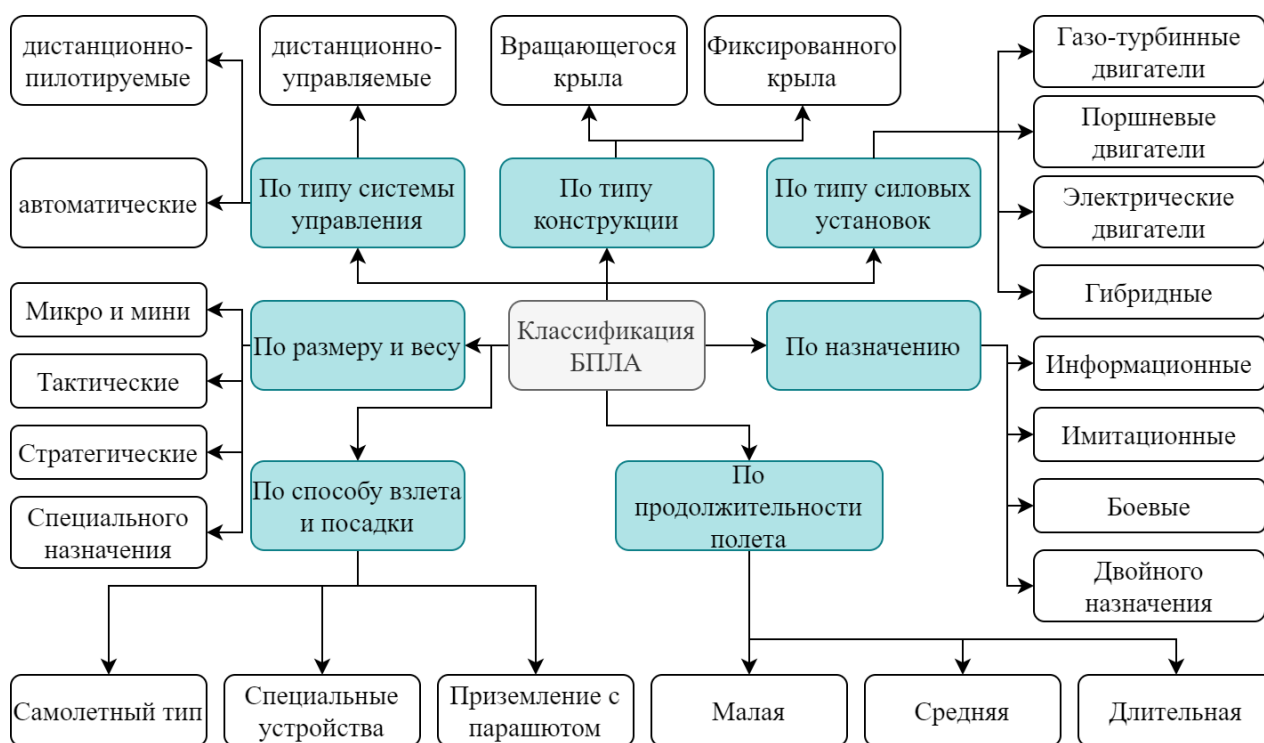
Одним из востребованных, высокотехнологичных и перспективных направлений проектирования и разработки авиационной техники является производство БПЛА. Производство БПЛА относится к отрасли авиастроения.

В литературе, посвященной этим и другим аспектам БПЛА, существует множество определений данного термина. В настоящее время наиболее полным определением БПЛА, наиболее точно описывающим сущность этого понятия, является: воздушное средство, разработанное для повторного использования или условно-многократного применения, не имеющее человеческого экипажа (пилота) и способное самостоятельно перемещаться в воздухе для выполнения различных задач. Это может быть достигнуто с использованием программного обеспечения для автономного управления или путем удаленного управления, выполняемого

человеком-оператором с помощью стационарного или подвижного управляющего пульта [48].

Несмотря на высокую функциональность БПЛА, необходимо продолжать развивать данную технологию в направлениях: высота полёта, скорость, грузоподъёмность. Совершенствования в перечисленных направлениях позволят решать новые задачи (доставка грузов на орбиту, на необитаемые территории и др.), повысить безопасность при решении тех задач, где жизнь человека подвергается риску (пожаротушение, гражданская авиация), повысить эффективность и производительность за счет экономии ресурсов.

В настоящее время существуют разнообразные типы БПЛА, специализированных под выполнение определенных задач (рисунок 1.2).



Источник: составлено автором по данным [33, 46, 72]

Рисунок 1.2. Классификация БПЛА

Практика использования БПЛА показывает, что применение беспилотных технологий имеет большой экономический потенциал. Динамика экономической эффективности использования БПЛА за 2022 год приведена в таблице 1.3.

Использование БПЛА для решения различных задач в различных сферах экономики способствует получению различных экономических эффектов. Это

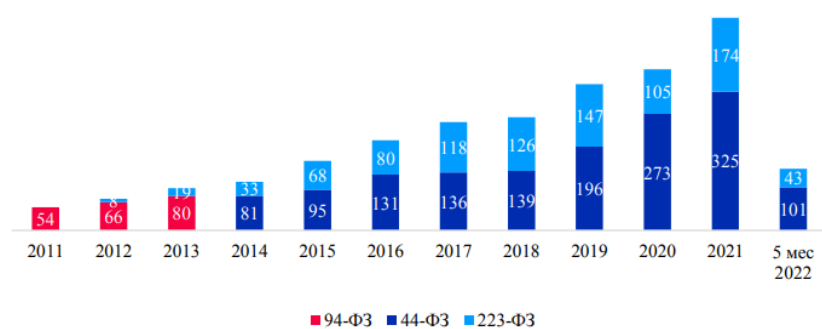
подтверждает целесообразность расширения применения беспилотных технологий на всей территории страны.

Таблица 1.3. Динамика эффективности использования БПЛА

Сектор	Экономический эффект
Сельское хозяйство	В 4,3 раза снизились затраты на обработку полей средствами защиты растений
	На 12,8% сократились расходы и затраты на удобрения,
	Оптимизировать налоговые и арендные платежи на 2,2 млн руб.
	Увеличилась выручка агропредприятий на 11,4 млн руб.;
Мониторинг линейных объектов	В 4–5 раз сократились финансовые затраты
	В 2,7–5 раз сократились затраты времени на выполнение задач по мониторингу
	Снизилось количество несчастных случаев
Строительство	Снизилась финансовая нагрузка на 24 млн руб.
	За 2022 год, сократились сроки строительства на 322 дня
Землеустройство и земельный надзор	На 20% снизилась стоимость комплексных кадастровых работ
	были поставлены на учет ранее не поставленные участки
Геологоразведка	В 2 раза снизилась стоимость полевых работ, обеспечивающих более высокую точность и более быстрое выполнение геологоразведочных работ с помощью БПЛА по сравнению с традиционной аэромагнитной съемкой самолетом

Источник: составлено автором по данным [26, 43, 63, 79]

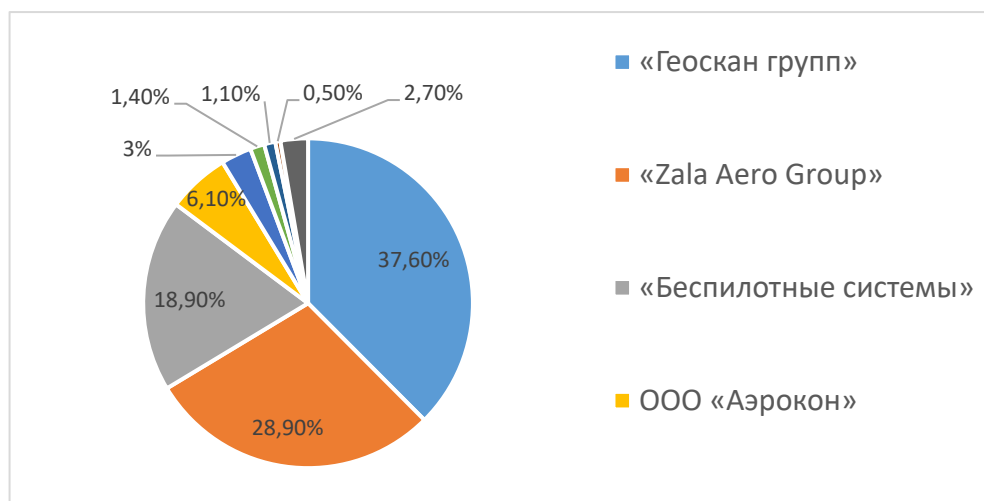
Факт эффективности использования БПЛА подтверждается ростом числа закупок, осуществляемых в соответствии с ФЗ № 44 «О системе в области закупок...» [2] и ФЗ № 223 «О закупках товаров...» [5]. На рисунке 1.3 представлено годовое количество закупок по указанным ФЗ.



Источник: составлено автором по данным [6, 7, 89, 90]

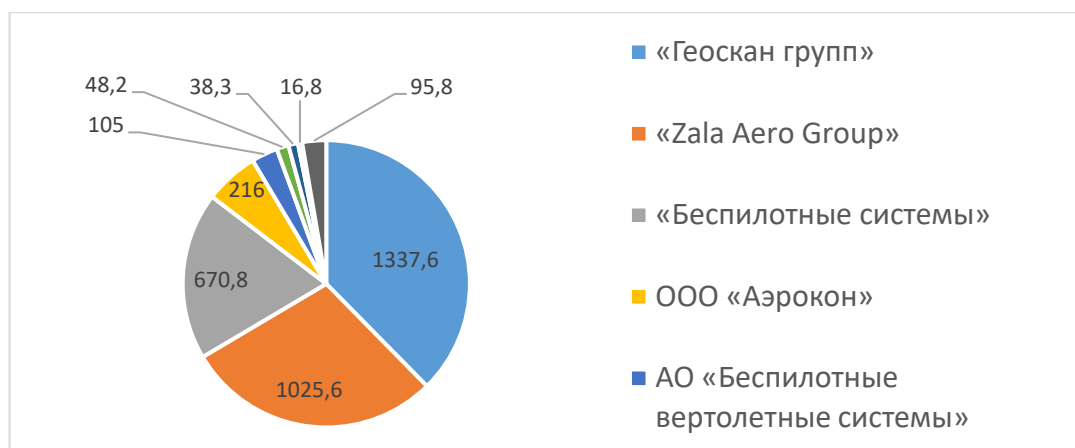
Рисунок 1.3. Объемы закупок по ФЗ №44 и №223

Основными крупными производителями БПЛА на российском рынке являются такие компании, как «Геоскан групп» (Санкт-Петербург), «Zala Aero Group» (Ижевск), «Беспилотные системы» (Ижевск), ООО «Аэрокон» (Московская область), АО «Беспилотные вертолетные системы» (Москва), ООО «ОКБ Авиарешения» (Казань), ООО «Автономные аэрокосмические системы» (Красноярск), ООО «Ас-Кам» (Ростов-на-Дону). Распределение выручки этих компаний за 2022 год представлено на рисунке 1.4, а их доля рынка – на рисунке 1.5. Структура выручки компаний-производителей БПЛА представлена на рисунке 1.6. Анализ деятельности компаний-производителей беспилотных летательных систем показал, что большинство из них занимаются производством компонент для БПЛА (рисунок 1.7).



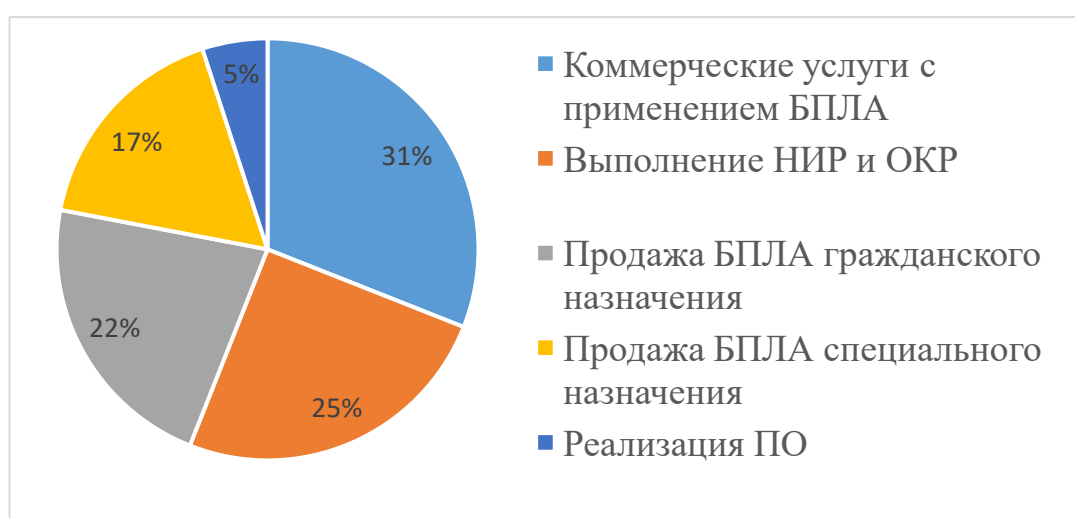
Источник: составлено автором по данным [9, 56, 77]

Рисунок 1.4. Структура рынка в 2022 году



Источник: составлено автором по данным [44, 67, 84]

Рисунок 1.5. Выручка компаний-производителей БПЛА за 2022 в млрд. руб.



Источник: составлено автором по данным [8, 24, 52, 80]

Рисунок 1.6. Структура выручки компаний-производителей БПЛА

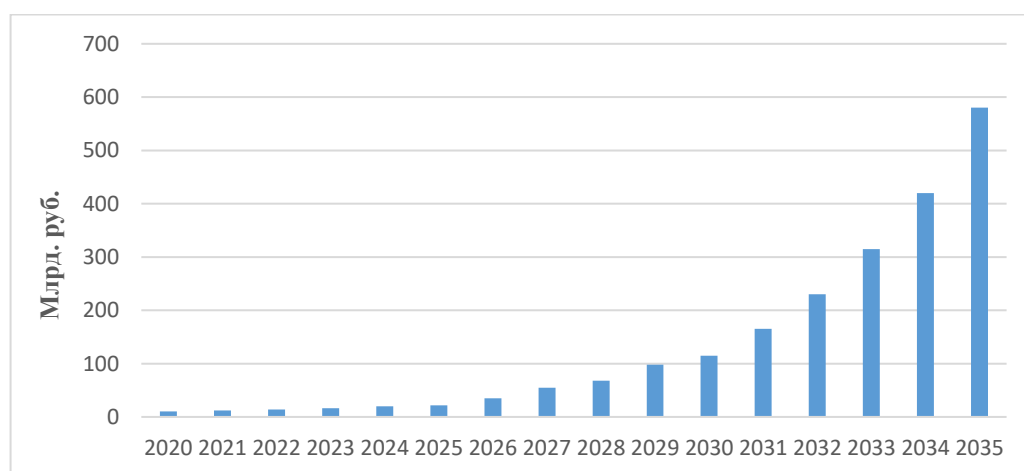
Развитие рынка беспилотных летательных аппаратов в России ограничивается недостаточным уровнем поддержки и развития необходимых факторов. 67% предприятий убеждены в недостаточном уровне развития инновационной инфраструктуры, необходимой для производства, проверки и эксплуатации БПЛА. Развитие рынка опосредуется новыми требованиями к их характеристикам, а, следовательно, материалам, комплектующим.



Источник: составлено автором по данным [16, 21, 54, 76]

Рисунок 1.7. Распределение предприятий по видам деятельности в %

Прогнозные показатели объемов рынка БПЛА в России основываются на статистике беспилотных авиационных систем и авиационных работ с их применением за более чем 10-летний период (рисунок 1.8).



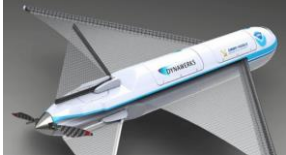


Источник: составлено автором по данным [10, 13]

Рисунок 1.8. Прогноз объемов рынка БПЛА

В диссертационном исследовании приводится сравнительный анализ характеристик некоторых моделей БПЛА различного вида (таблица 1.4, Приложение А, Приложение Б) с целью определения наиболее важных тактико-технических характеристик, влияющих на спрос и долю рынка. Наиболее значимыми для заказчиков характеристиками являются скорость, высота полёта.

Таблица 1.4. Характеристики БПЛА самолетного типа

	ООО НПП «ИДС Технологии», Россия	«AI Bird UAV Co.», Китай	«DynaWerks Inc.», США
			
	IDS-5	AI Bird KC-2000	DynaWerks Gale
Продолжительность полета, ч	до 20	15	1
Масса полезной нагрузки, кг	≤ 8	4	5
Максимальная взлетная масса, кг	30	9	20
Диапазон скоростей полета, км/ч	60–130	60-150	60-120
Крейсерская скорость, км/ч	90	110	110
Максимальная высота полета, м	3000	4600	250
Силовая установка	поршневой ДВС	поршневой ДВС	Электродвигатель
Топливо	Бензин АИ-92	Бензин АИ-92	--
Допустимая скорость ветра, м/с	15	10	10
Материалы производства	Алюминиевые сплавы, углепластик, стекловолокно	Алюм. сплавы, углепласт, стекловолокно	Алюм. сплавы, углепл., стекловол.

Источник: составлено автором по данным [13, 22]

Сравнительный анализ основных характеристик БПЛА самолетного, вертолетного и коптерного типа показывает, что для достижения конкурентного преимущества на рынке необходимо иметь наилучшие технические характеристики производимых БПЛА, что можно получить за счет новейших композитных материалов. За счет их применения можно достигнуть повышения грузоподъемности и прочности конструкции.

В настоящее время до 95% разработок инновационных материалов, а также технологий синтеза, производства и испытаний, проходит на базе НИЦ «Курчатовский институт» (ФГУП Всероссийский НИИ авиационных материалов). Это ведущая российская организация не только в разработке новых композитных материалов и сплавов, но и в исследовании их свойств.

Проводится разработка и исследование свойств композитных материалов на основе армирующих наполнителей из арамидных волокон и полимерных связующих различной природы (эпоксидных, фенолокаучуковых, полициануратных и др.).

В настоящее время разработаны:

- конструкционные органопластики на основе эпоксидных связующих (Органит 11ТЛ, ВКО-19Л, Органит 12Т(М)-Рус, Органит 16Т и др.) – применяются для изготовления средненагруженных элементов конструкций, стойких к механическим повреждениям, виброакустическим и эрозионным воздействиям;
- баллистически стойкие органопластики (ВКО-ТБ, ВКО-20) – применяются для изготовления защитных баллистических стойких экранов,
- антифрикционные органопластики (Оргалон АФ-1М) – предназначены для изготовления тяжелоагруженных подшипников скольжения, работающих при высоких нагрузках и при отсутствии смазки в течение всего периода эксплуатации.

В соответствии с требованиями к перспективной технике ведутся работы по совершенствованию свойств органопластиков в направлении использования в их составе новых арамидных волокон (третьего поколения типа Русар НТ) и современных связующих материалов.

Разнообразие углепластиков включает в себя различные типы связующих расплавных и растворных материалов. Эти материалы подвергаются обработке как с применением автоклавной технологии, так и без нее. На данный момент разрабатываются составы материалов, в которых используются жгутовые и тканевые элементы из углеродных волокон высокой прочности и со средним модулем упругости. Особенности применения композитных материалов представлены в таблице 1.5.

Таблица 1.5. Особенности применения композитных материалов

Тип материала	Используемое связующее	Область применения	Особенности
Углепластики ВКУ-25, ВКУ-29, ВКУ-39	ВСЭ-1212	Компоненты мотогондолы двигателя ПД-14, лопасти вертолетов	Рабочая температура до 120°C
Углепластики ВКУ-45	ВСЭ-34 с	Элементы киля и хвостового оперения самолета МС-21	Пониженная температура отверждения
Углепластики на основе связующего ВСП-3М	Расплавы модифицированных клеевых композиций	Создание деталей и агрегатов наружного контура монолитных и сотовых конструкций	Основаны на долговечных клеевых препрегах
Стеклопластики СТ-69Н и ВПС-34	Эпоксиды ЭДТ-69Н и ЭНФБ-2М	Элементы двигателей ПС-90А	Применяются для компонентов средней нагруженности
Стеклопластик ВПС-48/7781	Расплавной эпоксид ВСЭ-1212	Узлов реверсивного, воздухозаборника	Создание узлов двигателя
Стеклопластик ВПС-31	Эпоксид ВСП-3М	Лопастей вертолетов	Лопастей вертолетов
Клеевые препреги марок КМКС и КМКУ	Различные связующие, включая эпоксидные и другие	Изготовление сложных слоистых сотовых конструкций из ПКМ	Обладают возможностью создания сложных конструкций
Фенолокаучуковые пенопласты марок ФК-20 и ФК-40	Различные связующие	Конструкционный наполнитель лопастей вертолетов, вибростойкие теплозащитные элементы	Применяются в конструкционных и изоляционных целях
Радиопоглощающие материалы различных типов	Различные связующие	Обеспечение электромагнитной совместимости бортового радиоэлектронного оборудования	Используются для радиозащиты и радиотехнических целей

Источник: составлено автором по данным [56, 32]

Таким образом, анализ материалов, применяемых в авиастроении, и моделей БПЛА обнаруживает зависимость тактико-технических характеристик БПЛА от материала, из которого изготовлены их комплектующие компоненты, что необходимо использовать при разработке новых моделей. Данную зависимость необходимо учитывать при оценке эффективности разработки ВПА.

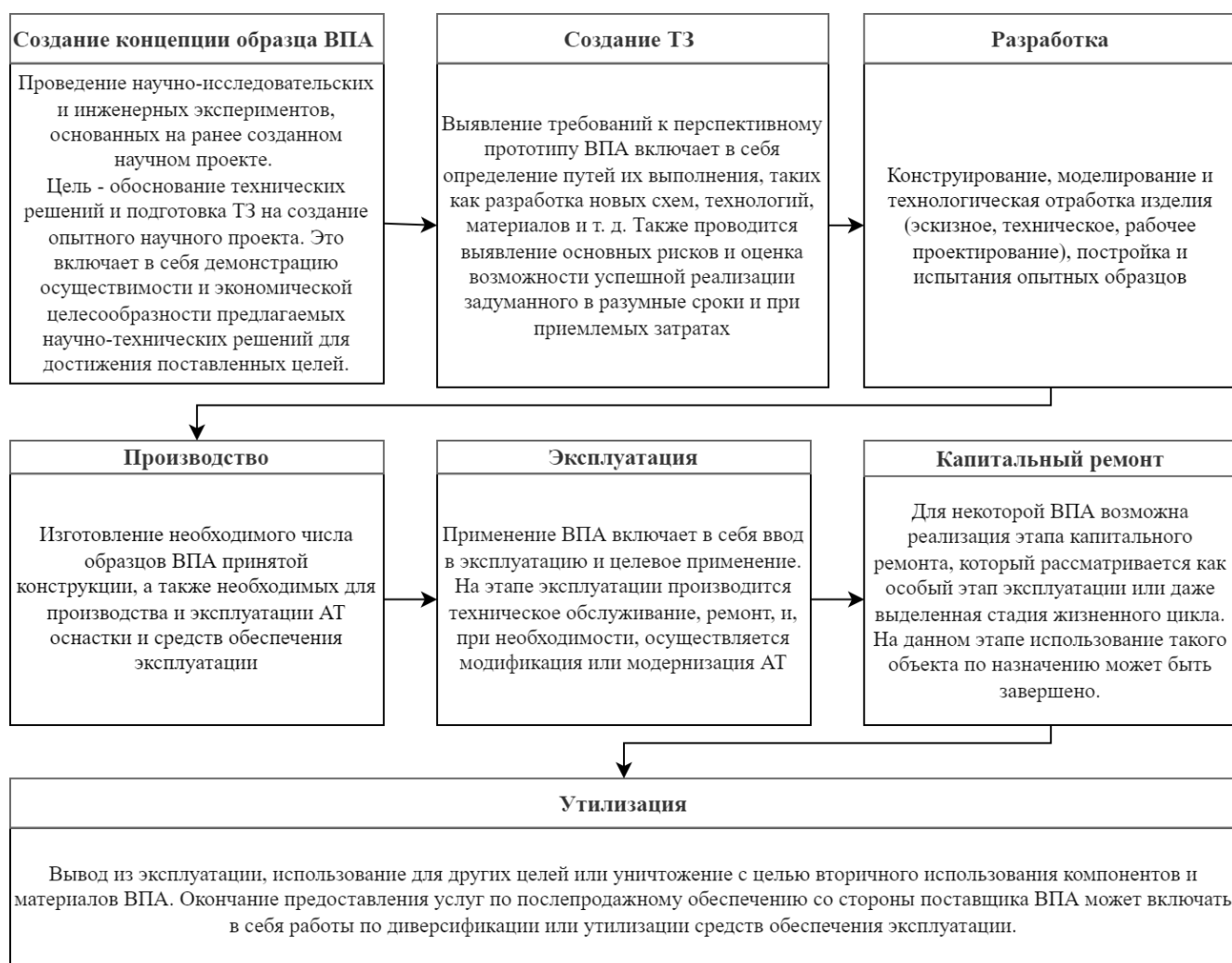
1.2 Проблемы эффективности разработки высокотехнологичной продукции авиастроения

Высокотехнологичной продукцией считается товар, работа или услуга, если они соответствуют определенным критериям или характеристикам: произведено на наукоёмких предприятиях с применением инновационного технологического оборудования, процессов и технологий, с привлечением высококвалифицированных специализированных кадров.

В российском законодательстве понятие инноваций было впервые утверждено в 2011 году в рамках ФЗ № 127 от 23.08.96 «О науке и государственной научно-технической политике», причем определение было основано на термине из международного документа «Руководство Осло: Рекомендации по анализу данных по инновациям».

Изменения, вызванные инновацией, могут зависеть от разнообразных факторов, таких как знания, восприятие, полезность, воспринимаемые потребности, технология, дизайн и бизнес-процессы. Инновация может представлять собой либо единичное изменение, либо состоять из творчески совмещенных модификаций (в некоторых из которых предполагается просто более эффективное использование уже существующих знаний или методов), нового сочетания уже известных элементов, внедрения небольших эволюционных улучшений или комбинации полностью новых элементов.

В диссертационном исследовании проведен анализ жизненного цикла высокотехнологичной продукции авиастроения. Основные стадии ЖЦ приведены на рисунке 1.9. Стадии разработки ВПА представлены на рисунке 1.10.



Источник: составлено автором по данным [12, 42]

Рисунок 1.9. Стадии жизненного цикла ВПА



Источник: составлено автором по данным [12, 41, 58, 62]

Рисунок 1.10. Стадии разработки ВПА

Одной из основных проблем разработки ВПА является низкая готовность производства реализовать разработку вследствие устаревания основных производственных фондов. Важной проблемой является низкий уровень сервисного обслуживания. Низкий уровень платёжеспособного спроса на инновационную продукцию авиастроения.

Результат производства ВПА критическим образом зависит от первоначальных концепций будущего образца АТ и создания технического задания. По этой причине в диссертационном исследовании особое внимание уделено управлению разработкой высокотехнологичной продукцией на указанных ранних стадиях жизненного цикла (формирование концепции образца и создание ТЗ). На данных этапах жизненного цикла крайне важно уделить внимание определению тактической и стратегической целесообразности производства АТ во избежание неэффективного и нерационального использования ресурсов, что приводит к отставанию на мировом рынке российских авиационных систем.

Проблемы сложности выполнения качественного скачка для отрасли авиастроения заключаются в сильной зависимости от импортных композитных материалов и сплавов, в принятии неэффективных решений по обновлению производственной и технологической базы, отсутствии анализа тактической или стратегической целесообразности разработок ВПА. Достоверная оценка необходимости проведения изменений на производствах и в технологиях позволит избежать нецелевого и неэффективного расходования средств, и поспособствует качественному развитию отрасли.

Первопричиной неэффективного управления финансовыми потоками в процессе разработки высокотехнологичной продукции авиастроения является низкое качество цифровых аналогов, неполная оценка экономической эффективности реализации НИОКР. В рамках диссертационного исследования изучены методы оценки эффективности инновационных проектов и НИОКР, которые изложены в параграфе 2.3.

Стратегией развития авиационной отрасли РФ определены основные производственные проблемы, требующие особого внимания:

- производство и снабжение запчастями для современной авиационной техники происходит во взаимодействии с иностранными производителями;
- дефицит российской сертифицированной авиационной техники и ее производство с использованием иностранных компонентов;
- отказ иностранных партнеров от предоставления специального программного обеспечения для безопасности полетов.

В этой связи, для того, чтобы выйти на необходимый уровень производственно-технических возможностей, необходимы разработки эффективных концептуальных моделей, экономических инструментов и механизмов, позволяющих проводить тактическое и стратегическое планирование производства высокотехнологичной продукции, разработка которых должна сопровождаться высоким уровнем инновационной активности.

Проблемой разработки ВПА, производства является наличие факторов неопределённости. Исследуем понятие «неопределённость» и подходы к её анализу.

Понятие «неопределенность» имеет несколько трактовок. «Большой экономический словарь» дает определение, связанное с недостаточностью информации об условиях, в которых будет проходить экономическая деятельность или низкая степень их предсказуемости [85]. В контексте экономики, неопределенность означает неясность и потенциальную неопределённость результатов при принятии решений в экономических ситуациях. Среди российских ученых, занимающихся вопросами неопределенности, можно выделить Р. И. Трухаева, В.В. Витлицкого.

В своих исследованиях Р.И. Трухаев использует концепцию, согласно которой неопределенность при принятии решений связана с ограниченной достоверностью и объемом информации, на основе которой лицо, принимающее решения, делает выбор [65]. В.В. Витлинский определяет понятие

неопределенности как основополагающую черту недостаточной ясности процесса принятия экономических решений в отношении конкретной проблемной ситуации. Это включает в себя неисчерпаемые или неточные знания о различных параметрах в будущем, вызванные различными факторами, особенно неопределенной и нечеткой информацией об условиях осуществления решения, включая выгоды и затраты, отсутствие четко определенных целей и критериев их оценки, а также множество критериев для оценки [31,32].

Среди зарубежных работ по неопределенности в принятии решений можно выделить работы Ф. Найта. В своей книге «Риск, неопределенность и прибыль» Ф. Найт различает риск и неопределенность, определяя риск как "измеряемую неопределенность" — то есть факторы, которые могут быть количественно оценены и прогнозируемы в некоторой степени. Неопределенность, по его мнению, представляет собой факторы, которые невозможно количественно измерить и, следовательно, предсказать; неопределенность присутствует при риске в процессе планирования, принятия решений и выполнения действий на всех уровнях экономической системы [25]. Классификация неопределенностей и характеристики их видов приведены американскими профессорами С. Роббинсом и М. Коултером и представлены в таблице 1.6.

Таблица 1.6 Классификация неопределенности

Вид неопределенности	Характеристика
Первый род	Стохастическая – появление неопределенности происходит из-за вероятностных (стохастических) аспектов изучаемых процессов и явлений. Включает точную информацию, случайные воздействия и проверку гипотезы.
	Неопределенность состояния источников и факторов внешней среды – возникает из-за изменений условий и состояний социально-экономической системы в процессе развития.
	Неопределенность целенаправленного противодействия – связана с конкуренцией, когда стороны не располагают достаточной информацией о мотивах и поведении других.

Таблица 1.6 Классификация неопределенности (продолжение)

Вид неопределенности	Характеристика
	<i>Неопределенность условий</i> – возникает из-за недостатка информации о решающих условиях.
Второй род	<i>Ретроспективная</i> – обусловлена отсутствием у управляющих лиц информации о предыдущих действиях изучаемого объекта. Включает техническую, целевую, лингвистическую неопределенность.
	<i>Техническая</i> – возникает из-за невозможности точного предсказания исхода принятых решений.
	<i>Неопределенность целей</i> – связана с неопределенностью или невозможностью определить одну определенную цель при принятии решений или создании модели.
	<i>Лингвистическая (смысловая)</i> – появляется при работе с терминами и понятиями, для которых отсутствует точное математическое описание в рамках вербального подхода.
	<i>Неопределенность действий</i> – возникает из-за отсутствия однозначности при выборе решений.
Третий род	<i>Перспективная</i> – возникновение связано с неожиданными факторами, влияющими на ход развития объектов или процессов, которые не обладают достаточной степенью изученности.

Источник: составлено автором по данным [20, 34, 66]

В каждый момент времени характеристики неопределённости в бизнес-процессах обнаруживают следующие аспекты:

1) Неопределённость обусловлена ограничениями точности существующих методов моделирования процессов принятия решений.

2) Неопределённость информационного характера возникает из-за неполного измерения важных параметров, их низкой точности, а также из-за сознательного искажения первоначальной информации.

3) Неопределённость возникает из-за того, что невозможно достичь точного и полного определения состояния всей системы, в которой действует предприятие.

Источниками неопределенностей являются:

1. Многочисленные элементы или составляющие ситуации, которые имеют множество характеристик, необходимых для описания и принятия управленческого решения.

2. Неточность информации и (или) ее недостаточность;

3. Недостаточная квалификация ЛПР при решении данного вида ситуаций;

4. Ограничения, связанные с принятием решения в данной ситуации;

5. Влияние внешней среды на процесс принятия решений.

С. Роббинс и М. Коултер обозначают две стратегии, направленные на уменьшение уровня неопределенности внешней среды организации:

1. Внутренняя стратегия, которая подразумевает адаптацию и изменение внутренних действий с целью соответствия изменяющимся условиям внешней среды.

2. Внешняя стратегия, которая состоит в попытке изменить окружающую обстановку с тем, чтобы она лучше соответствовала возможностям и потребностям организации [27, 59].

Во время экономического кризиса в России технологический прогресс в гражданской авиации замедляется, что затрудняет достижение стратегического прорыва в этой области, особенно при отсутствии интереса рынка к конкретным продуктам. Изучение специфики развития авиационной индустрии позволяет проанализировать основные внешние и внутренние факторы, оказывающие влияние на предприятия авиастроения (таблица 1.7). Этот анализ необходим для разработки стратегического плана развития, который учитывает преимущества и недостатки, а также возможности и риски. Для этих целей SWOT-анализ является эффективным инструментом.

То есть процесс принятия решений по разработке и внедрению ВПА на всех этапах их ЖЦ сопровождается определённым уровнем неопределенности. К факторам неопределённости разработки и производства ВПА относятся: санкции, износ производственных фондов, нехватка финансовых и др. ресурсов, быстрая

смена технологий, создание новых материалов, изменение требований заказчиков, потребностей покупателей.

Таким образом, на основании вышесказанного, можно вывести:

Сфера авиастроения проявляет высокий интерес к инновациям и готова к внедрению новых технологий и научно-технических разработок. Она обладает не только способностью использовать инновации, но и значительным потенциалом для их создания. Для осуществления качественной трансформации предприятий авиастроения необходимо учитывать тактическую и стратегическую целесообразность проектируемых в АТ изменений, оценка которых даст возможность получить конкурентное преимущество на рынке и более эффективно управлять финансовыми ресурсами.

В условиях неопределённости разработка новых концептуальных моделей управления разработкой ВПА, экономических механизмов и инструментариев позволит повысить эффективность использования финансовых и материальных ресурсов, более точной оценки важности и необходимости трансформации материально-сырьевой и производственной базы, что в итоге приведёт к качественному переходу на новый уровень технологического развития всей авиационной отрасли РФ. В этой связи разрабатываемые инструменты и механизмы должны обеспечивать высокую скорость сравнения различных вариантов производства для сокращения продолжительности этапов создания концепции и технического задания, с целью скорейшего запуска наиболее эффективного образца в производство.

В настоящее время востребованы разработка и применение беспилотных авиационных систем. Данный сегмент авиационного сектора является новым и перспективным, поэтому важно заложить принципы эффективного управления разработкой ВПА на ранней стадии его развития.

1.3. Подходы к анализу неопределённостей разработки высокотехнологичной продукции авиастроения

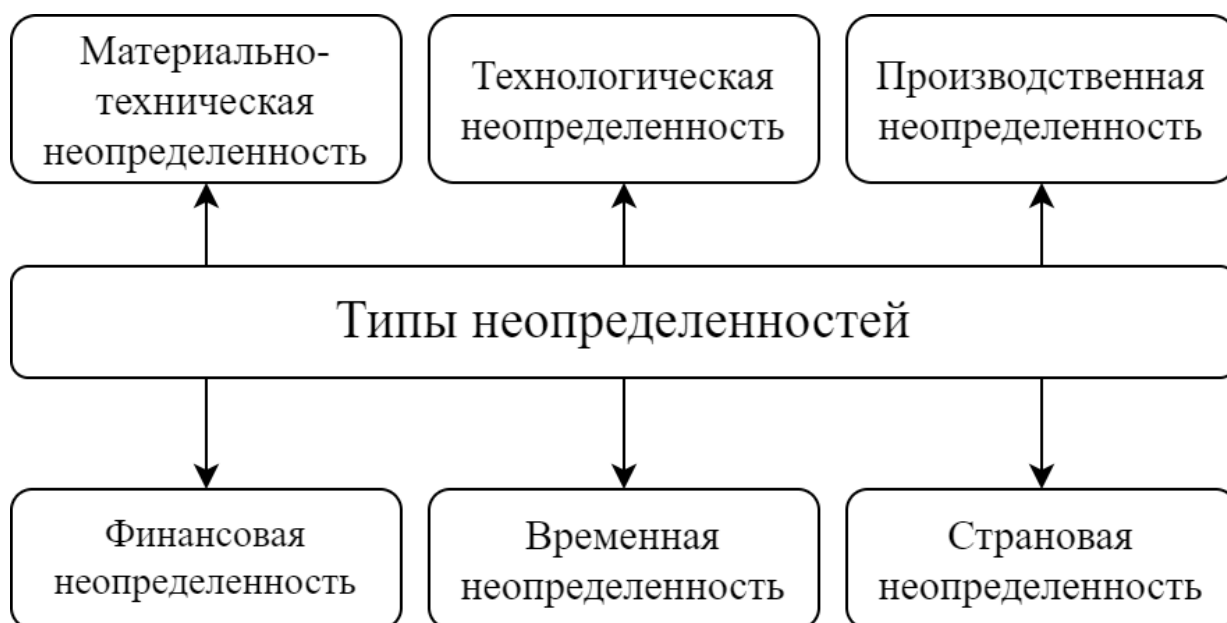
В литературе выделяются различные факторы неопределённости, влияющие на деятельность авиастроительных предприятий (Таблица 1.7):

Разработка ВПА осуществляется, с одной стороны, в условиях невозможности производить новую продукцию на старой материально-производственной базе и ограниченности ресурсов для обновления производства, а с другой, в условиях необходимости повышения скорости, эффективности разработки новой продукции авиастроения для обеспечения технологической, экономической безопасности отрасли, что позволяет сделать вывод о необходимости учёта различных видов неопределённостей при разработке экономического механизма управления разработкой ВПА. Данное диссертационное исследование основано на гипотезе многофакторности неопределенности. А также на связи факторов неопределенности разработки и производства ВПА с тактической и стратегической целесообразностью производства ВПА, являющихся характеристиками конкурентоспособности разрабатываемой продукции на разном временном интервале. С этой целью проведена классификация видов неопределенности при создании, производстве ВПА, с целью детального изучения влияния неопределённости на эффективность разработки ВПА. В диссертации определены: организационно-экономическая, материально-техническая, технологическая, производственная, финансовая, временная, страновая неопределённость. Многофакторная классификация неопределенности приведена на рисунке 1.11.

Таблица 1.7. Факторы, влияющие на предприятия АП

Факторы внешней среды		Факторы внутренней среды
Прямое воздействие	Косвенное воздействие	
1. Научные технологии	1. Экономическое состояние	1. Цикл производства 2. Средства производства 3. Материальные ресурсы 4. Средства и методы 5. Трудовые ресурсы управления
2. Организационное окружение	2. Политические факторы	
3. Конкурентная активность	3. Международная политика	
4. Деятельность поставщиков и финансовых институтов	4. Общественные аспекты	
5. Аспекты трудовых ресурсов, с их качественными и количественными свойствами		
6. Потребительские запросы		

Источник: составлено автором по данным [28, 49, 55, 68]



Источник: составлено автором

Рисунок 1.11. Многофакторная классификация неопределенности

В диссертации выделены внутренние факторы неопределённости: (изменение требований к характеристикам ВПА, влияние композитных материалов, комплектующих на лётные характеристики и др.) и внешние факторы:

- возможности производства материалов, комплектующих в РФ;
- возможности обновления материально-производственной базы предприятий для создания ЛА;
- технологии производства разработанной ВПА;
- время производства ЛА;
- факторы стоимости материалов, комплектующих, производства ЛА;
- ценовые факторы, факторы спроса на разрабатываемый ЛА и др..

Проведено изучение экономических методов и инструментов анализа неопределенности (таблица 1.8.)

Таблица 1.8. Экономические методы анализа риска и неопределенности

Название метода	Сущность (этапы) метода
Сети Байеса	Графическое представление переменных и их причинно-следственных связей, выраженное вероятностью. Расширенная версия известна как диаграмма влияния.

Таблица 1.8. Экономические методы анализа риска и неопределенности
(продолжение)

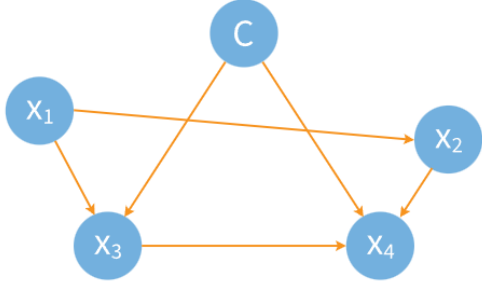
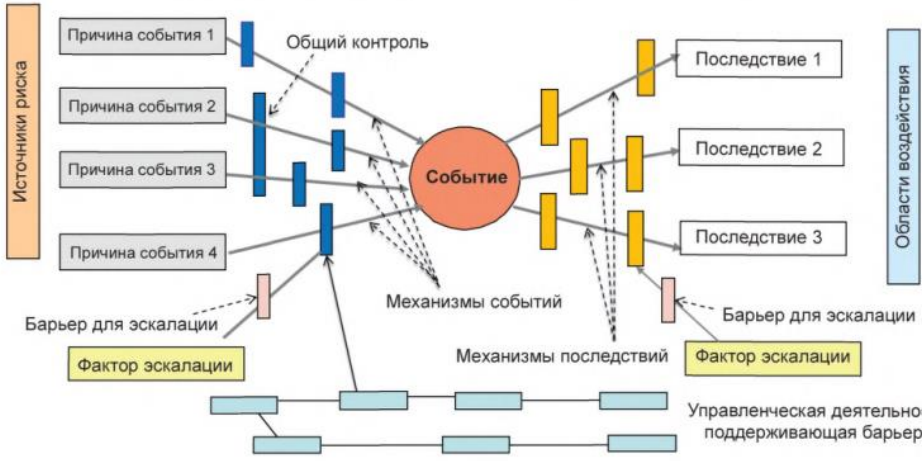
Название метода	Сущность (этапы) метода																																													
																																														
«Галстук-бабочка»	<p>Визуализация реализации риска от источника до последствий, включая меры по управлению неопределенностью.</p> 																																													
Матрица вероятности (тепловая карта)	<p>Сравнение отдельных факторов неопределенности, идентифицируя их вероятности и последствия, после чего эта информация отображается на матрице.</p> <p>При использовании численных значений для определения уровней шкалы, необходимо, чтобы они соответствовали имеющимся данным, а также требуется точное указание числовых значений.</p> <table border="1" data-bbox="730 1646 1276 1960"> <tr> <td rowspan="5" style="vertical-align: middle;">Рейтинг последствий ↑</td> <td>a</td> <td>III</td> <td>III</td> <td>II</td> <td>I</td> <td>I</td> </tr> <tr> <td>b</td> <td>IV</td> <td>III</td> <td>III</td> <td>II</td> <td>I</td> </tr> <tr> <td>c</td> <td>V</td> <td>IV</td> <td>III</td> <td>II</td> <td>I</td> </tr> <tr> <td>d</td> <td>V</td> <td>V</td> <td>IV</td> <td>III</td> <td>II</td> </tr> <tr> <td>e</td> <td>V</td> <td>V</td> <td>IV</td> <td>III</td> <td>II</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td colspan="5" style="text-align: center;">Рейтинг вероятности →</td> </tr> </table>	Рейтинг последствий ↑	a	III	III	II	I	I	b	IV	III	III	II	I	c	V	IV	III	II	I	d	V	V	IV	III	II	e	V	V	IV	III	II			1	2	3	4	5			Рейтинг вероятности →				
Рейтинг последствий ↑	a		III	III	II	I	I																																							
	b		IV	III	III	II	I																																							
	c		V	IV	III	II	I																																							
	d		V	V	IV	III	II																																							
	e	V	V	IV	III	II																																								
		1	2	3	4	5																																								
		Рейтинг вероятности →																																												

Таблица 1.8. Экономические методы анализа риска и неопределенности
(продолжение)

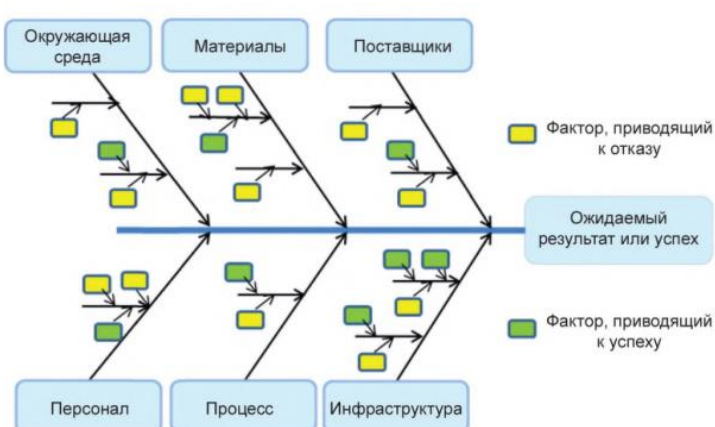
Название метода	Сущность (этапы) метода
<p>Анализ последствий и критичности отказов FMEA и FMESA</p>	<p>Проводится анализ причин и последствий возможных сценариев сбоев. Дополнительно к FMEA, можно провести анализ их критичности FMESA, позволяющий определить степень критичности. Он включает:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Функцию компонента; • Режимы отказа; • Механизмы, вызывающие сбои; • Возможные последствия; • Оценку безопасности или, наоборот, опасности отказа; • Способы обнаружения отказа и временные параметры для этого; • Меры компенсации для локализации последствий отказа.
<p>Изучение опасности HAZOP</p>	<p>Всесторонний анализ запланированного или существующего процесса, с целью выявления и оценки потенциальных проблем, которые потенциально представляющие угрозу безопасности сотрудников, состоянию оборудования или эффективности работы.</p> <p>HAZOP-анализ представляет собой полномасштабное исследование процессов и содержит выявление возможных отклонений от намерений проекта и изучение их потенциальных причин и последствий.</p>
<p>Метод Исикавы</p>	<p>Выявляются воздействующие факторы на конечный результат, будь то желаемый или нежелательный. Эти сопутствующие факторы часто классифицируются по заранее определенным категориям и представлены в древовидной структуре.</p> 

Таблица 1.8. Экономические методы анализа риска и неопределенности
(продолжение)

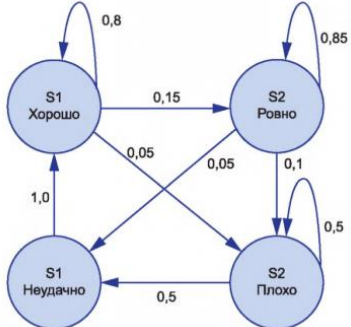
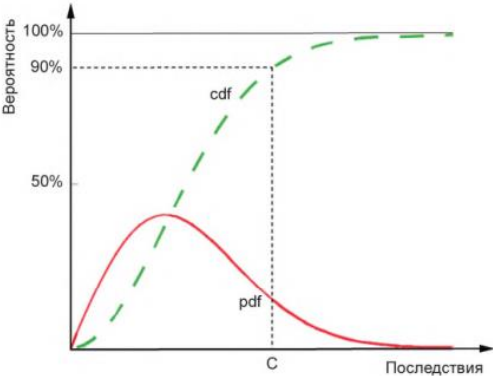
Название метода	Сущность (этапы) метода
Марковский анализ	<p>Оценивается вероятность того, что система, способная находиться в одном из различных состояний из заданного множества, окажется в определенном состоянии в последующий момент времени.</p> 
Индексы риска	<p>Способ оценки и сравнения степени неопределенности, в основном основанный на качественной или частично количественной оценке. Применяются для внутренних и внешних факторов с различным уровнем охвата. Данные индексы обычно специализированы для определённого типа неопределённости и применяются для сравнения различных сценариев, в которых возникает определённый уровень риска. В случаях, когда основные модели или системы не достаточно изучены или не являются репрезентативными, зачастую более предпочтительным является использование более наглядного качественного подхода, который не требует высокой степени точности.</p>
S-кривые	<p>Инструмент, предназначенный для визуализации связей между последствиями и их вероятностью, созданный в форме интегральной функции распределения.</p> <p>Если существует неопределенность, связанная с различными уровнями возможных исходов, можно отобразить её на графике вероятностного распределения (PDF). Такие данные также могут быть изображены с помощью кривой накопленной вероятности (CDF), которую иногда называют S-образной кривой. Вероятность того, что значение исхода превысит определенный порог, может быть получена из кривой CDF.</p> 

Таблица 1.8. Экономические методы анализа риска и неопределенности
(продолжение)


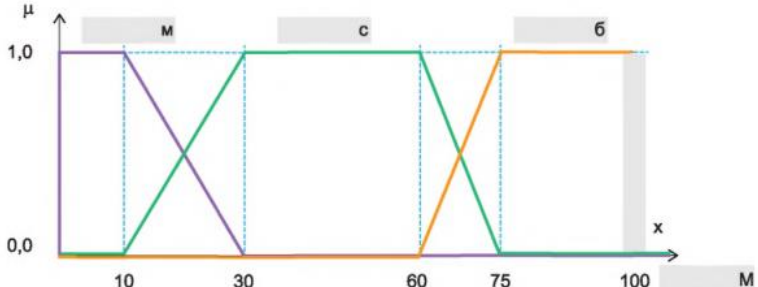
Название метода	Сущность (этапы)
Сценарный анализ	<p>Выявляются потенциальные сценарии будущего путем формулировки предположений, экстраполяции текущего положения или использования моделирования. После этого проводится оценка риска для всех сценариев.</p> 
Стоимость под риском (VaR)	<p>Финансовый инструмент, который использует оценку вероятности возможных убытков в стабильных условиях рынка, чтобы вычислить потенциальные финансовые утраты с определенной вероятностью в определенный период времени.</p> <p>Значение подверженности риску (VaR) широко применяется в финансовой сфере для определения возможных потерь в портфеле финансовых активов в заданный период в пределах определенного уровня уверенности. Убытки, превышающие уровень VaR, происходят с низкой вероятностью.</p> <p>Распределение прибылей и убытков обычно осуществляется одним из трех методов:</p> <ul style="list-style-type: none"> - метод Монте-Карло; - исторические имитационные модели; - аналитические методы многомерного нормального распределения.

Таблица 1.8. Экономические методы анализа риска и неопределенности
(продолжение)

Название метода	Сущность (этапы)
Методы нечеткой логики	<p>Используется для управления неопределенностью нечетких знаний, дополняя или заменяя вероятностные методы. В разделе нечеткой логики множество возможных состояний относятся к дискретному или непрерывному множеству. Степень отнесенности к множеству определяется при помощи функции принадлежности $\mu(A(x))$, значение которой находится в интервале $[0,1]$. Данный нормированный интервал выбран для стандартизации вычислений в процессе обработки информации и принятия решений.</p> 

Источник: составлено автором по данным [34, 64]

Анализ экономических методов и инструментов при оценке факторов неопределенности показывает, что их использование не позволяет учесть множество факторов в оценке и решить комплексную оптимизационную задачу. В исследовании изучены математические методы и инструменты анализа, оценки факторов неопределенности.

Теория игр

Теория игр служит для моделирования процесса принятия решений в условиях неопределенности и включает в себя классическую модель, где рассматривается антагонистическая игра двух игроков, где выигрыш одного игрока равен потере другого. Модель состоит из элементов $\{P, Q, A\}$, где $P \in R^n$ - вектор вероятностей для стратегий первого игрока, $Q \in R^m$ - вектор вероятностей стратегий второго игрока, а $A \in R^{(m \times n)}$ - матрица выигрышей и проигрышей, где элементы являются размерами выигрышей первого игрока и проигрышей второго.

Принятие решений в условиях неопределенности подразумевает наличие выбора оптимальной стратегии поведения. С точки зрения теории игр, данная задача моделируется матричной игрой особого типа, в которых игрок противостоит окружающей среде – матричные игры с природой. Под природой понимается совокупность внешних факторов, в которых находится игрок. В данном классе задач игрок называется лицом, принимающим решение (ЛПР). При выработке своих стратегий игрок располагает информацией о возможных состояниях окружающей среды. При этом различают два типа задач:

1. Задача принятия решений в условиях риска (вероятности состояний окружающей среды известны).
2. Задача принятия решений в условиях неопределенности (вероятности состояний окружающей среды неизвестны).

Существует множество информационных ситуаций, используемых для выявления стратегий взаимодействия с окружающей средой. Анализ и категоризация этих ситуаций являются основой теории принятия решений в условиях неопределенности. В своей монографии "Модели принятия решений в условиях неопределенности" Р. И. Трухаев предлагает новые подходы к изучению математических методов принятия решений в ситуациях неопределенности. Он выдвигает этот подход на основе систематизации информационных ситуаций (ИС) с учетом состояний окружающей среды и доступной информации.

В работе предлагается следующее определение информационной ситуации: определенная степень неопределенности в выборе состояний среды из предварительно заданного множества, доступная органу управления в момент принятия решения. В рамках работы Р.И Трухаева предложена классификация информационных ситуаций (рисунок 1.12).



Источник: составлено автором по данным [37, 78]

Рисунок 1.12. Классификация информационной среды

Приведенная выше детализация информационных ситуаций позволяет уточнить определение критерия принятия решений, учесть особенности текущей ситуации, более качественно учитывать неопределенность, конфликты и связанный с ними экономический риск. В данном исследовании рассматривается третья информационная ситуация в контексте состояний экономической среды.

Критерии, разработанные в теории игр и приведенные в таблице 1.9, позволяют определить оптимальную стратегию в условиях риска.

Таблица 1.9 Критерии оптимальности теории игр

Критерий	Особенности	Формулы
<i>Критерий максимума</i>	Известны вероятности наступления состояний природы: q_1, \dots, q_m .	$\max_i \sum_{j=1}^n p_j \cdot a_{ij}, \quad i = \overline{1, n}$
<i>Критерий минимума</i>	Заданы вероятности наступления состояний среды.	$\min_i \sum_{j=1}^n p_j \cdot a_{ij}, \quad i = \overline{1, n}$
<i>Критерий Лапласа</i>	Основывается на предположении: состояния внешней среды можно считать равновероятными.	$A^* = A_k$ $k = \operatorname{argmax}_i K_i$ $K_i = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m a_{ij}, \quad i = \overline{1, n}$
<i>Критерий Вальда</i>	Обеспечивает максимизацию наименьшего возможного выигрыша, который ЛПР может получить при реализации каждой своей	$A^* = A_k,$ $k = \operatorname{argmax}_i \left(\min_j a_{ij} \right)$ $i = \overline{1, n}; j = \overline{1, m}$

Таблица 1.9 Критерии оптимальности теории игр
(продолжение)

Критерий	Особенности	Формулы
	стратегии. Этот критерий направляет ЛПР на осторожное ведение, целясь в одновременное достижение прибыли и минимизацию рисков.	
<i>Критерий оптимизма</i>	Используется в безвыходном положении, когда применение любой стратегии может равновероятно привести ЛПР к полному провалу или максимальному выигрышу	$A^* = A_k$ $k = \operatorname{argmax}_i \left(\max_j a_{ij} \right)$ $i = \overline{1, n}; j = \overline{1, m}$
<i>Критерий пессимизма</i>	Предполагает неблагоприятное для ЛПР развитие внешней среды и выхода ситуации из-под контроля, поэтому все потенциальные риски исключаются и использовать стратегию с минимальным выигрышем	$A^* = A_k$ $k = \operatorname{argmin}_i \left(\min_j a_{ij} \right)$ $i = \overline{1, n}; j = \overline{1, m}$
<i>μ-критерий</i>	является миниминным относительно элементов матрицы риска r_{ij} и считается критерием крайнего оптимизма, так как ЛПР предполагает, что внешняя среда к нему благосклонна и при этом риск будет сведен к нулю	$A^* = A_k$ $k = \min_i \left(\min_j r_{ij} \right) \quad i = \overline{1, n}; j = \overline{1, m}$
<i>Критерий Сэвиджа</i>	ориентирует ЛПР на более благосклонное развитие ситуации, чем наихудшее первоначальное ожидание.	$A^* = A_k$ $k = \min_i \left(\max_j r_{ij} \right) \quad i = \overline{1, n}; j = \overline{1, m}$
<i>Критерий Гурвица</i>	учитывает пессимистический и оптимистический подходы при анализе неопределенной ситуации и направлен на выбор определенного среднего элемента платежной матрицы, отличного от крайних состояний	$A^* = A_k$ $k = \max_i \left(\lambda \max_j a_{ij} + (1 - \lambda) \min_j a_{ij} \right)$ $i = \overline{1, n}; j = \overline{1, m}$ <p>где $\lambda \in [0; 1]$ – коэффициент оптимизма.</p>
<i>Критерий Хеджа-Лемана</i>	используется, когда имеется информация о вероятностях состояний окружающей среды	$A^* = A_k$ $k = \operatorname{argmax}_i \left(\lambda \sum_{l=1}^n q_l a_{il} + (1 - \lambda) \min_j a_{ij} \right)$

Источник: составлено автором по данным [29, 53, 86, 87]

Имитационное моделирование

Имитационное моделирование - это процесс создания модели реальной системы и последующих экспериментов с ней для понимания её динамики или оценки различных стратегий, при условии соблюдения установленных ограничений, обеспечивающих эффективное функционирование системы.

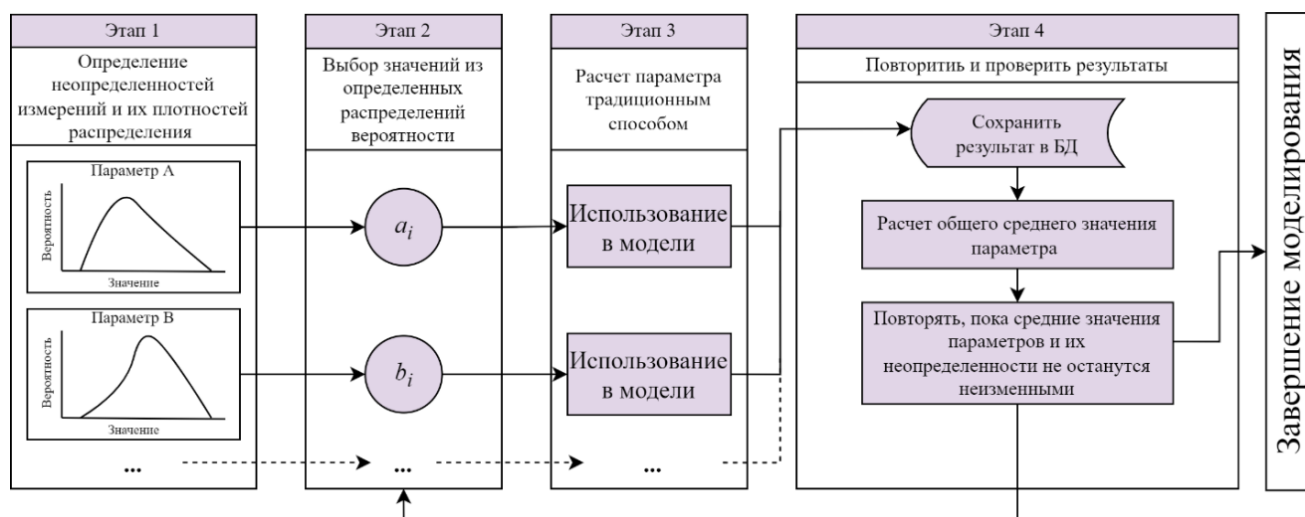
Роберт Шеннон выделяет следующие этапы процесса имитации, изображенные на рисунке 1.13.

Один из широко используемых методов имитационного моделирования - метод Монте-Карло, который представляет собой метод статистических экспериментов. В контексте сетевых моделей, он используется как метод имитационного моделирования для отслеживания хода выполнения проекта. Этот метод позволяет создавать множество сценариев, соответствующих заданным ограничениям на показатели (рисунок 1.14).



Источник: составлено автором по данным [17, 34, 38]

Рисунок 1.13. Этапы имитационного моделирования



Источник: составлено автором по данным [17, 30, 50]

Рисунок 1.14 – Схема проведения имитационного моделирования

Энтропия Шеннона и последовательности Фишборна

Для оценки степени неопределенности широко признана применимость теории информации и, в частности, понятия энтропии Шеннона.

В более широком контексте, энтропия рассматривается как индикатор неопределенности в конкретной системе. Клод Шеннон, основатель теории информации, представил формулу (1.1), которая позволяет оценить энтропию:

$$H(p) = - \sum_{i=1}^n p_i \log_2(p_i) \quad (1.1)$$

где H – информационная энтропия;

p_i – вероятности событий;

n – количество рассматриваемых событий.

Энтропия подчиняется следующим основным аксиомам:

1) Непрерывность функции энтропии $H(p)$ на множестве $\{p | p_i \in [0; 1], j = \overline{1, n}, \sum_{i=1}^n p_i = 1\}$;

2) $H\left(\frac{1}{n}, \dots, \frac{1}{n}\right) < H\left(\frac{1}{n+1}, \dots, \frac{1}{n+1}\right), n \in N$;

3) $H(p_1, \dots, p_{n-1}, \lambda p_n, (1 - \lambda)p_n) = H(p_1, \dots, p_n) + p_n H(\lambda, 1 - \lambda)$.

Шенноном было показано, что единственная функция, удовлетворяющая данным аксиомам, является функция вида $H(p) = -K \sum_{i=1}^n p_i \log_2(p_i)$, $K > 0$.

Функция энтропии обладает следующими математическими свойствами:

- 1) Неотрицательность $H(p) \geq 0$;
- 2) $H(p) = 0 \Leftrightarrow p = e_i = (0, \dots, 1, \dots, 0)$;
- 3) Единственная точка максимума функции энтропии $-\left(\frac{1}{n}, \dots, \frac{1}{n}\right)$;
- 4) $H\left(\frac{1}{n}, \dots, \frac{1}{n}\right) = K \cdot \log_2(n) \geq 0$;
- 5) Ограниченность $0 \leq H(p) \leq K \cdot \log_2(n)$;

Функция энтропии характеризует степень неопределенности системы, показывая, насколько близко система находится к хаотичному, бесструктурному виду. Максимальное значение энтропии соответствует максимально хаотичному состоянию. Малое значение – самому детерминированному ее состоянию.

Ранжирование ИС позволяет подобрать критерий принятия решений, качественно учитывать неопределенность и экономический риск. Применение энтропийного подхода возможно при известных вероятностях состояния окружающей среды, для оценки которых используются последовательности Фишборна.

Пусть $q = (q_1, \dots, q_n)$ — вектор распределения вероятностей возможных состояний внешней экономической среды. Компоненты q_i должны удовлетворять следующим условиям:

- 1) Условие нормировки $\sum_{i=1}^n q_i = 1$;
- 2) Условие неотрицательности вероятностей $q_i \geq 0$.

Согласно теории, формулы Фишера позволяют рассчитать вероятностные оценки состояний экономической среды, основываясь на заданном векторе приоритетов, который представляет собой отношение порядка. Линейное отношение порядка - это соотношения, которые должны соблюдаться между значениями членов последовательности, выраженные в виде неравенств $q_1 \geq \dots \geq q_i \geq \dots \geq q_n$ или $q_1 \leq \dots \leq q_i \leq \dots \leq q_n$ [47]. Первая и вторая формулы

Фишберна, дающие оценки вероятностям состояний окружающей среды, имеют вид:

$$q_j = \frac{2(n-j+1)}{n(n+1)}, j = \overline{1, n} \quad (1.2)$$

$$q_j = \frac{2^{n-j}}{2^n - 1}, j = \overline{1, n} \quad (1.3)$$

Последовательности Фишборна позволяют оценивать неопределенность при помощи энтропии Шеннона.

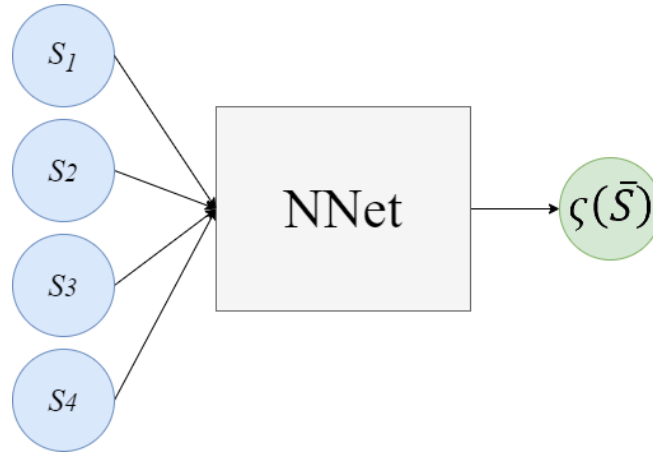
Однако для оценки внутренних и внешних факторов неопределённости, вследствие их взаимосвязанности подходит технология нейросетевого моделирования.

Применение нейронных сетей и нейродифференциальных уравнений

Нейронные сети, являясь одним из инструментов искусственного интеллекта, показали свою эффективность в решении задач классификации и регрессии при наличии большого объема информации. Такой задачей является разработка ВПА. Поскольку в настоящее время создание, модификация продукции авиастроения осуществляется посредством создания множества цифровых двойников, улучшающих лётные характеристики ЛА. Преимущество нейросетевых моделей для решения данной задачи состоит в их способности учитывать неявные связи между данными, которые не могут зафиксировать классические статистические методы. Однако недостатком является сильная зависимость от обучающей выборки. Для решения задачи оценки факторов неопределенности при разработке ВПА показана возможность применения нейросетевого моделирования [25]. Основа метода в построении функции неопределенности $\zeta(\bar{S}): R^n \rightarrow [0; 1]$, зависящий от факторов $S_i \in \bar{S}, i = 1..n$, поддающихся количественному описанию.

Формирование обучающей выборки строится на применении изученных детерминированных методов теории игр, имитационного моделирования или

энтропии Шеннона. Входными данными служат статистические значения факторов неопределенности, а выходными – соответствующие детерминированные оценки уровня неопределенности. В общем виде схема НС для моделирования неопределенности представлена на рисунке 1.15.



Источник: составлено автором по данным [17, 30, 50]

Рисунок 1.15 – Схема НС для моделирования неопределенности

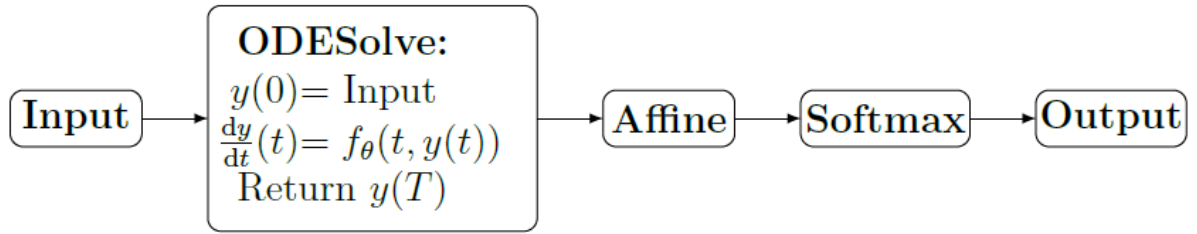
Одним из актуальных методов нейросетового моделирования является применения нейродифференциальных уравнений. Нейродифференциальное уравнение имеет вид:

$$\begin{cases} \frac{dy(t)}{dt} = f_{\theta}(t, y(t)) \\ y(0) = y_0 \end{cases} \quad (1.4)$$

и использует нейронную сеть для параметризации векторного поля. Здесь θ – вектор обучаемых параметров, $f_{\theta}: \mathbb{R} \times \mathbb{R}^{d_1 \dots d_k} \rightarrow \mathbb{R}^{d_1 \dots d_k}$ – любая стандартная нейросетевая архитектура, $y: [0, T] \rightarrow \mathbb{R}^{d_1 \dots d_k}$ – решение уравнения.

Главной идеей является использование оператора решения дифференциального уравнения в качестве части обучающего вычислительного графа [71].

По сравнению с общепринятыми моделями у нейродифференциальных уравнений существуют две дополнительные проблемы. Во-первых, уравнение должно иметь решение. Во вторых, для определения градиентов обучаемых параметров θ , необходимо выполнить обратное распространение через дифференциальное уравнение (рисунок 1.16).



Источник: составлено автором по данным [7, 28, 58]

Рисунок 1.16 – Схема НС для моделирования неопределенности

Таким образом, нейронные дифференциальные уравнения предлагают подход, сочетающий в себе лучшее из двух концепций: нейросетевого моделирования и моделирования при помощи дифференциальных уравнений. Применение нейросетевого моделирования в процессе разработки ВПА целесообразно для оценки уровня неопределенности, что позволяет проводить минимизацию неопределенности посредством решения задачи оптимизации:

$$S^* = \arg \min \zeta(\bar{S}) \quad (1.5)$$

1.4. Применение цифровых двойников в процессе разработки ВПА как фактор повышения эффективности на основе снижения неопределённости

Проведённое исследование показывает, что важнейшим факторов при производстве современных высокотехнологичных компонент АТ является успешная интеграция электроники, программного обеспечения и различных встроенных систем, что формирует отдельную инженерно-производственную задачу. Для ее решения на производстве необходимо проводить большое количество испытаний. Однако более надежно и экономически целесообразно проводить такие испытания в виртуальном пространстве на стадии проектирования компонента АТ, чем на стадии уже изготовленного изделия. То есть применение цифровых двойников в процессе разработки ВПА можно рассматривать как фактор снижения неопределённости.

Использование цифровых моделей на производстве стало внедряться с 1960 года. Тогда электронную модель компонента после завершения испытаний отправляли в архив. Современные же реалии требуют сопровождения

физического объекта своей цифровой копией на всех стадиях ЖЦ: на этапах проектирования, доработки, эксплуатации и утилизации.

В настоящее время имеется множество трактовок понятия ЦД, некоторые из них приведены в таблице 1.10.

Таблица 1.10 Определения ЦД

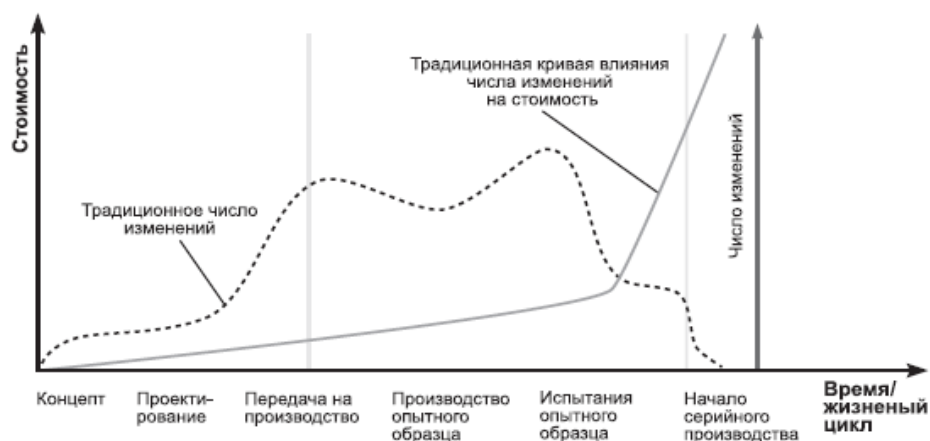
Авторы	Год	Определение понятия «Цифровой двойник»
Доан Старгел и Эдвард Глассен	2012	Полномасштабное вероятностное моделирование разработанного транспортного средства или системы с применением самых точных математических и физических моделей.
Ханг-Эн Као и Джей Ли	2013	Совокупная модель реальной машины, имитирующая состояние здоровья с встроенными знаниями из разных алгоритмов и других источников информации.
Жаннет МакКол-Кеннеди и Леллимей Чьюнг	2018	Виртуальное представление физического объекта или системы на протяжении всего ЖЦ в режиме реального времени для изучения его свойств.

Источник: составлено автором по данным [22, 48, 67].

Анализ определений показывает, суть концепции «Цифрового двойника» заключается во взаимно однозначном отображении виртуальной системы и физического объекта при помощи существующей информационной связи между ними. Система реального времени осуществляет обмен информацией с использованием различных датчиков, которые измеряют параметры физического объекта или применяют управляющие воздействия в соответствии с виртуальным объектом. На основе этого взаимодействия могут быть сгенерированы рекомендации по оптимизации режимов эксплуатации и технического обслуживания. Концепция ЦД позволяет хранить историю изменений на разных этапах проектирования, что безусловно является ее достоинством.

Использование ЦД в процессе проектирования и разработки опытных образцов АТ является экономически целесообразным. При традиционной схеме производства отмечается более высокая стоимость разработки, поскольку на этапе тестирования высока вероятность выявления дефектов и просчетов, и для их исправления необходимо повторно протестировать переделанный экземпляр опытного образца, что сопровождается затратами на перепроизводство.

Применение технологий ЦД и перенос основной части испытаний на этап проектирования позволяет избежать повторного производства опытного образца, используя виртуальную копию. Такой подход позволяет сократить время для запуска продукции, что дает преимущества в конкурентной борьбе. Создание виртуальной копии физического объекта требует высоких финансовых затрат на первоначальном этапе жизненного цикла продукции, что подтверждается опытом производителей. На рисунке 1.16 показана зависимость стоимости традиционной (не виртуальной) разработки от жизненного цикла продукции, а на рисунке 1.17 – с использованием технологии цифровых двойников. Суммарные затраты выражаются площадью фигуры, образованной под графиком, откуда и следует вывод об экономической эффективности применения ЦД.



Источник: составлено автором по данным [36, 40, 82]

Рисунок 1.16 - Стоимость традиционного производства



Источник: составлено автором по данным [40, 57, 82]

Рисунок 1.17 - Стоимость производства с применением ЦД

Понятие ЦД может быть применено к различным типам физических объектов:

1. ЦД компонента – виртуальная модель структурной единицы, в основном служащая для мониторинга состояния компонента для своевременного реагирования на его аварийное состояние. Примером ЦД данного типа может послужить модель ротора, лопатки и других базовых компонент АТ.

2. ЦД актива – виртуальная модель более сложной единицы, которая может состоять из нескольких ЦД компонент. Используется для отслеживания состояния сложной конструктивной детали и анализа хода выработки ресурса. Например, ЦД турбины, двигателя или насоса.

3. ЦД комплексного объекта, являющегося результатом сборки различных компонент. Используется для оптимизации работы всей системы, моделирования процессов в системе с учетом ресурсов предприятия, эксплуатационные ресурсы собранного изделия и др.

4. ЦД процесса – модель, включающая в себя все перечисленные модели и являющаяся двойником более сложного объекта. Характеризует набор действий или операций, описывая, например, производственный процесс, финансовые потоки и др.

Построение ЦД происходит в четыре основных этапа:

1. Геометрическое моделирование. На данном этапе моделируются объект с учетом форм, размеров, допусков конструкции. Модель строится на основе САД-моделирования (computer-aided design) – систем автоматического проектирования.

2. Математическое моделирование процессов, в ходе которого моделируются различные физические процессы, в рамках которых предполагается эксплуатация разрабатываемой продукции (моделирование механики, теплообмена и др.). Состояния материалов определяются решением систем соответствующих дифференциальных уравнений.

3. Моделирование поведения. На данном этапе учитываются факторы-источники колебаний, которые могут повлиять на эксплуатацию изделия, в том

числе рассматриваются аварийные и нестандартные ситуации. Описывается поведение многокомпонентных объектов и их реакции на изменения. Моделирование проводится методами теории конечных автоматов, цепей Маркова и онтологий.

4. Моделирование на правилах. Модели на данном этапе задействуют извлеченные из исторических данных правила и используются для оптимизации работы систем.

Крупнейшая авиакомпания Boeing активно внедряет методику проектирования компонентов авиационной техники, основанную на моделировании, а также реализует виртуализацию цепочек поставок и данных, связанных с производственной системой, а также системой обслуживания и поддержки. Благодаря технологии Цифрового Двойника удалось улучшить качество деталей и систем на 40%, что привело к повышению стандартов в производстве как коммерческих, так и военных воздушных судов.

Одним из основных направлений использования ЦД в авиастроении – их применение в процессах разработки авиадвигателей, которые работают при критически высоких температурах и могут испытывать значительные перегрузки. Данные, получаемые с периферии ЦД позволяют проводить расширенную аналитику, прогнозировать сбои и в результате снизить затраты на обслуживание. После создания опытного образца авиадвигателя, он оборудуется датчиками, которые измеряют определенные показатели, использованные при построении ЦД. Операторы сравнивают данные при испытаниях опытного образца авиадвигателя с данными виртуального моделирования, что позволяет своевременно выявить ошибки при сборке.

Важным аспектом применения ЦД является возможность учета большого количества факторов внешней среды, в которой находится авиадвигатель (грузоподъемность, климатические условия, индивидуальные особенности пилотирования), что позволяет модифицировать будущие разработки, а также сформировать рекомендации по эксплуатации.

Ведущими фирмами на российском рынке производства ЦД, которые предлагают готовые комплексные решения или услуги по их разработке, являются такие предприятия, как «Центр компетенций «НТИ СПбУ» (консорциум в состав которого входят СПбПУ, МГУ им. Ломоносова, «Станкин, «Сколтех», «Иннополис», «Ростех», «Росатом», ОАК, РЖД, «Автоваз», УАЗ и другие организации), «Цифра», «Фабрика цифровой трансформации», ООО «Нова-Инжиниринг», «ПрограмЛаб», «Национальное бюро информатизации», «Инфосистемы Джет».

Российские авиакомпании, такие как «Ростех», АО «ОДК» использует технологии ЦД на всех этапах проектирования, производства и эксплуатации двигателей SaM146, ПД-14107, ПД-35.

«Airbus» использует данную технологию для мониторинга и контроля производственных линий в режиме реального времени, что оптимизирует процессы планирования и управления производством. Специалисты компании «Airbus» отмечают, что авиастроение является консервативной отраслью, поэтому внедрение любых инноваций требует тщательного планирования. Это обусловлено строгими требованиями к цифровым технологиям, которые обязаны быть эффективными и надежными на протяжении всего ЖЦ продукции авиастроения.

Использование ЦД в процессе разработки ВПА являются способом выполнить подбор материалов для производства для достижения требуемых летных характеристик, сконструировать цифровые аналоги различной конфигурации для определения наиболее конкурентоспособных моделей, что снижает влияние факторов неопределённости. Данный подход на ранних стадиях ЖЦ ВПА (на стадии аванпроекта и создания НТЗ), в соответствии с концепцией ЦД, позволит повысить экономическую эффективность разрабатываемых инновационных проектов высокотехнологичной продукции авиастроения.

В силу разнообразия композитных материалов и сплавов, применяемых в авиастроении, и характеристик основных компонент АТ необходимо разработать экономический инструментарий отбора из данного множества наиболее

целесообразных и экономически эффективных моделей для производства. Однако существует проблема в том, что не каждый ЦД, позволяющий достичь хороших лётных характеристик, может быть создан на российских предприятиях авиастроения, вследствие выделенных в диссертации факторов неопределённости.

Выводы по 1 главе

1. Проведён анализ теоретических и методологических положений фундаментальных трудов отечественных и зарубежных авторов, занимающихся вопросами эффективности НИР и ОКР, управлением жизненным циклом высокотехнологичной продукции, вопросами производственного менеджмента, анализа неопределенности при принятии управленческих решений. Изучены нормативные правовые акты по вопросам развития отрасли авиастроения: стратегии пространственного развития, национальной безопасности, программа развития авиационной промышленности. Анализ темпов развития подотрасли БПЛА показывает особую необходимость разработок новых моделей БПЛА и других видов ВПА с учётом современных экономических, технологических задач, требований к характеристикам ВПА. Выдвигается гипотеза, что достижение конкурентных преимуществ, увеличение доли рынка российской ВПА возможно за счет совмещения улучшения технических характеристик ВПА при использовании инновационных материалов, комплектующих и экономических, технологических, производственных возможностей производства. С целью повышения эффективности управления разработкой высокотехнологичной продукции авиастроения необходимо провести анализ экономических факторов неопределённости, разработать методический инструментарий оценки внутренних и внешних факторов неопределенности при производстве ВПА.

2. В диссертации изучено состояние, тенденции, особенности развития авиастроения в условиях необходимости укрепления экономического и технологического суверенитета России, решения тактических, стратегических задач. Ключевыми задачами являются: формирование оптимальных номенклатуры, объемов и сроков поставок воздушных судов отечественного

производства, разработка конструкционных материалов, технологий для авиа- и космической техники, разработка новой конкурентоспособной авиационной техники. Определены проблемы, существенно влияющие на экономическое, технологическое развитие отрасли авиастроения РФ: недостаточное количество разработок ВПА, улучшающих лётные характеристики, обладающих финансово-экономической эффективностью, проблема организации производства новой или модернизированной ВПА в РФ, проблема сервисного обслуживания (сопровождения). Разработанные модели ВПА сложно производить на российских предприятиях, вследствие наличия следующих экономических, материально-технических факторов неопределённости: высокий износ производственных фондов, композитные материалы в основном импортного производства; долгое время обновления материально-производственной базы предприятий для создания инновационной АТ; не эффективные технологии производства; высокая стоимость производства и обновления фондов и др. Перечисленные проблемы обосновывают необходимость формирования концептуальной модели управления разработкой высокотехнологичной продукции авиастроения.

3. Одним из инструментов снижения неопределённости в процессе разработки ВПА является создание цифровых двойников. Предлагается осуществлять отбор аналога для производства из пространства ЦД на основе анализа тактической и стратегической целесообразности производства. Для решения данной задачи необходимо предложить методический подход к оценке тактической и стратегической целесообразности производства разработанной высокотехнологичной продукции авиастроения, а также определить структуру экономического механизма управления разработкой высокотехнологичной продукции авиастроения на основе анализа неопределенностей. Новые подходы к решению проблем разработки ВПА позволят более эффективно использовать материальные и финансовые ресурсы предприятий и государства, что приведёт к получению конкурентного преимущества российской ВПА на мировом рынке.

ГЛАВА 2. ФОРМИРОВАНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОГО МЕХАНИЗМА УПРАВЛЕНИЯ РАЗРАБОТКОЙ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНОЙ ПРОДУКЦИИ АВИАСТРОЕНИЯ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА НЕОПРЕДЕЛЁННОСТЕЙ

2.1. Концептуальная модель управления разработкой высокотехнологичной продукции авиастроения

Создание концептуальной модели управления разработкой высокотехнологичной продукции связано с исследованием существующих теоретических основ и научных методов при создании сложных систем, учитывающих все аспекты системного проектирования в соответствии с современным уровнем научного развития.

Концептуальная модель представляет собой систему качественных связей между критериями оптимальности и ограничениями, зависящими от характеристик окружения, параметров и переменных объектов. Она описывает, от каких факторов зависят определенные показатели или выполнение условий, не уточняя при этом количественную природу этих связей [51].

Концептуальные модели характеризуются использованием набора концепций, которые определяют структуру системы и их взаимосвязи, что придает им уникальные свойства. В концептуальных моделях объекты представлены не количественно, а качественно через их основные характеристики. Они служат основой для создания математических моделей, работающих с числовыми данными.

Концептуальная модель представляет собой абстракцию объекта, включая его основные характеристики, необходимые для решения определенной исследовательской задачи. Она описывает основные аспекты объекта, такие как его поведение, процессы и функциональные черты, отделяя понятия и абстракции от конкретных объектов, что позволяет проводить анализ модели и выявлять закономерности, характерные исключительно для модели.

Создание концептуальной модели, представляющей систему понятий, сводится к установлению определения, четко определяющего ключевые отличительные характеристики объекта. Это ограничивает представление об объекте, сфокусированное на специфических отношениях, важных для решения текущей задачи.

Задачи концептуальных моделей определяются возможностями, возникающими при тщательном изучении понятий:

1. Системообразующая задача направлена на соотнесение основных аспектов изучаемых предметных областей при использовании логических и математических инструментов моделирования.

2. Ограничивающая задача заключается в выделении определенных объектов из общего множества, ограничивая сущность объектов для решения конкретной задачи.

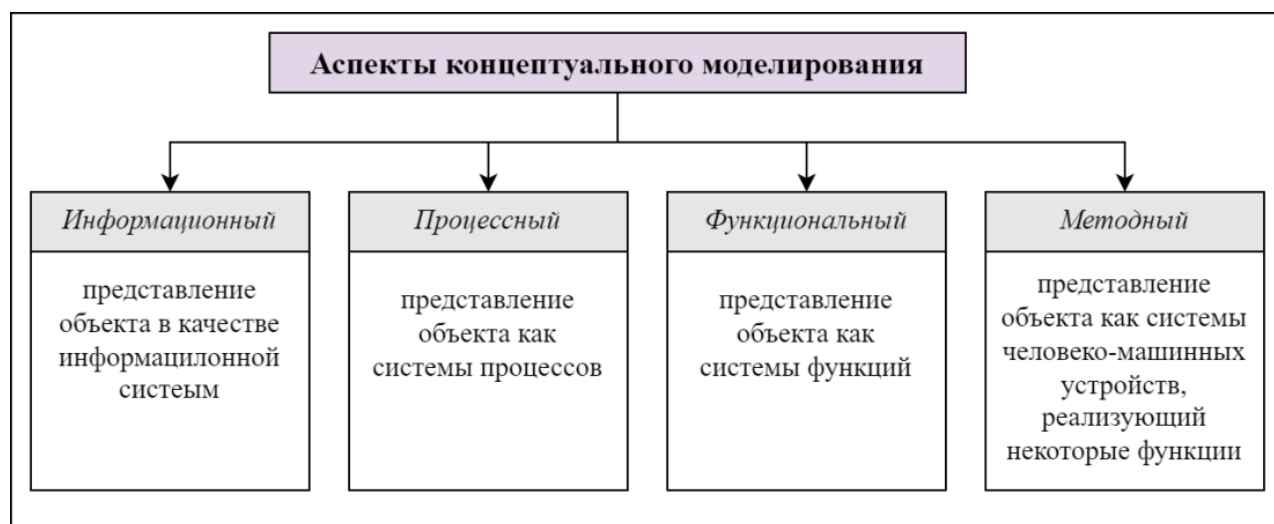
3. Гносеологическая задача - концептуальные модели помогают осмысливать объекты, так как содержат информацию и данные, выделенные из этих моделей.

4. Прогностическая задача - концептуальные модели используются для прогнозирования через выявление специфических характеристик изучаемых объектов и установления общих связей.

5. Конституирующая задача - каждая концептуальная модель формирует новую предметную область, становясь стандартом для последующих размышлений об объекте.

Эти функции концептуальных моделей дают возможность лучше понять сущность объекта и выявить взаимосвязи между явлениями и объектами через косвенные связи с другими областями.

На рисунке 2.1 представлены основные аспекты концептуального моделирования, в которых осуществляется синтез с сохранением целостности.



Источник: составлено автором по данным [60, 74]

Рисунок 2.1 - Аспекты концептуального моделирования

Выбор основополагающих теорий при разработке концептуальной модели обусловлен тем, что свойства предмета диссертационного исследования оказывают влияние на достоверность получаемого результата. В данной диссертации, создание концептуальной модели управления разработкой инновационной продукции в АТ основывается на изучении актуальных теорий и концепций, направленных на детальное и всестороннее исследование объекта и предмета исследования.

В ходе диссертации изучены теории и концепции, позволяют проанализировать связи с другими объектами, а также в контексте общей экономической ситуации. Эти теории сгруппированы в первую категорию, относящуюся к экономическим теориям.

Диссертационное исследование рассматривает объект на микро- и макроуровнях, используя экономические теории и концепции. Изучение предприятия с точки зрения теории фирмы с использованием институционального и технологического подходов представляет собой теоретическую концепцию, направленную на изучение поведения предприятия на рынке с целью максимизации различных показателей, таких как прибыль, объем производства и другие. Внедрение разрабатываемой функциональной модели на практике может

привести к сокращению издержек предприятия и достижению положительного экономического результата.

Теория монополистической конкуренции описывает рынок, где действует большое количество участников, каждый из которых действует независимо, не учитывая реакцию конкурентов. Товары, представленные на рынке, отличаются по качеству, и потребители предпочитают продукцию определенных брендов. В соответствии с этой теорией, вход на рынок не ограничен, что приводит к наличию большого количества альтернативных товаров. Эта концепция более точно отражает современные рыночные условия по сравнению с теориями чистой монополии или конкуренции [82].

Группы изученных научных теорий и концепций представлены на рисунке 2.2.

А. Смит и Д. Рекардо в теории трудовой стоимости объясняют ценообразование на макроуровне в процессе их производства. Например, если рассмотреть предприятие авиастроения, то стоимость летательного аппарата или его компонента состоит из его себестоимости, включающая текущие расходы и инвестиционные издержки. При этом необходимо учитывать множество данных авиастроения для корректного анализа.

Очевидно, что предприятия авиастроения, участвуя в рынке, должно стремиться к сохранению рыночного баланса в процессе своего развития. При этом предполагается, что баланс между спросом и предложением на производимые воздушные аппараты или их компоненты достигается только при установлении равновесной цены на предоставляемый ресурс или услугу.



Источник: составлено автором

Рисунок 2.2 – Теории и концепции для концептуальной модели

Теория ресурсов, представленная К. Коннером, Э. Пенроузом, Б. Вернерфельтом, Р. Рамелтом, М. Петерафом и К. Прахаладом, исследует функционирование экономики, уделяя внимание деятельности и взаимодействию независимых фирм. В соответствии с этой теорией, успех предприятия в стратегическом плане зависит от его устойчивых конкурентных преимуществ перед другими компаниями.

В рамках разработки концептуальной модели управления разработкой ВПА были рассмотрены теоретические аспекты экономической безопасности предприятий, оценки рисков, с целью исследования внешних и внутренних угроз и методов противодействия.

Во второй группе концепций и теорий находятся управленческие концепции и теории, которые следует изучить при создании концептуальной модели. Теория производственного менеджмента в авиастроении может быть применена для оптимизации производственных процессов и улучшения качества продукции. Например, применение методов Lean Production и Six Sigma может помочь в сокращении времени производства, уменьшении затрат на производство и повышении качества продукции. Также, использование системы управления качеством ISO 9001 может помочь в обеспечении стандартов качества продукции и улучшении процессов управления на предприятии. Кроме того, теория производственного менеджмента может быть применена для оптимизации логистических процессов, управления запасами и управления производственными ресурсами. В целом, применение теории производственного менеджмента на предприятии авиастроения может помочь в повышении эффективности производства и улучшении конкурентоспособности предприятия.

В рамках теории управления рисками проводится анализ рисков, связанных с производством компонентов авиационной техники и летательных аппаратов, и разрабатываются методики по управлению ими. Управление рисками включает в себя:

1. Определение потенциальных рисков, связанных с производством компонент АТ, таких как технические проблемы, ошибки в проектировании, проблемы с поставщиками и т.д.

2. Анализ вероятности возникновения этих рисков и их влияния на производство компонентов и безопасность полетов.

3. Разработка мер по управлению рисками, таких как улучшение процессов производства, обучение персонала, улучшение контроля качества и т.д.

4. Регулярный мониторинг и анализ рисков, чтобы обеспечить их своевременное выявление и управление.

Теория принятия решений позволила изучить процесс управления разработкой инновационной продукции авиастроения. Согласно данной теории, процесс принятия решений включает в себя следующие этапы: анализ ситуации и выявление проблемы, определение цели и сбор дополнительной информации, создание нескольких вариантов решений и разработка критериев для их оценки, установление группы показателей для отслеживания прогресса и оценки решений, выбор наилучшего варианта, а также планирование, выполнение, контроль и оценка результатов.

Теория инновационного развития предоставляет основу для создания концептуальной модели, направленной на достижение максимального экономического эффекта в ходе решения задачи, поставленной в диссертационном исследовании по внедрению на предприятие.

Теория управления проектами позволяет сформировать концептуальную модель и рассматривать ее с точки зрения совокупности нескольких проектов, требующих управления, в том числе управления сроками выполнения, бюджетом, качеством произведенных компонент авиационной техники и ресурсами.

Среди рассмотренных математических концепций находятся теория оптимизации, теория игр, теория имитационного моделирования, теория нейросетевого моделирования и обработки естественного языка, что позволило разработать концептуальную модель управления разработкой инновационной продукции авиастроения.

В рамках диссертационного исследования теория оптимизации играет важную роль, поскольку на ее основе реализованы методы обучения нейронных сетей, а ее элементы используются для оптимизации по себестоимости производства, что лежит в основе концептуальной модели управления разработкой инновационной продукции авиастроения.

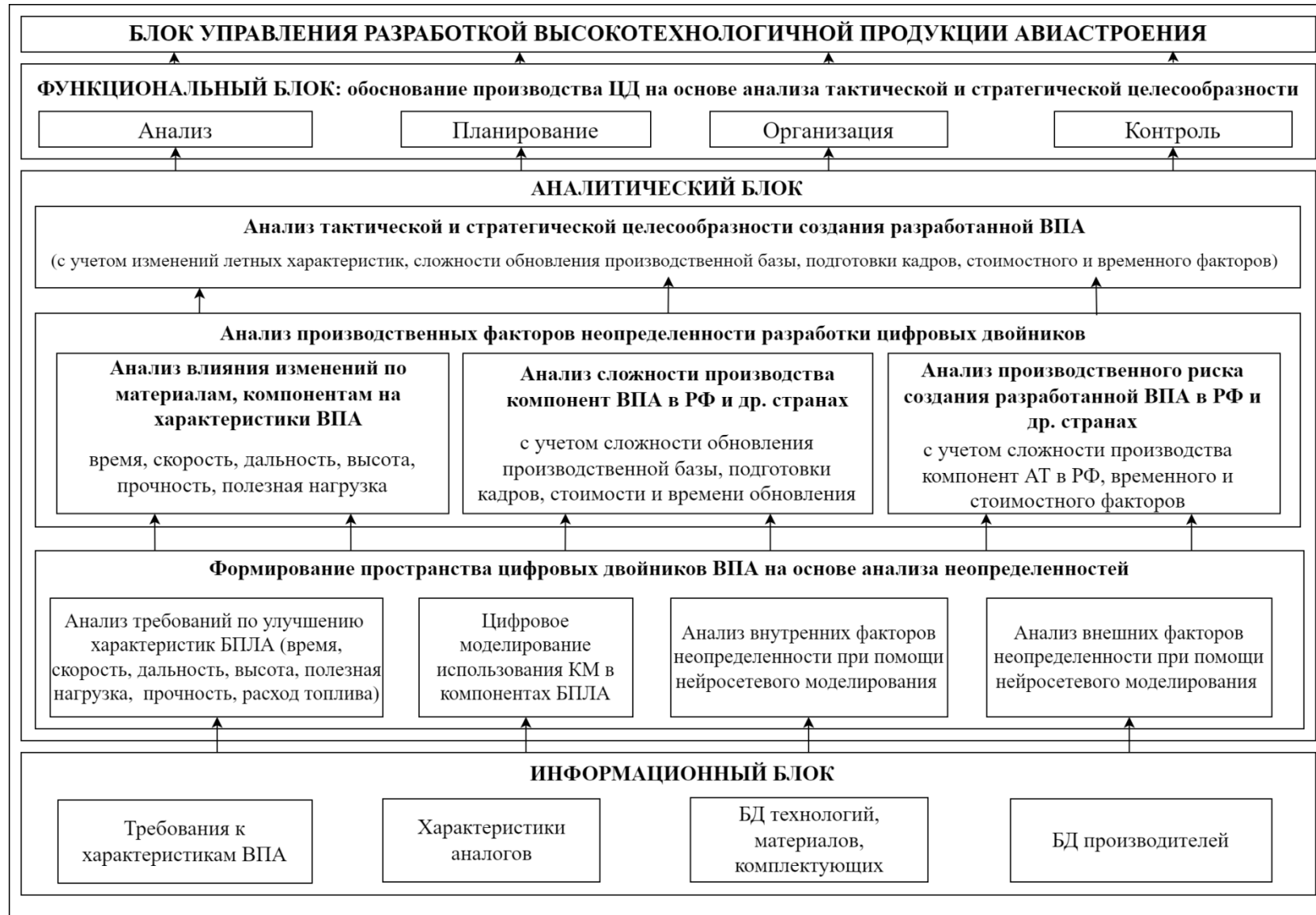
Элементы теории игр и имитационного моделирования позволяют провести симуляцию неопределенности при принятии решений, что также отражается в разработанной концептуальной модели.

Нейросетевое моделирование и теория обработки естественного языка позволяют использовать компьютерные технологии для семантического анализа текста и поиска скрытых связей между данными с целью прогнозирования контролируемых показателей.

В основе диссертационного исследования лежит системный подход, который включает использование методов анализа объектов как сложных систем. Этот подход также предполагает определение целей функционирования системы и анализ выполняемых функций для достижения данных целей, с последующей оценкой эффективности.

В рамках диссертационного исследования применяется институциональный подход. Основная идея этого подхода заключается в анализе последствий принятых решений на уровнях как государственных, так и предприятий, для всех участников экономических процессов, связанных с функционированием исследуемого предприятия, включая институты.

Перечисленные теории составляют основу концептуальной модели управления разработкой инновационной продукции авиастроения, которая состоит из четырех блоков (рисунок 2.3).



Источник: составлено автором

Рисунок 2.3 – Концептуальная модель управления разработкой высокотехнологичной продукции авиационного назначения

Разработанная концептуальная модель включает четыре блока:

1. *Информационный блок*, предназначенный для сбора необходимой информации, включающей в себя сведения о требованиях заказчика к продукции, о характеристиках аналогичной продукции конкурентов, о технологиях производства и производственных мощностях, о параметрах БПЛА и летных характеристиках, о физических свойствах используемых материалов.

2. *Аналитический блок*, который состоит из:

- Разработки, проектирования ВПА, основанного на анализе требований по улучшению основных характеристик, на цифровом моделировании использования материалов в компонентах АТ, на анализе и минимизации неопределенностей при проектировании.

- Формирования пространства цифровых двойников на основе анализа неопределенностей по критериям.

- Анализа влияния изменений по материалам и компонентам на летные характеристики АТ, на долю рынка; анализа сложности производства компонент в РФ и других странах, анализ производственного риска создания ЦД в РФ и других странах.

- Анализа тактической и стратегической целесообразности создания разработанной АТ с учетом сложности обновления производственной базы, подготовки кадров, стоимостного и временного факторов.

3. *Функциональный блок*, предназначенный для обоснования выбора ЦД из пространства ЦД на основе оценки тактической и стратегической целесообразности.

4. *Блок управления разработкой высокотехнологичной продукции авиационного назначения*, в рамках которого вырабатываются рекомендации по принятию управленческих решений о производстве спроектированных моделей АТ, с учетом анализа внешних и внутренних факторов неопределенности.

2.2. Методический инструментарий оценки факторов неопределенности при производстве высокотехнологичной продукции авиастроения

В диссертации понятие «неопределённость» применительно к разработке ВПА рассматривается многофакторное. Выделены внутренние факторы неопределённости: изменение требований к характеристикам ЛА, влияние композитных материалов, комплектующих на лётные характеристики, долю рынка; внешние факторы: возможности производства материалов, комплектующих; обновления материально-производственной базы предприятий для создания ЛА; технологии производства разработанной АТ; время производства ЛА; факторы стоимости материалов, комплектующих, производства ЛА; ценовые факторы, факторы спроса на разрабатываемый ЛА. Таким образом, факторы неопределённости влияют на эффективность разработки ВПА, то есть требуют количественной оценки. Установление в диссертации зависимости оптимизации компонент авиационной техники посредством цифровых инструментов, возможности производства и эффективности разработки высокотехнологичной продукции явилось основой создания методического инструментария оценки внутренних и внешних факторов неопределенности при производстве разработанной ВПА.

Разработка ВПА опирается на создание и интеграцию высокотехнологичных материалов, компонент в производство АТ. Принятие управленческих решений в этом контексте сопровождается определённым уровнем неопределенности, присущим этапу разработки. Авиационная индустрия постоянно развивается. Непрерывно проводятся исследования для разработки новых материалов, и изучение их свойств с целью последующего внедрения в производство.

Под сплавом понимается материал, созданный путем слияния нескольких химических элементов и обладающий свойствами, схожими с характеристиками основного элемента, использованного в сплаве. Основные характеристики сплавов, которые требуют улучшения для достижения определенных лётно-технических характеристик ВПА, включают:

1. Удельную прочность, определяющую массу авиационной конструкции для обеспечения прочности и предотвращения недопустимых остаточных деформаций.

2. Усталостную прочность или выносливость.

3. Технологичность.

4. Восстанавливаемость. [61, 69].

На рисунке 2.4 приведена классификация сплавов авиационного назначения.

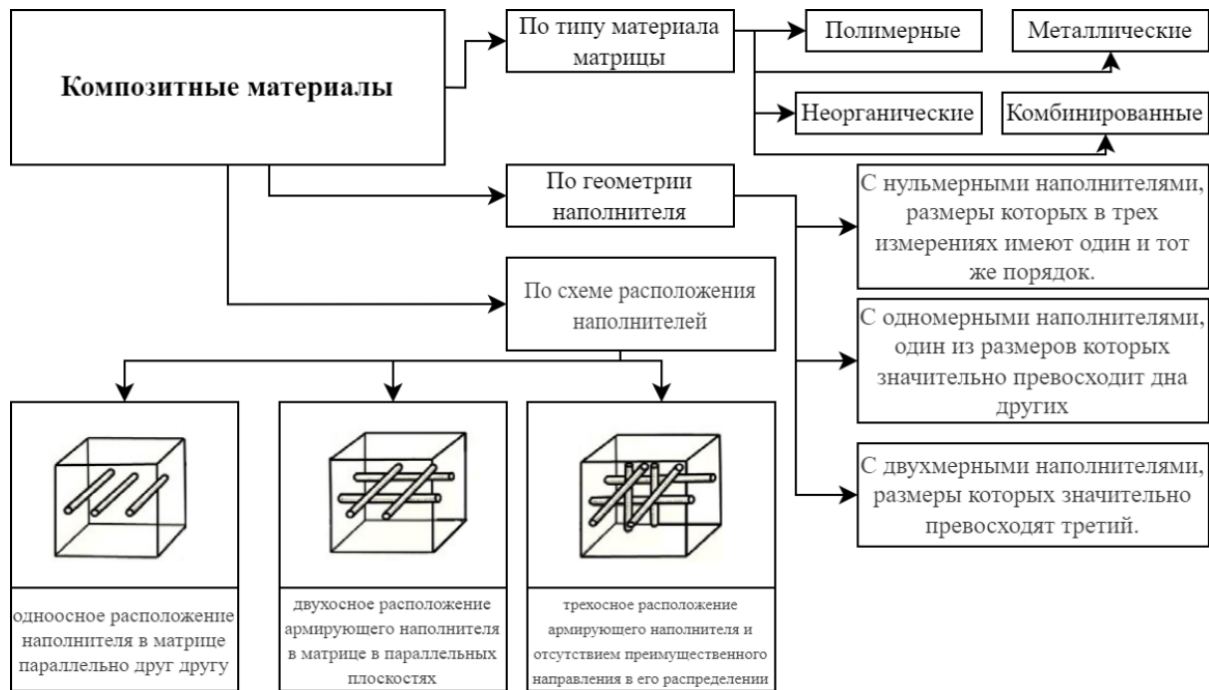
При производстве АТ используются различные композитные материалы (КМ), представляющие комбинацию слоев различных и разнообразных материалов, имеющих разные физические, технические и механические характеристики [75, 81]. Материал, который распределен равномерно во всем объеме композитного материала, обозначается как матрица, в то время как элемент или элементы, образующие дискретные области в структуре композиции, называются армирующими элементами (наполнителями).



Источник: составлено автором по данным [13, 54, 88]

Рисунок 2.4 – Основные типы сплавов, используемые в авиационном назначении

Классификация композиционных материалов базируется на нескольких основных характеристиках: типе матрицы, разновидностях армирующих элементов, особенностях макроструктуры и методах производства. Матрица определяет форму изделий, обеспечивает их целостность и равномерное распределение нагрузки внутри материала, защищает армирующие элементы от воздействия внешних факторов. Тип матрицы определяет технологические параметры производства композита и его свойства при эксплуатации, такие как плотность, удельная прочность, рабочая температура, устойчивость к агрессивным средам и усталостная прочность. Проведено изучение композитных материалов используемых в авиастроении (Рисунок 2.5).



Источник: составлено автором по данным [31,57,71]

Рисунок 2.5 - Композитные материалы, используемые в авиастроении

Цифровой двойник материала выражается в виде вектора $\bar{k} \in R^n$, где n представляет количество изучаемых характеристик материала. Использование большей размерности пространства цифровых двойников приводит к уточнению виртуальной модели [60].

В диссертационной работе предлагается структура данных для формирования пространства цифровых двойников композитных материалов

(Таблица 2.1). Набор векторов \bar{k} образует ограниченное пространство $K \subseteq R^n$. Для достижения более высокой точности создания цифрового двойника можно увеличить размерность векторов материалов [45].

Таблица 2.1 – Характеристики композитных материалов и сплавов

п/п	Название параметра	Размерность	Физический смысл параметра
1	Плотность	кг/м^3	отношение массы к объёму
2	Предел прочности при растяжении	Мпа	напряжение, выдерживаемое образцом, не разрушаясь
3	Модуль упругости при растяжении	Мпа	Несколько параметров, характеризующих способность тела упруго деформироваться
4	Предел выносливости (усталости)	б/р	характеризует выносливость - способность воспринимать нагрузки, вызывающие цикличные напряжения в материале
5	Теплопроводность	$\text{Вт/(м}\cdot\text{К)}$	способность материальных тел проводить тепловую энергию от более нагретых частей тела к менее нагретым частям тела путём хаотического движения частиц тела
6	Коэффициент линейного температурного расширения	$\text{мкм/(м}\cdot\text{К)}$	Физическая величина, характеризующая относительное изменение объёма или линейных размеров тела с увеличением температуры на 1 К при постоянном давлении
7	Удельная прочность	$\text{м}^2/\text{с}^2$	предел прочности материала, отнесённый к его плотности.
8	Сопротивление усталостному разрушению	б/р	деградация механических свойств материала в результате постепенного накопления повреждений под действием переменных (часто циклических) напряжений с образованием и развитием трещин, что обуславливает его разрушение за определённое время.

Источник: составлено автором по данным [81]

Итоговый ЦД ВПА должен обладать заданными техническими и летными характеристиками, обеспечение которых является основным требованием для задачи формирования оптимального ЦД на каждом этапе разрабатываемого методического инструментария. При этом данные параметры должны учитываться при подборе каждого компонента ЛА (таблица 2.2).

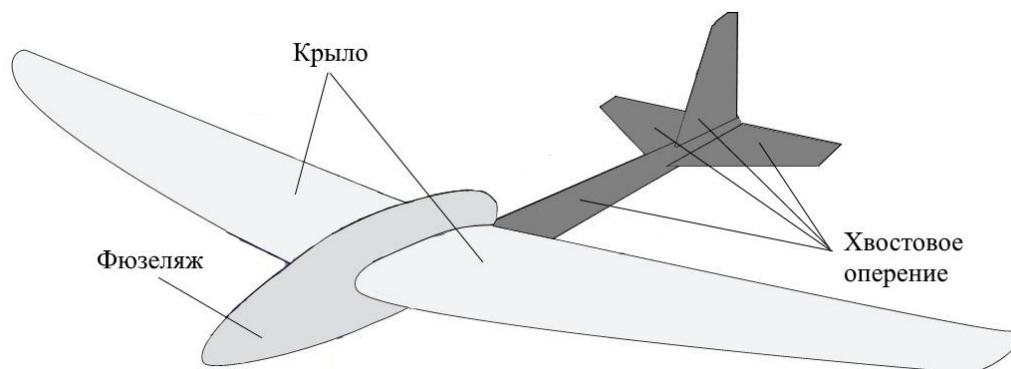
Для получения более точной цифровой модели требуемые летные характеристики могут быть детализированы. Для определения оптимальных

компонент АТ необходимо изучить конструкцию ЛА самолетного типа, основными компонентами которого являются крыло, фюзеляж и хвостовое оперение, а также двигатель и система управления. С точки зрения сбора оптимального цифрового двойника ЛА рассматриваются только элементы корпуса и двигатель (рисунок 2.6).

Таблица 2.2 – Полетные характеристики ЛА (на примере БПЛА)

п/п	Название параметра	Размерность
1	Вес <u>пустого</u>	Тонн
2	Грузоподъемность	Тонн
3	Максимальная скорость	км/ч
4	Крейсерская скорость	км/ч
5	Дальность полета	Км
6	Высота полета	Км
7	Расход топлива в крейсерском режиме на 100 км	Тонн
8	Тяга	кН
9	Нагрузка на крыло	кг/м ²

Источник: составлено автором по данным [27,54]



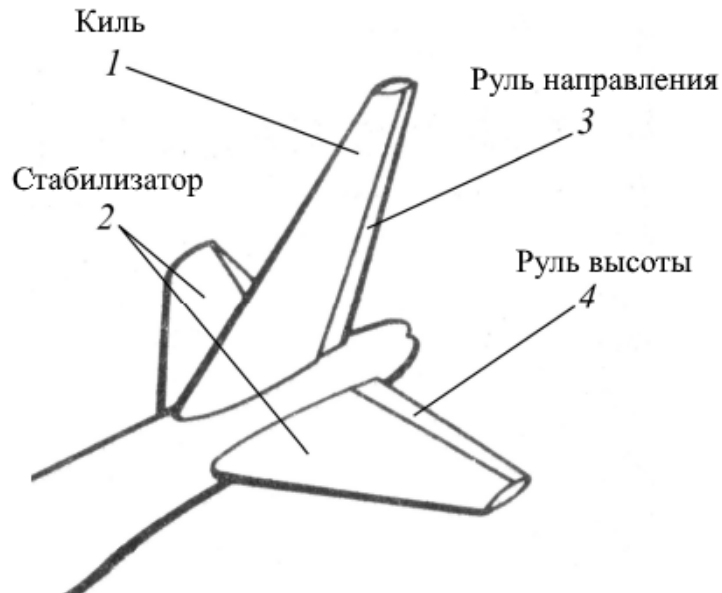
Источник: составлено автором по данным [27,65]

Рисунок 2.6 - Конструкторское членение ЛА на примере БПЛА самолетного типа

Каждый из компонент АТ, в свою очередь, также имеет свое конструкторское членение.

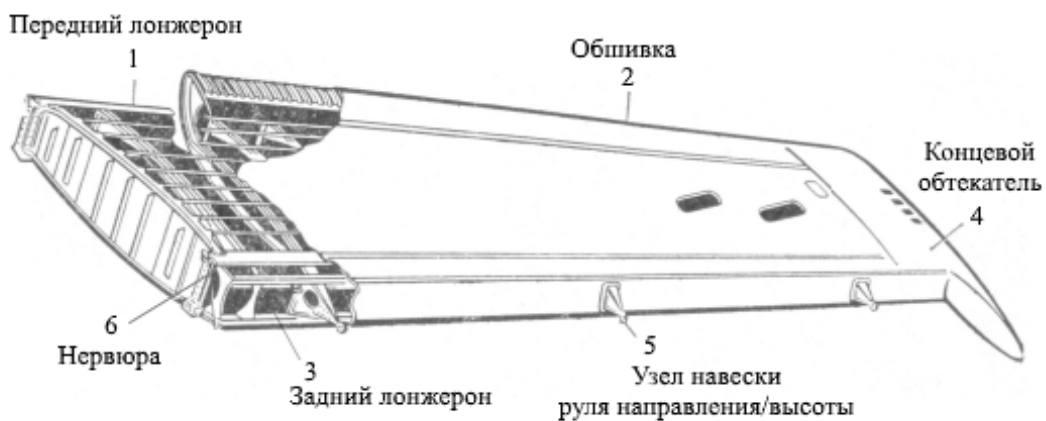
Хвостовое оперение БПЛА состоит из следующих компонент: киль, стабилизаторы, руль высоты и направления (рисунок 2.7). Киль и стабилизаторы

хвостового оперения имеют схожее конструкторское членение (рисунок 2.8). Основными силовыми элементами являются передний и задний лонжерон, нервюры, обшивка, концевой обтекатель и узел навески руля высота или направления.



Источник: составлено автором по данным [43, 32]

Рисунок 2.7 – Основные компоненты хвостового оперения



Источник: составлено автором по данным [43, 91]

Рисунок 2.8 – Элементы конструкции стабилизаторов и кия

Основные технические характеристики хвостового оперения, которые учитываются в формировании нейросетевой модели:

1. Геометрические параметры: площадь $S_{гор}$ и $S_{верт}$, площади рулевых поверхностей $S_{рв}$ и $S_{рн}$, площади аэродинамической компенсации $S_{комрв}$ и $S_{комрн}$, площади триммеров рулей высоты и направления $S_{тррв}$, $S_{тррн}$, размах и высота горизонтального оперения $l_{го}$ и $h_{го}$, удлинение и сужение для горизонтального и вертикального оперения λ и η , а также корневые и концевые хорды горизонтального оперения b_1 и b_2 .

2. Положение относительно крыла и фюзеляжа описывается коэффициентом степени устойчивости.

3. Весовые характеристики хвостового оперения: удельный вес горизонтального и вертикального оперения и скорости пикетирования $V_{пик}$.

4. Тип конструктивно-силовой схемы: лонжеронная, кессонная и моноблочная схемы.

5. Форма оперения: удлинение, сужение, угол стреловидности, аэродинамический профиль и его относительная толщина. Трапецевидное, овальное, стреловидное и треугольное оперение [54].



Источник: составлено автором по данным [12, 39, 63, 82]

Рисунок 2.9 – Элементы конструкции крыла БПЛА

Основные технические характеристики крыла (рисунок 2.9), которые учитываются в формировании нейросетевой модели:

1. Геометрические параметры - абсолютные и относительные размеры, описывающие форму крыла. К абсолютным параметрам относится: площадь крыла S , размах крыла l , корневая и концевая хорды b_0 и b_k , максимальная

толщина профиля c , угол стреловидности χ , поперечный угол ψ , угол заклинения крыла - $\alpha_{кр}$.

К относительным параметрам относятся: удлинение крыла $\lambda = l^2/S$, сужение крыла - $\eta = b_0/b_k$ и относительная толщина профиля \bar{c} .

2. Аэродинамические характеристики крыла выражаются в безразмерных коэффициентах подъемной силы C_y , лобового сопротивления C_x и продольного момента m_z . Соотношение $K = C_y/C_x$ характеризует аэродинамическое качество, максимальное значение которого характеризует степень совершенства крыла.

3. Весовые характеристики - основным параметром в этой группе является вес всей конструкции крыла \tilde{M} .

4. Жесткостные характеристики обеспечивают устойчивость крыла к воздействию аэродинамических, упругих и массовых сил, и, как следствие, повышают управляемость летательным аппаратом. Среди них важнейшими являются: максимальный прогиб свободонесущего крыла при изгибе f_{max} и угол закручивания на конце крыла φ_0 .

5. Вибрационные характеристики - критическая скорость флаттера $V_{кр.ф.}$, при которой в крыле возникают колебания с незатухающей амплитудой.

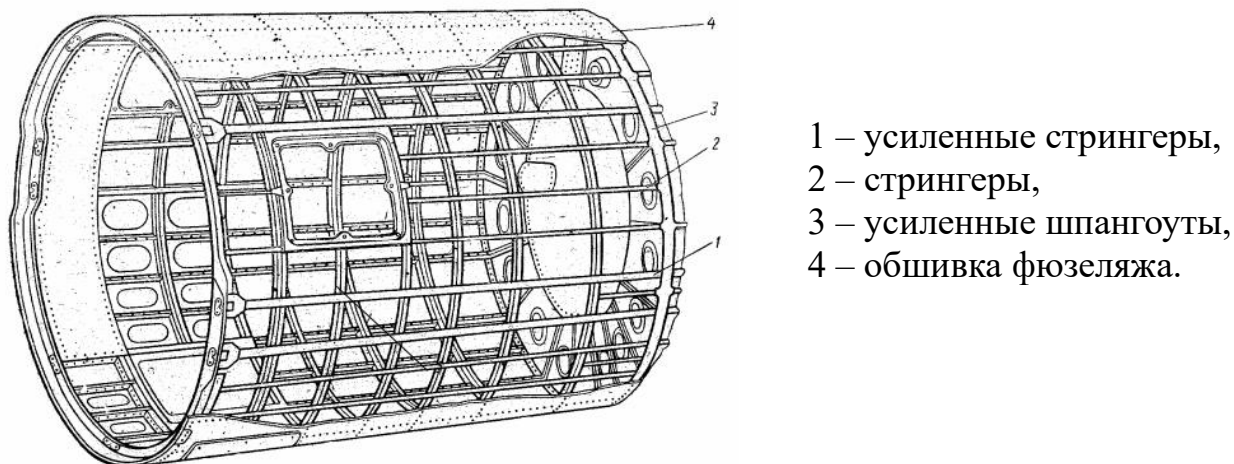
Данные характеристики крыла летательного аппарата включаются в нейросетевую модель в качестве части входного вектора.

Тонкостенные пустотелые балки с обшивкой представляют балочный фюзеляж. В зависимости от типа балочного фюзеляжа продольные элементы могут включать в себя лонжероны или стрингеры, а поперечные элементы — шпангоуты. Существуют три основных вида балочных фюзеляжей: лонжеронные, стрингерные и обшивочные.

Лонжеронный фюзеляж состоит из лонжеронов и шпангоутов, усиленных обшивкой. Стрингерный фюзеляж состоит из стрингеров и шпангоутов с дополнительной обшивкой. Обшивочный фюзеляж (монокок) состоит из толстой

обшивки, укрепленной шпангоутами, и включает продольные усиливающие элементы, его основные силовые воздействия воспринимаются обшивкой.

На рисунке 2.10 представлена простейшая конструкция фюзеляжа.



Источник: составлено автором по данным [13, 75]

Рисунок 2.10 – Пример конструкции фюзеляжа

Для разработки нейронной сети необходимо определить основные параметры фюзеляжа:

1. Массовые характеристики: масса собранной конструкции (не более 40% от массы всего летательного аппарата).

2. Геометрические характеристики. Длина фюзеляжа представляет собой самую большую измеряемую величину фюзеляжа вдоль его продольной оси. Площадь миделевого сечения фюзеляжа определяется как наибольшая площадь поперечного сечения фюзеляжа, полученная путем пересечения плоскости, перпендикулярной продольной оси фюзеляжа. Максимальный эквивалентный диаметр фюзеляжа представляет собой диаметр условного круга, сопоставимого по размерам с фюзеляжем. Удлинение фюзеляжа определяется как отношение его длины к максимальному эквивалентному диаметру (рисунок 2.11).



Источник: составлено автором по данным [54, 72]

Рисунок 2.11 – Формы поперечного сечения фюзеляжа

В диссертационном исследовании были собраны данные о БПЛА самолетного типа различных производителей: их полетные характеристики и какие материалы использовались при производстве тех компонент АТ, которые учитываются в разрабатываемой модели ЦД.

Результаты проведенного анализа легли в основу создания нейросетевой модели для оценки неопределенности и представлены в приложении В.

Количественная оценка неопределенности является сложной и многогранным вопросом, который в настоящее время не получил достаточного детального изучения в научной литературе. Понятие неопределенности широко применяется в различных научных областях. Существующие методы оценки неопределенности основаны на анализе параметров и включают учет определенной степени ошибки или неопределенности.

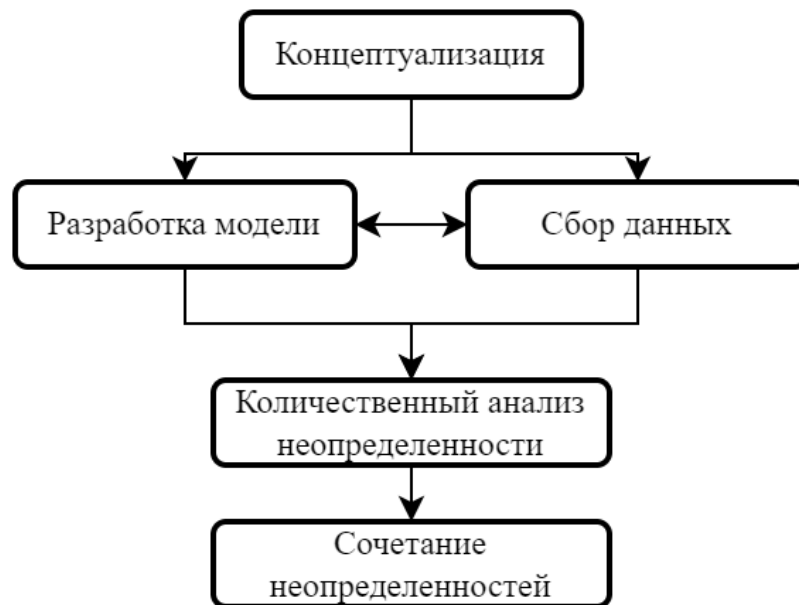
Управление неопределенностью включает в себя планирование, координацию, стимулирование и контроль стратегических и тактических действий, направленных на использование неопределенности с целью улучшения работы предприятия и повышения его эффективности [56].

Анализ неопределенности в исследовании направлен на изучение факторов и переменных, влияющих на принятие управленческих решений. Эта деятельность нацелена на технический вклад через проведение количественной оценки уровня неопределенности.

Во многих случаях анализа неопределенности первый этап начинается с концептуализации, этапа формирования представлений о структуре математической модели процесса и его методологической базе. На этой стадии определяется потребность в информации, которая может быть получена как на основе фактических данных, так и при использовании экспертных оценок. Процесс разработки соответствующей математической модели для оценки уровня неопределенности тесно связан с процессом сбора необходимых данных. Поскольку эти процессы взаимодействуют, сбор данных влияет на выбор нужных переменных, а создание модели требует определенного набора данных.

После этого происходит этап количественной оценки неопределенностей в соответствии с выбранной методологией и математической моделью. Математическая модель может быть спроектирована таким образом, чтобы учесть неопределенность сразу нескольких факторов. Следовательно, для вычисления единого общего показателя неопределенности необходим процесс объединения или комбинирования различных источников неопределенности.

Указанный процесс анализа неопределенностей представлена на рисунке 2.12.



Источник: составлено автором по данным [39,42,70]

Рисунок 2.12 - Структура общего анализа неопределенности

Вводится функция неопределенности $\zeta(\bar{S}): R^n \rightarrow [0; 1]$, отображающая ее степень в зависимости учета разных факторов $S_i \in \bar{S}, i = 1..n$, где каждый из этих факторов $i=1..n$ может быть количественно описан. Она предназначена для моделирования процессов принятия решений в условиях неопределенности и разработки соответствующего инструментария [56].

Формализованный методический инструментарий оценки факторов неопределенности при производстве разработанной продукции авиастроения представлен в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Методический инструментарий оценки внутренних и внешних факторов неопределенности при производстве разработанной ВПА

<p>1. Аналитический этап.</p>	<p>Анализ нормативной правовой базы и методик оценки неопределенности при разработке высокотехнологичной продукции.</p> <p>Формирование баз данных по композитным материалам, сплавам, компонентам АТ, производителям, стоимости, требуемым лётным характеристикам.</p>
<p>2. Этап формирования пространства цифровых двойников ВПА</p>	<p>Цифровое моделирование использования композитных материалов, комплектующих. Формирование пространства цифровых двойников ВПА при помощи комплекса нейросетевых моделей.</p>  <p>The flowchart illustrates the process of forming a digital twin space. It starts with three input boxes: 'Parameters of the wing', 'Parameters of the fuselage', and 'Parameters of the wing'. These feed into a central vertical box labeled 'Material characteristics'. This then leads to another vertical box labeled 'Flight characteristics'. From there, three parallel paths lead to 'Neural Network for wing formation', 'Neural Network for fuselage formation', and 'Neural Network for wing formation'. The outputs of these three neural networks converge into a final box labeled 'Space of digital twins'.</p>
<p>3. Этап оценки внутренних факторов неопределенности</p>	<p>Нейросетевое моделирование степени влияния изменений по материалам $M_i \in [0; 10]$ на лётные характеристики:</p>  <p>The diagram shows a neural network with three input layers: 'Material characteristics of composites', 'Characteristics of the digital analog', and 'Statistics of influence changes'. The network is labeled 'Neural Network for degree of material influence'. The output is a box labeled 'Vector of influence changes on materials M'.</p> <p>Нейросетевое моделирование степени влияния изменений по комплектующим $K_i \in [0; 10]$ на лётные характеристики:</p>  <p>The diagram shows a neural network with three input layers: 'Material characteristics of composites', 'Characteristics of the digital analog', and 'Statistics of influence changes'. The network is labeled 'Neural Network for degree of construction influence'. The output is a box labeled 'Vector of influence changes on construction K'.</p> <p>Нейросетевое моделирование возможного изменения доли рынка $V_i \in [0; 10]$:</p>

Таблица 2.3 – Методический инструментарий оценки внутренних и внешних факторов неопределенности при производстве разработанной ВПА (продолжение)

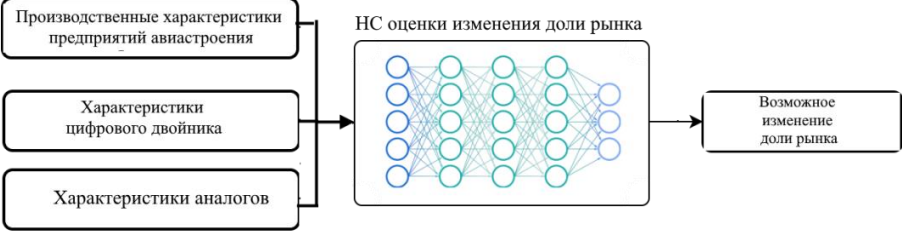
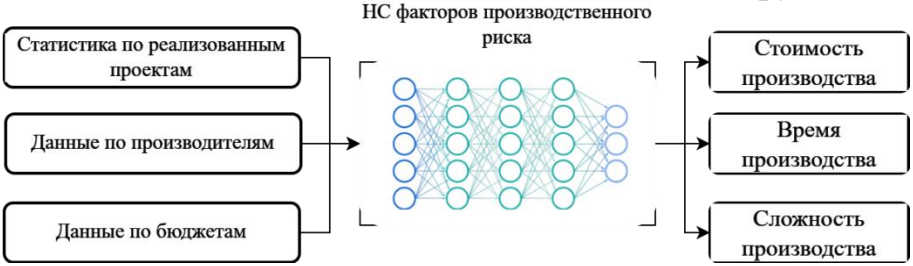
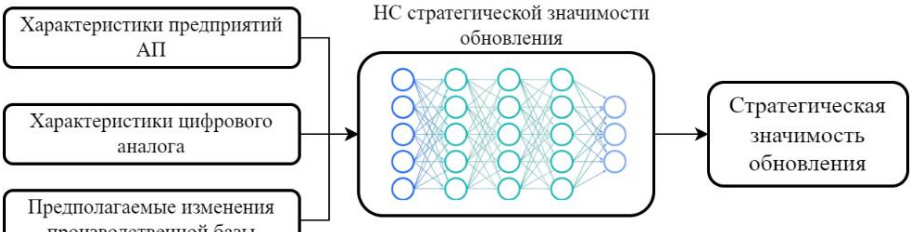
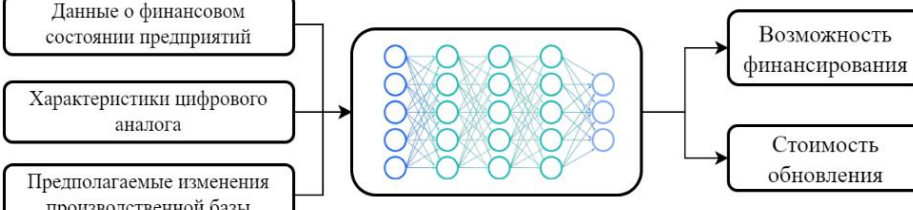
	<p>Производственные характеристики предприятий авиастроения</p> <p>Характеристики цифрового двойника</p> <p>Характеристики аналогов</p> <p>НС оценки изменения доли рынка</p>  <p>Возможное изменение доли рынка</p>
<p>4. Этап оценки факторов производственного риска</p>	<p>Нейросетевое моделирование сложности (СлП^k_{рф/неРФ}), стоимости (СтП^k_{рф}) и времени (ВП^k_{рф}) производства компонент авиационной техники в России и за рубежом.</p> <p>НС факторов производственного риска</p> <p>Статистика по реализованным проектам</p> <p>Данные по производителям</p> <p>Данные по бюджетам</p>  <p>Стоимость производства</p> <p>Время производства</p> <p>Сложность производства</p>
<p>5. Этап оценки внешних факторов неопределенности</p>	<p>Нейросетевое моделирование стратегической значимости обновления производственной базы (СтрЗн^k_{обн}):</p> <p>Характеристики предприятий АП</p> <p>Характеристики цифрового аналога</p> <p>Предполагаемые изменения производственной базы</p> <p>НС стратегической значимости обновления</p>  <p>Стратегическая значимость обновления</p>
	<p>Нейросетевое моделирование возможности финансирования обновления (ВФ^k_{обн}) и стоимости обновления (Ст^k_{обн}):</p> <p>Данные о финансовом состоянии предприятий</p> <p>Характеристики цифрового аналога</p> <p>Предполагаемые изменения производственной базы</p>  <p>Возможность финансирования</p> <p>Стоимость обновления</p>
	<p>Моделирование сложности обновления производственной базы (Сл^k_{обн}):</p> $Сл^k_{обн} = 2 \arctg(M \cdot K) \sqrt{K}$

Таблица 2.3 – Методический инструментарий оценки внутренних и внешних факторов неопределенности при производстве разработанной ВПА (продолжение)

	<p>Моделирование времени обновления производственной базы ($Vp^k_{обн}$):</p> $Vp^k_{обн} = \frac{M}{3} \sqrt{K}$
	<p>Формирование вектора производственных возможностей k-ого компонента для каждого ЦД ВПА: $ВПВ^k$ $= (СлП^k_{рф/неРФ}, СтП^k_{рф/неРФ}, ВП^k_{рф/неРФ}, СтрЗн^k_{обн}, ВФ^k_{обн}, Ст^k_{обн}, Сл^k_{обн}, Vp^k_{обн})^T$</p>

Источник: составлено автором

2.3. Методический подход к оценке тактической и стратегической целесообразности производства разработанной высокотехнологичной продукции авиастроения

Изучены нормативные правовые документы, регламентирующие подходы к оценке НИОКР, разработок высокотехнологичной продукции:

- Приказ Минэкономразвития № 741 «О методических указаниях по подготовке обоснований инвестиционного проекта...».
- «Рекомендации по оценке эффективности инвестпроектов» (№ ВК 477 от 21.06.1999).
- Приказ Минэкономразвития № 659 «О федеральном стандарте оценки интеллектуальной собственности и нематериальных активов».
- Приказ Минэкономразвития России № 328 «О федеральном стандарте оценки стоимости машин и оборудования».

Разработку ВПА можно рассматривать как инновационный проект. Оценка эффективности инвестиционных вложений в инновационный проект по созданию ВПА является экономической задачей на этапе ее разработки. Классические показатели экономической эффективности инновационного проекта представлены в таблице 2.4. Проблема использования данных критериев в том, что эффект разработанной ВПА может проявиться за сроком анализа проекта.

Таблица 2.4. – Показатели эффективности инвестиционного проекта (ИП)

Название показателя	Формула для расчета	Вспомогательные формулы
<p>Чистая приведенная стоимость для ИП в целом ($NPV_{project}$)</p>	$NPV_{project} = \sum_{n=1}^N \frac{FCFF_n}{(1+r)^n} + \frac{TV_{projectN}}{(1+r)^N}$ <p>$FCFF_n$ – ДП ИП; n – номер; N – количество периодов; $TV_{projectN}$ – прогноз денежного потока; r – ставка дисконтирования.</p>	<p>1. $FCFF = NI + \Delta WC + D\&A - NCI + \left(1 - \frac{Tax}{100}\right) \cdot NIP + ICF$ NI – прибыль; $D\&A$ – амортизация; Tax – налог на прибыль; NIP – платежи по процентам; ICF – ДП от инвест. деятельности; NCI – прибыль от реализации; ΔWC – изменение оборотного капитала; $ICF = -CI + k$ CI – инвестиции; k – средства продажи: $k = S - \frac{Tax}{100} \cdot (S - B)$ S – цена активов; B – стоимость на момент продажи основных средств</p> <p>2. Расходы на уплату процентов включены в ДП от операционной деятельности: $FCFF = OFC + ICF$ OFC – ДП от операционной деятельности: $OFC = EBIT \cdot \left(1 - \frac{Tax}{100}\right) + \Delta WC + D\&A - NCI$</p> <p>3. Формулу для расчета свободного ДП на СК по определяет инициатор проекта: $FCFE = FCFF - \left(1 - \frac{Tax}{100}\right) \cdot NIP + \Delta M$ ΔM – чистое изменение долгового финансирования); $FCFE = NP - \Delta WC + NCD + ICF + \Delta M$ NCD – амортизация средств НМА, изменение резервов и налоговых обязательств, доходы/убытки от переоценки активов и др.</p> <p>4. Прогнозная стоимость: $TV_{projectN} = \frac{FCFF_N(1+g)^n}{(r-g)^n}$ $TV_{equityN} = \frac{FCFE_N(1+g)^n}{(Re-g)^n}$</p>

Таблица 2.4. – Показатели эффективности инвестиционного проекта (ИП)
(продолжение)

Название показателя	Формула для расчета	Вспомогательные формулы
		Доходность собственного капитала: $Re = r_f + \beta_{lev}(R_m - r_f)$ r_f – безрисковая ставка; R_m – прогноз активности рынка; β_{lev} – коэффициент учета финансового рычага.
Чистая приведенная стоимость на собственный капитал (СК)	$NPV_{equity} = \sum_{n=1}^N \frac{FCFE_n}{(1 + Re)^n} + \frac{TV_{equityN}}{(1 + Re)^N}$ $FCFE_n$ – ДП на СК в периоде n ; N – количество лет; Re – требуемая доходность вложений в СК; n – номер периода; $TV_{equityN}$ – прогнозный ДП на СК;	
Внутренняя норма доходности ИП	$\sum_{n=1}^N \frac{FCFF_n}{(1 + IRR_{project})^n} + \frac{TV_{projectN}}{(1 + IRR_{project})^N} = 0$	
Внутренняя норма доходности собственника	$\sum_{n=1}^N \frac{FCFE_n}{(1 + IRR_{equity})^n} + \frac{TV_{equityN}}{(1 + IRR_{equity})^N} = 0$	
Период окупаемости	$PBP = n - \frac{\sum_{t=0}^n FCFF_t}{FCFF_{n+1}}$	
Дисконтированный период окупаемости	$DPBP = n - \frac{\sum_{t=0}^n \frac{FCFF_t}{(1+r)^t}}{\frac{FCFF_{n+1}}{(1+r)^{n+1}}}$	
Коэффициент удельной эффективности	$PI_{project} = \frac{NPV_{project}}{I_{project}}$ $I_{project}$ – сумма первоначальных вложений в инвестиционный проект	

Источник: составлено автором по данным [12,25,18]

Данные показатели позволяют сделать вывод о применимости проекта и его экономической эффективности. Для более точной оценки инновационного проекта оцениваются социально-экономические показатели эффективности:

1. Экономический чистый дисконтированный доход ENPV - разность будущих затрат и прибыли. Используется социальная ставка дисконтирования.

$$ENPV = \sum_{t=0}^n a_t S_t = \frac{S_0}{(1+i)^0} + \frac{S_1}{(1+i)^1} + \dots + \frac{S_n}{(1+i)^n} \quad (2.1)$$

S_t – экономические потоки в момент t ;

i – социальная ставка дисконтирования (ССД).

2. Экономическая внутренняя норма доходности EIRR – находится решением уравнения

$$0 = \sum_{t=0}^n \frac{S_t}{(1 + \text{ENPV})^t} \quad (2.2)$$

3. Дисконтируемый экономический период окупаемости:

$$\text{EDPBP} = n + \frac{-\sum_{t=0}^n \frac{S_t}{(1+i)^t}}{\frac{S_{n+1}}{(1+i)^{n+1}}} \quad (2.3)$$

n – количество периодов, в которых накопленные дисконтированные потоки инвестиционного проекта отрицательны;

S_t – сумма экономических потоков в период t ;

S_{n+1} – сумма экономических потоков в году $n+1$;

i – социальная ставка дисконтирования.

4. Удельная эффективность инновационного проекта

$$\text{EPI} = \frac{\text{ENPV}_{\text{project}}}{I_{\text{PROJECT}}} \quad (2.4)$$

Показатели бюджетной эффективности предназначены для определения соотношения между вложенными средствами в инвестиционный проект и денежными потоками, которые они должны принести в будущем.

Чистая приведенная стоимость (BNPV):

$$\text{BNPV} = \sum_{n=0}^N \frac{\text{BCF}_n}{(1+r)^n} + \frac{\text{TV}_{\text{budg}_N}}{(1+r)^N} \quad (2.5)$$

BCF_n – денежный поток в период t ;

$\text{TV}_{\text{budg}_N}$ – стоимость денежных потоков, приведенная к последнему году;

N – количество лет в периоде;

r – ставка дисконтирования.

В ситуации конечного срока жизни проекта поток, приведенный к последнему году $\text{TV}_{\text{budg}_N}$, рассчитывается по формуле:

$$\text{TV}_{\text{budg}_N} = \frac{\text{BCF}_N (1 + g_b)^n}{(r - g_b)^n} \quad (2.6)$$

BCF_N – потоки за последний период;

g_b – ожидаемый темп роста денежных потоков бюджета;

n – прогноз;

r – ставка дисконтирования.

Проведён анализ подходов к оценке интеллектуальной собственности и нематериальных активов, результаты исследования представлены в таблице 2.5.

Таблица 2.5. – Методы оценки нематериальных активов

Название подхода	Суть	Этапы
Доходный подход	<p>Основан на принципе ожидания выгод. Необходимо учитывать:</p> <ul style="list-style-type: none"> • способность объекта приносить доход; • уровень неопределенности будущих доходов. • оставшийся период полезного использования объекта и потенциал изменения потоков; • период, на который доступна информация для составления прогноза; • период достижения стабильного темпа роста денежных потоков объекта оценки; • заранее определенную сумму денежных средств, ожидаемую к получению после завершения прогнозного периода; • циклический характер деятельности или использования объекта оценки. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Определение типа денежного потока; 2. Его определение; 3. Расчет соответствующей ставки дисконтирования; 4. Приведение прогнозных денежных потоков, к текущей стоимости по ставке дисконтирования или капитализация денежного потока.
Затратный подход	<p>В основе лежит принцип замещения. Необходимо учитывать возможность участников рынка создать объект, обладающий такой же полезностью, что и объект оценки.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. расчет всех затрат участников рынка на приобретение или создание точной копии объекта оценки (затраты на воспроизводство) или актива с похожей полезностью (затраты на замещение);
Сравнительный подход	<p>Основан на принципах равновесия цен и их замещения; ценовая информации. Учитываются:</p> <ul style="list-style-type: none"> • активность рынка; • актуальность, достаточность и достоверность информации; 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Определение сравнительных характеристик; 2. Выбор сопоставимых аналогов и расчет их единиц сравнения; 3. Сравнение количественных и качественных характеристик аналогов и объектов оценки; 4. Учет корректировок для

Таблица 2.5. – Методы оценки нематериальных активов
(продолжение)

Название подхода	Суть	Этапы
	<ul style="list-style-type: none"> • степень сопоставимости аналогов с объектом оценки 	устранения различий между объектом и аналогами; 5. Согласование скорректированных значений единиц сравнения или полученных на их основе показателей стоимости.

Источник: составлено автором

При проведении оценки могут использоваться следующие методы:

1. Модель Гордона, основанная на предположении о постоянном темпе роста стоимости объекта оценки в течение неограниченного времени;
2. Методы сравнения объектов, различающихся сроком использования;
3. Метод прямой капитализации, для оценки объектов с длительным сроком использования;
4. Метод затрат замещения.
5. Метод определения стоимости при ликвидации, учитывающий ситуации, когда затраты на утилизацию превышают доход;
6. Метод суммирования стоимости компонентов объекта оценки.

Часто при оценке используются несколько подходов и методов. Если результаты различных подходов существенно расходятся, производится анализ причин этих расхождений, после чего проводится процедура согласования результатов. В результате анализа оценщик выбирает наиболее обоснованный результат для определения окончательной стоимости объекта оценки.

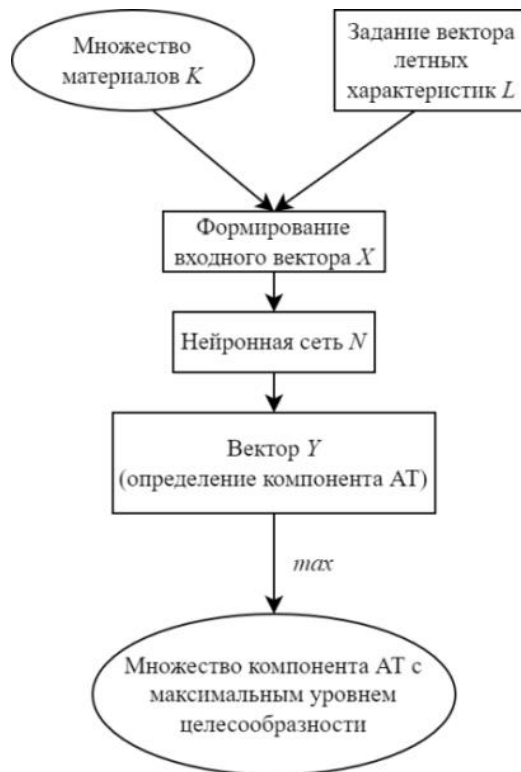
Однако изученные методы оценки разработок высокотехнологичной продукции в условиях быстро меняющихся технологий требуют совершенствования, поскольку не учитывают факторы неопределённости, а именно: влияния изменений по материалам, конструкции ЛА на степень изменения лётных характеристик, не учитывают сложность, время производства в РФ, не подготовленность кадров, технологическую, материально-техническую неподготовленность. Учёт данных факторов неопределённости при оценке

эффективности разработки ВПА в разрезе цифровых двойников позволит скорректировать оценку, проведённую существующими методами.

Использование цифровых двойников на производстве различных компонент АТ способствует эффективному использованию финансовых ресурсов и, как следствие, повышение уровня экономической безопасности предприятия в целом. Собранные данные могут быть дополнены сведениями о самолетах и их характеристиках других производителей, что позволит создать более точную модель компонент АТ.

Таким образом, процесс по выбору оптимального по целесообразности компонента АТ с применением заданных характеристик композитного материала или сплава для обеспечения заданных летных характеристик может представлена в виде следующей блок-схемы (рисунок 2.13).

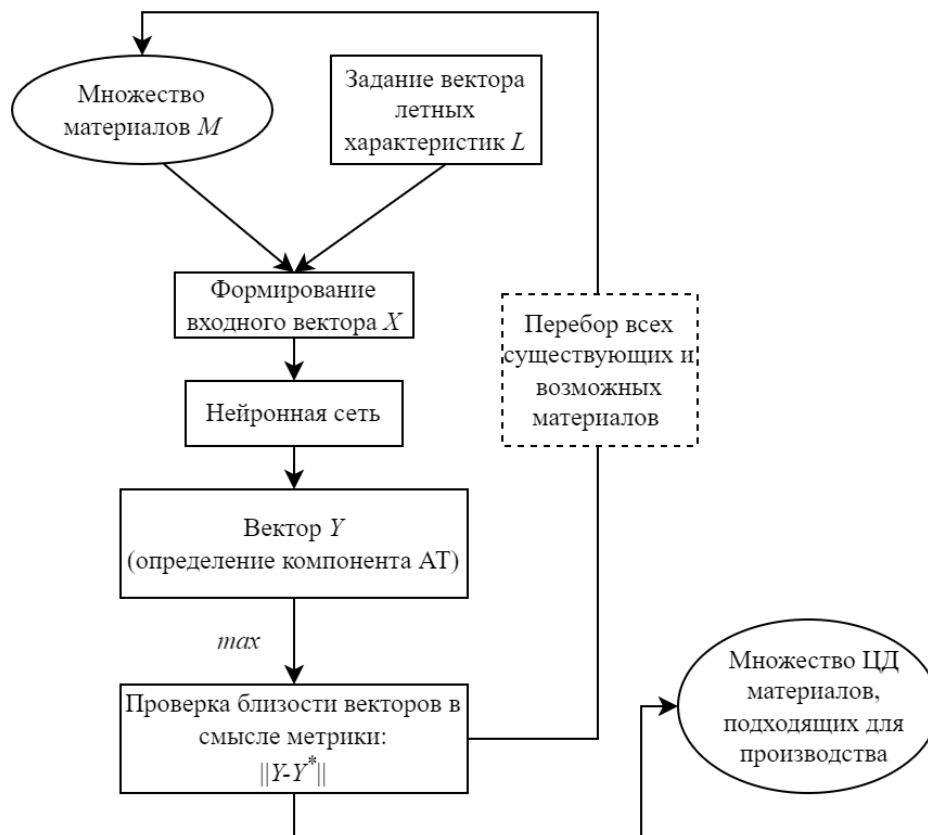
Данную методику можно использовать и для решения обратной задачи, когда требуется найти характеристики материала, из которого целесообразно производить заданный компонент АТ для обеспечения заданных летных характеристик.



Источник: составлено автором

Рисунок 2.13 – Алгоритм выбора оптимального компонента АТ

Для решения этой задачи необходимо подобрать часть вектора \bar{X} , отвечающая множеству материалов K при фиксированном векторе заданных летных характеристик L , которые требуется обеспечить при создании ЛА, и заданном векторе Y^* , характеризующем заданный компонент АТ. При этом, вектор Y^* принимается за вектор e_i , все элементы которого равны 0, кроме i -го элемента, который принимается 1. Физический смысл данного вектора – целесообразность производства только i -го компонента АТ. Алгоритм для решения такой задачи представлен на рисунке 2.14.



Источник: составлено автором

Рисунок 2.14 – Алгоритм выбора оптимального компонента АТ

Решение задач в области создания новой ВПА подразумевает сокращение времени разработок и подготовки производства, прогнозирование, повышение скорости реагирования на требования к характеристикам ВПА, действия конкурентов. То есть разработанная ВПА должна иметь конкурентные преимущества в текущем и перспективном периоде для решения тактических и стратегических задач. В исследовании выдвигается гипотеза о необходимости

формирования критериальных показателей «тактическая целесообразность производства» и «стратегическая целесообразность производства», учитывающих внутренние и внешние факторы неопределённости, позволяющие принимать управленческие решения о принятии ВПА на производство, о модернизации производства, обосновывать эффективность разработки высокотехнологичной продукции с целью обеспечения конкурентных преимуществ АТ для решения тактических и стратегических задач. В соответствии с проведённым выше обоснованием, для решения задач исследования введены понятия «тактическая целесообразность», «стратегическая целесообразность». **Тактическая целесообразность создания разработанной ВПА (ТЦ)** - показатель целесообразности производства ВПА в разработанной конфигурации с учетом производственного риска, финансового, временного фактора, обеспечивающей рост доли рынка, снижение периода окупаемости ВПА. **Стратегическая целесообразность создания разработанной АТ (СЦ)** - показатель целесообразности производства ВПА, обеспечивающей рост доли рынка, производственный, технологический суверенитет авиастроения в долгосрочной перспективе за счёт качественного изменения лётных характеристик в разработанной конфигурации, учитывающий сложность обновления производства, ценовой фактор, развитие в стране материально-технической, полигонной базы для производства АТ.

Для создания различных конфигураций, моделирования компонент авиационной техники с использованием композитных материалов в диссертации использовался цифровой инструментарий и механизм нейросетевого моделирования. Проводилось моделирование характеристик крыла (площадь, размах), фюзеляжа (длина, масса конструкции), хвостовое оперение (площади рулевых поверхностей, корневые хорды). В результате был сформирован методический подход к оценке тактической и стратегической целесообразности производства ВПА, включая разработку шкалы оценки.

Тактическая целесообразность зависит от всех заданных параметров следующим образом:

1. Тактическая целесообразность увеличивается при уменьшении производственного риска.

2. При высокой возможности финансирования увеличивается и тактическая целесообразность, но незначительно.

3. При высоком уровне итоговой стратегической экономической безопасности тактическая целесообразность выше.

4. При высоком уровне стратегической значимости обновлении и низком времени обновления, тактическая целесообразность достигает максимума, поскольку за короткое время возможно совершить стратегически важный рывок для получения значимого конкурентного и стратегического преимущества.

5. При высокой сложности обновления и высокой стоимости обновления показатель тактической целесообразности уменьшается.

Проведённые исследования функциональных зависимостей позволили определить модель для расчета показателя тактической целесообразности с учетом факторов неопределённости (параграф 2.2.).

$$ТЦ^k_{РФ/неРФ} = \frac{ВФ^k_{обн} \cdot (СтрЗн^k_{обн})^2}{ПР^k_{РФ/неРФ} \cdot (Ст^k_{обн} + Сл^k_{обн}) \cdot (Вр^k_{обн})^2 + ВФ^k_{обн} \cdot (СтрЗн^k_{обн})^2} \quad (2.7)$$

Аналогично вычисляется тактическая целесообразность для производства за рубежом.

Стратегическая целесообразность зависит от всех определённых факторов неопределённости (параграф 2.2.) следующим образом:

1. Стратегическая целесообразность увеличивается при уменьшении производственного риска.

2. При высокой возможности финансирования увеличивается и стратегическая целесообразность, но незначительно.

3. При высоком уровне итоговой стратегической экономической безопасности стратегическая целесообразность выше.

4. При высоком уровне стратегической значимости обновлении СЦ выше.

5. При длительном времени обновления стратегическая целесообразность выходит на константу.

6. При высокой сложности обновления и высокой стоимости обновления показатель стратегической целесообразности увеличивается.

Проведённые исследования функциональных зависимостей позволили определить модель для расчета показателя стратегической целесообразности с учетом факторов неопределённости (параграф 2.2.).

$$CЦ_{РФ/неРФ}^k = \frac{ВФ_{обн}^k \cdot СтрЗн_{обн}^k + Ст_{обн}^k \cdot Сл_{обн}^k}{ВФ_{обн}^k \cdot СтрЗн_{обн}^k + Ст_{обн}^k \cdot Сл_{обн}^k + Вр_{обн}^k \cdot ПР_{РФ/неРФ}^k} \quad (2.8)$$

Данные показатели стратегической и тактической целесообразности позволяют сравнить компоненты ЦД разработанного ЛА. Для оценки тактической и стратегической целесообразности ЦД всего ЛА, применяются формулы:

$$TЦ_{РФ/неРФ} = \sum_{k=1}^N \theta_k \cdot TЦ_{РФ/неРФ}^k, \quad \sum \theta_k = 1 \quad (2.9)$$

$$CЦ_{РФ/неРФ} = \sum_{k=1}^N \theta_k \cdot CЦ_{РФ/неРФ}^k, \quad \sum \theta_k = 1 \quad (2.10)$$

где θ_k – значимость обновления каждого компонента.

Критерии стратегической и тактической целесообразности позволяют провести обоснование разработки ЛА в соответствии с разработанной шкалой:

Негативная оценка	Средняя оценка	Позитивная оценка
(0; 0.3)	[0.3; 0.6)	[0.6; 1]

Формализованный методический подход к оценке тактической и стратегической целесообразности производства разработанной ВПА приведен в таблице 2.6.

Таблица 2.6. – Методический подход к оценке тактической и стратегической целесообразности производства разработанной ВПА

1. Формирование пространства цифровых аналогов. Анализ внутренних и внешних факторов производства ЦД	См. этап формирования пространства цифровых двойников ВПА Методического инструментария
--	--

Таблица 2.6. – Методический подход к оценке тактической и стратегической целесообразности производства разработанной ВПА (продолжение)

<p>2. Оценка производственного риска ЦД</p>	<p>Оценка производственного риска k-ого компонента ($ПР^k_{РФ}$, $ПР^k_{неРФ}$), с учетом сложности ($СлП^k_{РФ/неРФ}$), времени ($ВП^k_{РФ/неРФ}$), стоимости производства на предприятиях в России и за рубежом ($СтП^k_{РФ/неРФ}$), с учетом сложности доставки ($СлД^k_{неРФ}$):</p> $ПР^k_{РФ} = \frac{\sqrt{СлП^k_{РФ}} \cdot СтП^k_{РФ}}{ВП^k_{РФ}}$ $ПР^k_{неРФ} = \frac{\sqrt{СлП^k_{неРФ}} \cdot СтП^k_{неРФ} \cdot \exp(0.1 \cdot СлД^k_{неРФ} - 1)}{ВП^k_{неРФ}}$ <p>Параметры определяются на основе нейросетевого моделирования (см. этап оценки внешнего фактора методического инструментария).</p>
<p>3. Этап оценки тактической целесообразности производства ЦД</p>	<p>Оценка тактической целесообразности каждого компонента ЦД:</p> $ТЦ^k_{РФ/неРФ} = \frac{ВФ^k_{обн} \cdot (СтрЗн^k_{обн})^2}{ПР^k_{РФ/неРФ} \cdot (Ст^k_{обн} + Сл^k_{обн}) \cdot (Вр^k_{обн})^2 + ВФ^k_{обн} \cdot (СтрЗн^k_{обн})^2}$ <p>Оценка тактической целесообразности ЦД в целом:</p> $ТЦ_{РФ/неРФ} = \sum_{k=1}^N \theta_k \cdot ТЦ^k_{РФ/неРФ}, \quad \sum \theta_k = 1$ <p>θ_k – значимость изменений каждого компонента ВПА</p>
<p>4. Этап оценки стратегической целесообразности производства ЦД</p>	<p>Оценка стратегической целесообразности каждого компонента ЦД:</p> $СЦ^k_{РФ/неРФ} = \frac{ВФ^k_{обн} \cdot СтрЗн^k_{обн} + Ст^k_{обн} \cdot Сл^k_{обн}}{ВФ^k_{обн} \cdot СтрЗн^k_{обн} + Ст^k_{обн} \cdot Сл^k_{обн} + Вр^k_{обн} \cdot ПР^k_{РФ/неРФ}}$ <p>Оценка стратегической целесообразности ЦД в целом:</p> $СЦ_{РФ/неРФ} = \sum_{k=1}^N \theta_k \cdot СЦ^k_{РФ/неРФ}, \quad \sum \theta_k = 1$ <p>θ_k – значимость изменений каждого компонента ЦД</p>

Таблица 2.6. – Методический подход к оценке тактической и стратегической целесообразности производства разработанной ВПА (продолжение)

Шкала оценки разработанных показателей:			
Показатель	Негативная оценка	Средняя оценка	Положительная оценка
Производственный риск $PR_{рф/нерф}$	[20; 30]	[10; 20)	(0;10)
Тактическая целесообразность $TC_{рф/нерф}$	(0; 0.3)	[0.3; 0.6)	[0.6; 1]
Стратегическая целесообразность $SC_{рф/г}$	(0; 0.3)	[0.3; 0.6)	[0.6; 1]

Источник: составлено автором

Разработанные показатели тактической и стратегической целесообразности рекомендуется применять наряду с критериями, чистой приведённой стоимости, индекса доходности, периода окупаемости. Для разработанной ВПА бывают ситуации, когда все известные критерии негативные, но разработанная продукция имеет высокую стратегическую целесообразность, то есть, вследствие положительного изменения лётных характеристик из-за использования новых материалов, конструкций, технологий будет конкурентоспособна, даст конкурентные преимущества в современных экономических, политических условиях на определённом временном интервале.

2.4. Структура экономического механизма управления разработкой высокотехнологичной продукции авиастроения на основе анализа неопределённостей

При изучении различных процессов и алгоритмов в научных исследованиях часто употребляются термины "экономический механизм", "организационно-экономический механизм", "организационный механизм", "механизм управления" и просто "механизм". Ученый М.Ю. Осипов определяет организационный механизм как систему структур, способствующих созданию, развитию и совершенствованию систем производства [23]. В публикациях Жуковой И.В. описывается организационно-экономический механизм как система методов экономического, административно-правового и организационного воздействия на объект управления [54]. В трудах Л. Гурвица понятие «механизм» определяется

как взаимодействие между центром и субъектами, проходящее через три этапа: индивидуальное сообщение от субъекта к центру; центр вычисляет ожидаемый результат; центр объявляет результат и воплощает его в реальность [32]. В данном диссертационном исследовании авторы придерживаются понятия механизма, как последовательности мероприятий и состояний, определяющих какой-либо процесс [41]. Таблица 2.7. содержит требования к организационным механизмам.

Таблица 2.7. – Требования к механизмам

Требование	Расшифровка
Дискретность	Механизм состоит из конечного числа последовательных этапов.
Определенность	Каждый этап не допускает двусмысленности и разночтений.
Результативность	Цель – получение конкретного результата из заданных исходных данных.
Конечность	Решение задачи достигается за конечное число этапов.

Источник: составлено автором по данным [62]

С учетом общих требований, предъявляемых к созданию механизмов, можно выделить основные аспекты создания механизма управления разработкой ВПА на основе анализа неопределённостей:

Функционирование механизма должно иметь в своей основе сбор и анализ данных о состоянии внешней среды, факторах неопределенности и данных об опыте использования тех или иных материалов в авиастроении. Это позволяет комплексно подойти к рассмотрению проблемы, учитывая не только требуемые летные характеристики разрабатываемой АТ, но и определяя оптимальные показатели при производстве.

Для внедрения и использования на предприятиях АП механизмы должны иметь возможность быть автоматизированными. Данное требование к механизму управления разработкой высокотехнологичной продукции авиастроения на основе анализа неопределённостей обеспечивает его практическую значимость. Выполнение данного требования основано на разработке необходимого ПО с заложенными в его основу методическим инструментарием формирования оптимального цифрового двойника ВПА с учётом тактической и стратегической целесообразности и методическим инструментарием к минимизации

неопределенностей. Механизм должен позволять анализировать данные о свойствах композитных материалов и сплавов, а также информацию о состоянии внешней среды с целью минимизации уровня неопределенности.

Задача разрабатываемого механизма определить цифровой двойник из множества для производства по критериям стратегической и тактической целесообразности при ограничениях на материалы, комплектующие, факторы неопределенности при производстве.

Разработанные в соответствии с задачами исследования методический инструментарий и методический подход составляют базис механизма управления разработкой высокотехнологичной продукции, что представляет собой инновационный аспект данного исследования. Предлагаемый экономический механизм является модулем в системе управления, ориентированным на планирование и организацию производства разрабатываемого ЛА. Этот инструмент интегрирован в рамки системы прогнозирования, стратегического планирования и управления, особенно важен для обоснования решений по производству ВПА из определенного спектра материалов и переходу на использование новейших инновационных композитных материалов. Кроме того, этот механизм может быть приспособлен для определения характеристик инновационных материалов, учитывая требуемые летные характеристики, и для формулирования технических заданий разработчикам композитных материалов.

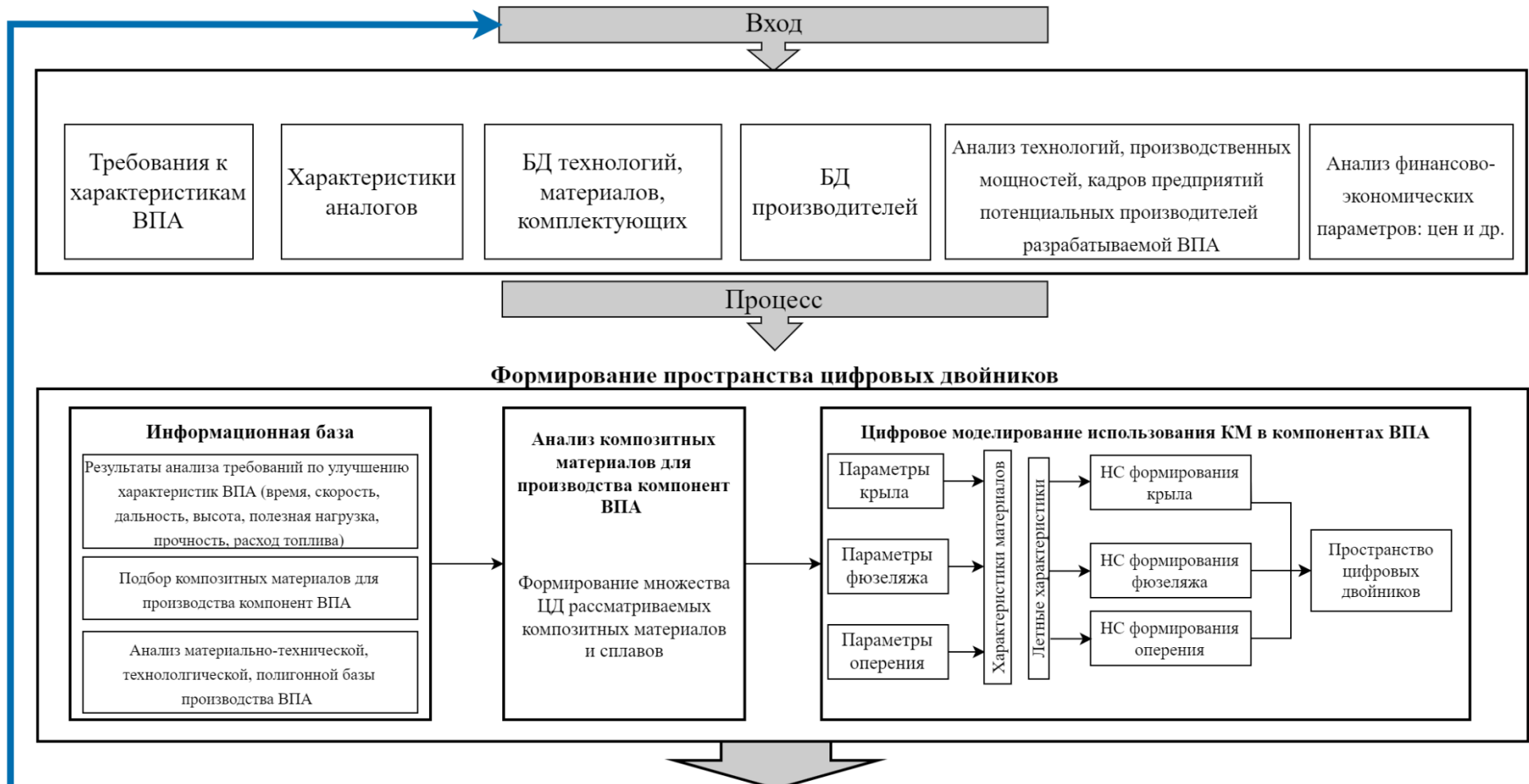
Начальным этапом экономического механизма управления разработкой инновационной продукцией авиастроения является *информационный блок*, который заключается в формировании баз данных. Первая база данных содержит в себе сведения о материалах, используемых в авиастроении, и их характеристиках. Вторая база данных содержит сведения о моделях (ЦД ВПА) самолетного типа и их летных характеристиках. Третья база данных содержит сведения о основных компонентах моделей, их характеристиках и материалах производства. При этом каждый компонент раскладывается на более мелкие составляющие, и указывается из какого материала они изготовлены. Также, в информационном блоке определяются количественные факторы

неопределенности: уровень развития производственной базы, технологий, спроса, цен, срок, стоимость перехода на новый материал.

В *аналитическом блоке* разработанного механизма управления разработкой высокотехнологичной продукции авиастроения проводится обучение каскада нейронных сетей для формирования компонент АТ, оценки факторов неопределенности, а также прогнозирования контролируемых показателей. Данный блок является наиболее важным, поскольку корректность и правильная обработка данных оказывает непосредственное влияние на точность нейросетевых моделей.

Блок оценки тактической и стратегической целесообразности использует разработанный в диссертации инструментарий обоснования цифрового двойника из пространства для производства с учётом тактической и стратегической целесообразности. При этом оцениваются следующие показатели: изменения по материалам, по конструкции, производственный риск в РФ и за рубежом, сложность, стоимость и время обновления, возможность финансирования, стратегическая значимость обновления, спрос на разрабатываемую АТ

ЭКОНОМИЧЕСКИЙ МЕХАНИЗМ УПРАВЛЕНИЯ РАЗРАБОТКОЙ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНОЙ ПРОДУКЦИИ АВИАСТРОЕНИЯ



Анализ неопределенностей при проектировании ВПА

Анализ внутренних факторов неопределенности

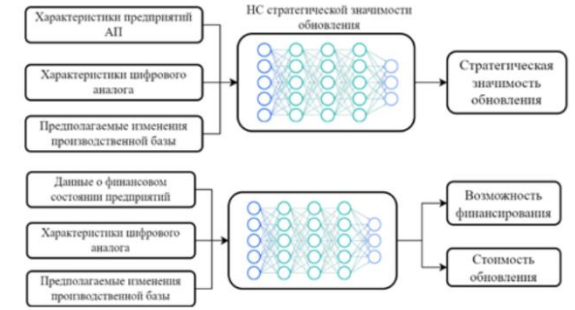
Нейросетевое моделирование

- влияния изменений по материалам и компонентам на характеристики ВПА,
- возможного изменения доли рынка



Этапы 3.1, 3.2, 3.3 Методического инструментария (§2.2)

Анализ внешних факторов неопределенности



$$Сл^k_{обн} = 2 \arctg(M \cdot K) \sqrt{K} \quad Вр^k_{обн} = \frac{M}{3} \sqrt{K}$$

Этапы 4.1-4.5 Методического инструментария (§2.2)

Оценка тактической и стратегической целесообразности производства ЦД

Оценка производственного риска ЦД

с учетом сложности, времени, стоимости производства на предприятиях в России и за рубежом, с учетом сложности доставки

$$ПР^k_{рф} = \frac{\sqrt{СлП^k_{рф} \cdot СтП^k_{рф}}}{ВП^k_{рф}}$$

$$ПР^k_{неРФ} = \frac{\sqrt{СлП^k_{неРФ} \cdot СтП^k_{неРФ} \cdot \exp(0.1 \cdot СлД^k_{неРФ} - 1)}}{ВП^k_{неРФ}}$$

Этап 2 Методического подхода (§2.3)

Оценка тактической целесообразности производства ЦД

$$ТЦ_{рф/неРФ} = \sum_{k=1}^N \theta_k \cdot ТЦ^k_{рф/неРФ}, \quad \sum \theta_k = 1$$

θ_k – значимость изменений каждого компонента ЦД

Этап 3 Методического подхода (§2.3)

Оценка стратегической целесообразности производства ЦД

$$СЦ_{рф/неРФ} = \sum_{k=1}^N \theta_k \cdot СЦ^k_{рф/неРФ}, \quad \sum \theta_k = 1$$

θ_k – значимость изменений каждого компонента ЦД

Этап 4 Методического подхода (§2.3)

Выбор модели ЦД по критериям тактической и стратегической целесообразности производства

	Негативная оценка	Средняя оценка	Положительная оценка
Производственный риск ($ПР_{рф/неРф}$)	[20;30]	[10;20)	(0;10)
Тактическая целесообразность ($ТЦ_{рф/неРф}$)	(0; 0.3)	[0.3; 0.6)	[0.6; 1]
Стратегическая целесообразность ($СЦ_{рф/неРф}$)	(0; 0.3)	[0.3; 0.6)	[0.6; 1]

Выход

Управленческие решения

- замена подсистем АТ вместо наращивания серийного производства систем АТ
- упреждение собственными новациями очередных новаций конкурентов
- рекомендации по использованию новых современных материалов, технологий при создании ВПА
- рекомендации по интеграции новых материалов и технологий в процесс производства ВПА
- выбор (создание) предприятий, производящие необходимые материалы, компоненты, системы для ВПА
- выбор (создание) предприятий, разрабатывающих и/или обладающих необходимыми технологиями в области создания ВПА

Источник: составлено автором

Рисунок 2.15 - Структура экономического механизма управления разработкой высокотехнологичной продукции авиастроения на основе анализа неопределенностей

Результатом работы механизма является выбор ЦД из пространства разработанных ЦД ВПА для производства на основе оценок тактической и стратегической целесообразности. Разработанный экономический механизм управления разработкой высокотехнологичной продукции авиастроения на основе анализа неопределенности представлен на рисунке 2.15.

Выводы по 2 главе

1. Разработке концептуальной модели управления разработкой ВПА предшествовало изучение экономических, управленческих и математических теорий. Созданная модель включает в себя пять взаимосвязанных блоков, последовательное исполнение которых обеспечивает требуемую логику формирования компонентов экономического механизма управления разработкой высокотехнологичной продукции авиастроения на основе анализа неопределённостей. Главными подходами к формированию концептуальной модели стали системный, структурный и процессный подходы.

2. Изучение нормативной правовой базы, методов оценки экономических, технологических факторов неопределенности, свойств композитных материалов, лётных характеристик ВПА позволило разработать методический инструментарий оценки внутренних и внешних факторов неопределенности при производстве разработанной ВПА посредством нейросетевого моделирования. Применение методического инструментария позволяет обосновать пространство цифровых двойников ВПА, оценить экономические компоненты сложности производства каждого цифрового двойника; возможности обновления материально-производственной базы предприятий для создания ВПА; время обновления и производства, объём финансирования.

3. Опираясь на тезисы рассмотренных теорий, приводится обоснование методического подхода к оценке тактической и стратегической целесообразности производства разработанной ВПА, который предусматривает оценку разработанной АТ в определённой конфигурации с

учетом производственного риска, временного фактора, обеспечивающей рост доли рынка, снижение периода окупаемости ВПА, а также оценку производства АТ с учётом обеспечения производственного, технологического суверенитета авиастроения в долгосрочной перспективе за счёт качественного изменения лётных характеристик, развития в стране материально-технической, полигонной базы для производства АТ. Предложенный методический подход позволяет оценить эффективность разработки ВПА, принять решения о постановке разработанной продукции на производство. Разработанный методический подход является дополнением методов оценки эффективности инновационных проектов и позволяет обосновать выбор цифрового двойника для производства с учётом совокупности экономических, технических, технологических факторов.

4. Анализ экономических, технологических, производственных факторов неопределенности, данных о материалах, компонентах и летных характеристиках являются особенностью разработанного методического подхода и методического инструментария, что составляет основную часть экономического механизма управления разработкой ВПА. Выбор цифрового двойника для промышленной реализации осуществляется на основе оценки тактической и стратегической целесообразности создания разработанной АТ, с учётом факторов неопределенности, ограничений по экономическим, технологическим, финансовым возможностям производства компонент авиационной техники. Эффект предложенного экономического механизма управления разработкой ВПА состоит в уточнении существующих методов оценки инновационных проектов показателями тактической и стратегической целесообразности. Разработанный механизм решает актуальные экономические задачи: повышения скорости реакции на изменения рынка, предпочтения заказчиков авиационной техники, эффективности разработки новой ВПА, посредством использования цифрового инструментария, повышения эффективности технической подготовки производства, вывода продукции авиастроения на внутренний и внешний рынок.

ГЛАВА 3. ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОГО МЕХАНИЗМА УПРАВЛЕНИЯ РАЗРАБОТКОЙ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНОЙ ПРОДУКЦИИ АВИАСТРОЕНИЯ

3.1. Практическая реализация методического инструментария оценки внутренних и внешних факторов неопределенности при производстве ВПА

1. *Информационно-аналитический этап.*

Для практической реализации собраны данные о летных характеристиках 45 моделей БПЛА, характеристиках их основных компонент, 45 материалах авиастроения и сведения о применении материалов в элементах основных компонент БПЛА. Часть перечисленных сведений приведена в Приложении А, Приложении Б, Приложении В, Приложении Г, Приложении Д.

Этот этап является важным для дальнейшего обучения нейросетевых моделей и подготовки информации к обработке.

2. *Этап формирования пространства цифровых двойников ВПА*

На данном этапе проводится цифровое моделирование использования КМ и комплектующих при помощи нейронных сетей. В рамках практической реализации рассматривается задача модернизации существующей модели многоцелевого БПЛА СТЦ «ОРЛАН-10» (Рисунок 3.1).



Источник: [75]

Рисунок 3.1 - БПЛА СТЦ «ОРЛАН-10»

Вышеуказанный образец БПЛА имеет следующие летные характеристики: вес пустого БПЛА составляет 13кг, его грузоподъемность 5кг, максимальная скорость – 150, крейсерская скорость – 100км/ч, дальность полета – 600км, высота полета – 6 км, расход топлива на 100км – 3л, тяга – 0.353 кН, нагрузка на крыло – 33.18кг/м².

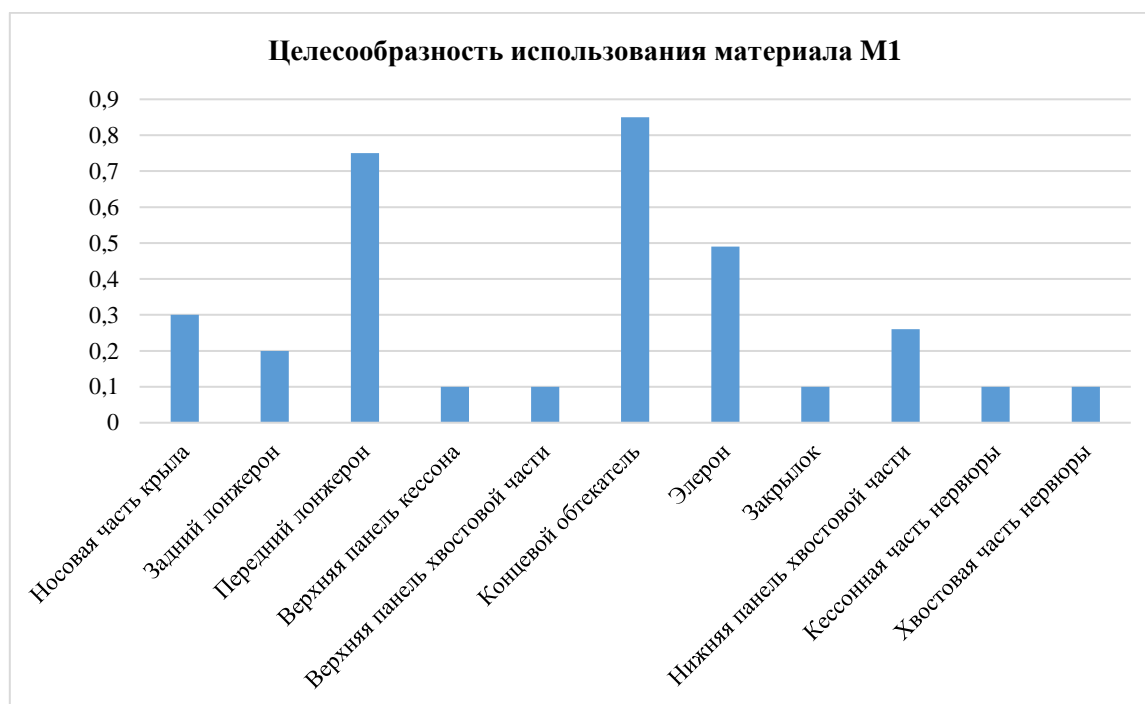
Характеристики фюзеляжа данного БПЛА: $L_{\phi} = 1$ м, $S_{м.ф} = 0.0314$ м², $d_{э.ф} = 0.2$ м, $l_{\phi} = 5$, $M = 3.25$ кг, форма – 3. Характеристики крыла: $S = 0,5054$ м², $l = 3.1$ м, $b_0 = 0.35$ м, $b_k = 0.21$ м, $c = 0.05$ м, $\chi = 9^\circ$, $\psi = 2^\circ$, $\alpha_{кр} = 1^\circ$, $\lambda = l^2/S = 19$, $\eta = \frac{b_0}{b_k} = 1.7$, $C_y = 0.471$, $C_x = 0.736$, $m_z = 1.56$, $M = 2.5$ кг, $f_{max} = 12.7$ кН, $\varphi_0 = 10^\circ$, $V_{кр.ф.} = 35$ км/ч. Характеристики горизонтального оперения: $S_{гор} = 0.12$ м², $S_{рв} = 0.02$ м², $S_{комрв} = 0,04$ м², $S_{тррв} = 0.03$ м², $l_{го} = 0.25$ м, $h_{го} = 0$, $\lambda = 1$, $\eta = 1$, $b_1 = 0,2$ м, $b_2 = 0.2$ м, коэффициент степени устойчивости = 1.2, удельный вес = 1.5, скорость пикетирования = 15 км/ч, тип конструктивно-силовой схемы – моноблочная, форма оперения – трапецевидная. Вертикальное оперение имеет характеристики: $S_{верт} = 0.31$ м², $S_{рв} = 0.05$ м², $S_{комрв} = 0.13$ м², $S_{тррв} = 0.1$ м², $l_{го} = 0.35$ м, $h_{го} = 0.25$ м, $\lambda = 1$, $\eta = 0.2$, $b_1 = 0,25$ м, $b_2 = 0.1$ м, коэффициент степени устойчивости = 0.9, удельный вес = 1.2, скорость пикетирования = 12 км/ч, тип конструктивно-силовой схемы – моноблочная, форма оперения – трапецевидная.

С экономической точки зрения ставится задача по определению тех улучшений, которые дадут стратегическое конкурентное преимущество на рынке беспилотных авиационных систем. В рамках практической реализации разработанного механизма управления разработкой ВПА в данном диссертационном исследовании рассматривается задача улучшения такой летной характеристики, как высота полета.

Очевидно, что в своем классе БПЛА, большой высотой полета обладает небольшое число моделей, поэтому достижение высоты 10 км для

рассматриваемой модели БПЛА будет давать неоспоримое преимущество на рынке авиационной техники.

Для формирования пространства ЦД обучены на имеющихся данных (Приложение В, Приложение Г, Приложение Д, Приложение Е, Приложение Ж и Приложение И) нейронные сети, определяющие целесообразность изготовления элементов крыла, фюзеляжа и хвостового оперения БПЛА из рассматриваемых материалов. Структура вектора входных данных НС формирования ЦД крыла представлена на рисунке 3.2 (структура вектора входных данных нейронных сетей формирования цифровых двойников фюзеляжа и хвостового оперения представлены в Приложении И и Приложении К).



Источник: составлено автором

Рисунок 3.2 – Гистограмма целесообразности использования КМ в крыле

С учетом новых требований к высоте полета разрабатываемых цифровых аналогов «ОРЛАН-10», в качестве части входного вектора для цифрового моделирования использования различных материалов будет задействоваться модифицированный вектор летных характеристик со следующими значениями:

- вес пустого БПЛА 13кг;

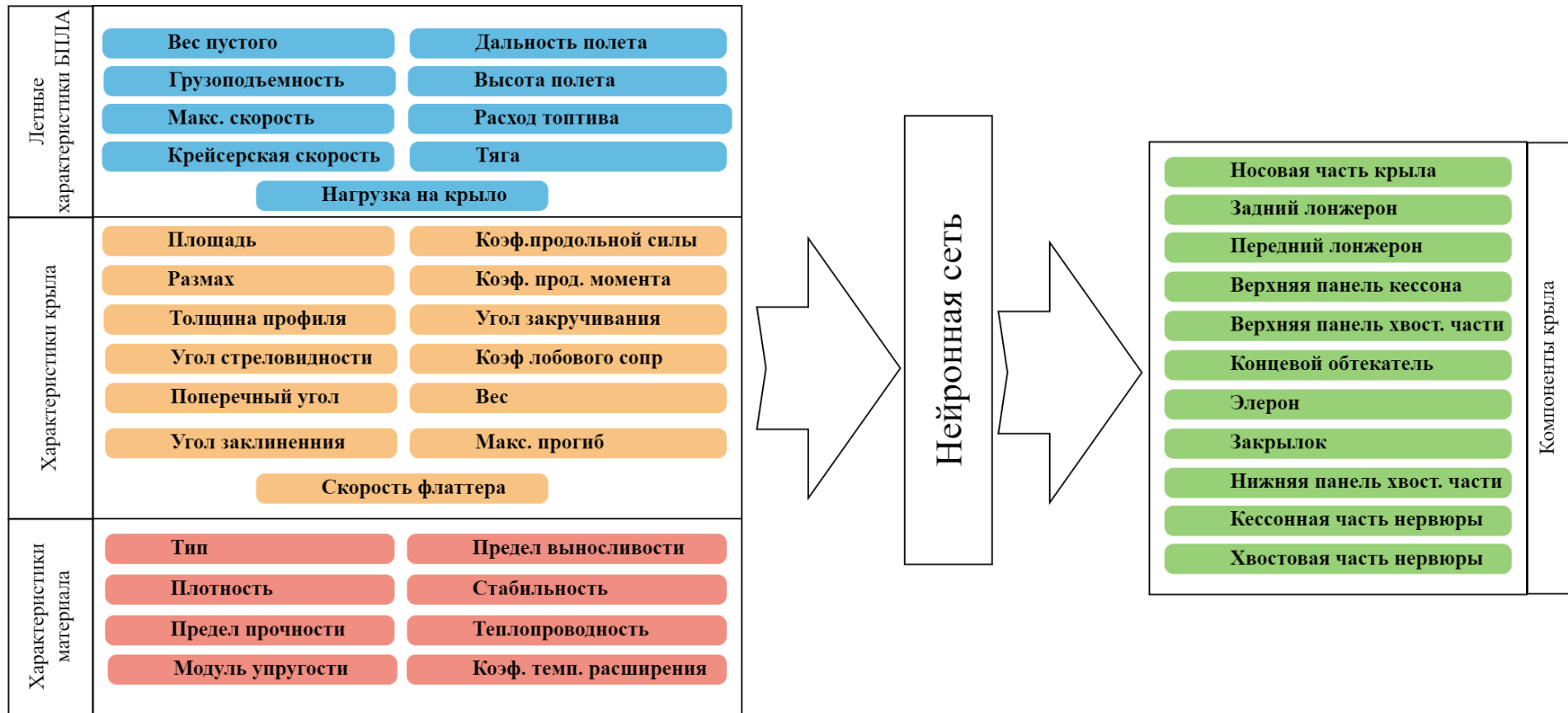
- грузоподъемность 5кг;
- максимальная скорость 150 км/ч;
- крейсерская скорость 100км/ч;
- дальность полета 600км;
- высота полета 10 км;
- расход топлива на 100км – 3л;
- тяга – 0.353 кН;
- нагрузка на крыло – 33.18кг/м².

Результат разового моделирования представляется в виде гистограмм, изображенных на рисунке 3.3 и интерпретируется как целесообразность применения рассматриваемого на данной итерации материала в структурных элементах компонент авиационной техники.

Таким образом формируется пространство цифровых двойников, включающее в себя цифровые аналоги разрабатываемого БПЛА различных конфигураций с точки зрения конструктивных параметров, а также и по материалам производства. Результаты покомпонентного моделирования одного экземпляра цифровых двойников представлены в таблице 3.1 и в приложениях (Приложение К, Приложение Л).

С учетом количества рассматриваемых материалов, характеристик и составляющих элементов основных компонент авиационной техники, на этапе практической реализации данного механизма размерность пространства цифровых двойников составила 24300 цифровых аналогов, отличающиеся своей конфигурацией и характеристиками. Данное множество полученных цифровых двойников требует тщательного анализа с целью определения наиболее целесообразных для производства.

Моделирование проводилось при помощи программного обеспечения, разработанного в ходе диссертационного исследования (Приложение М, Приложение Н).



Источник: составлено автором

Рисунок 3.3 Структура вектора входных данных нейросети формирования цифровых двойников крыла

Таблица 3.1. Формирование цифровых двойников фюзеляжа БПЛА

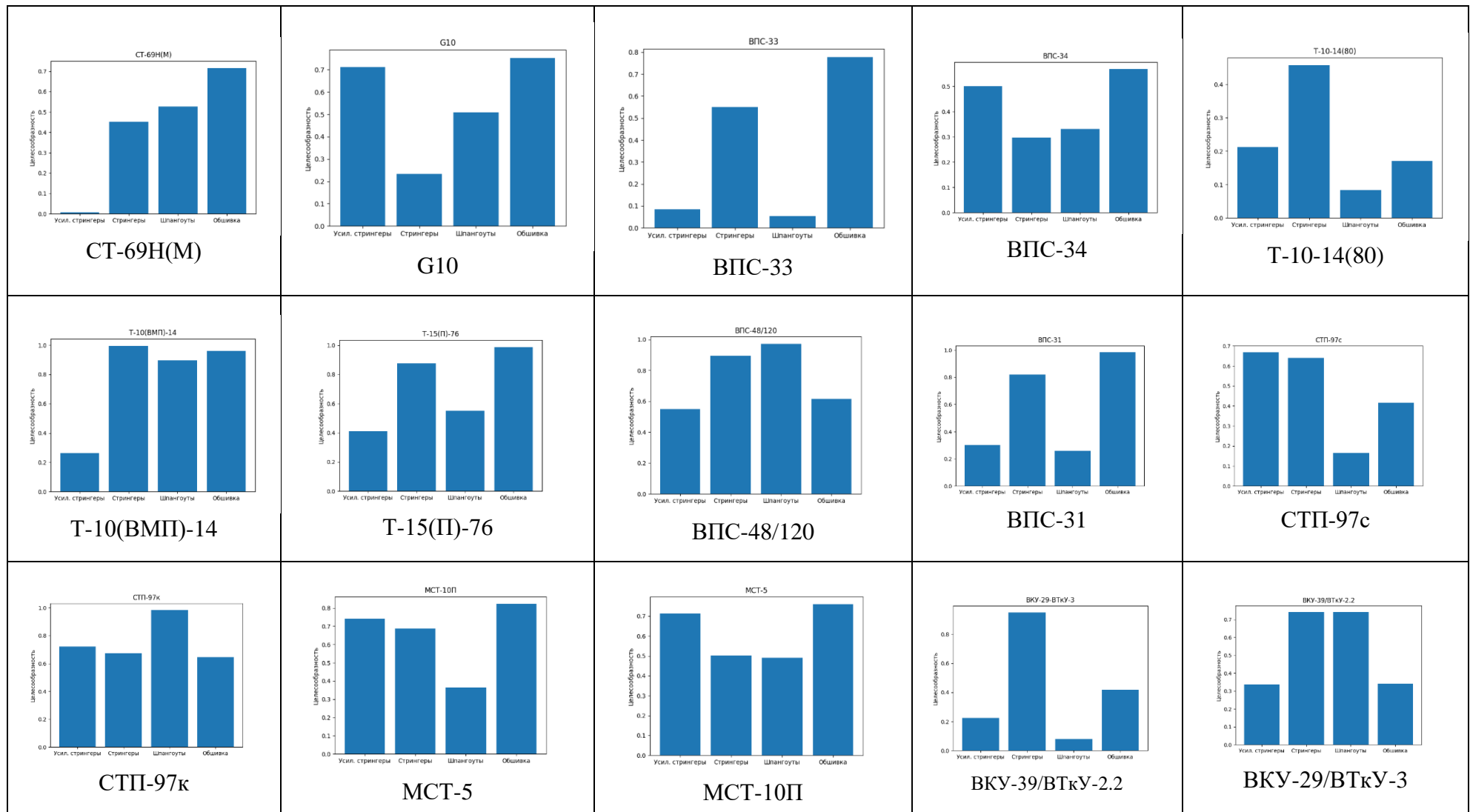


Таблица 3.1 Формирование цифровых двойников фюзеляжа БПЛА (продолжение)

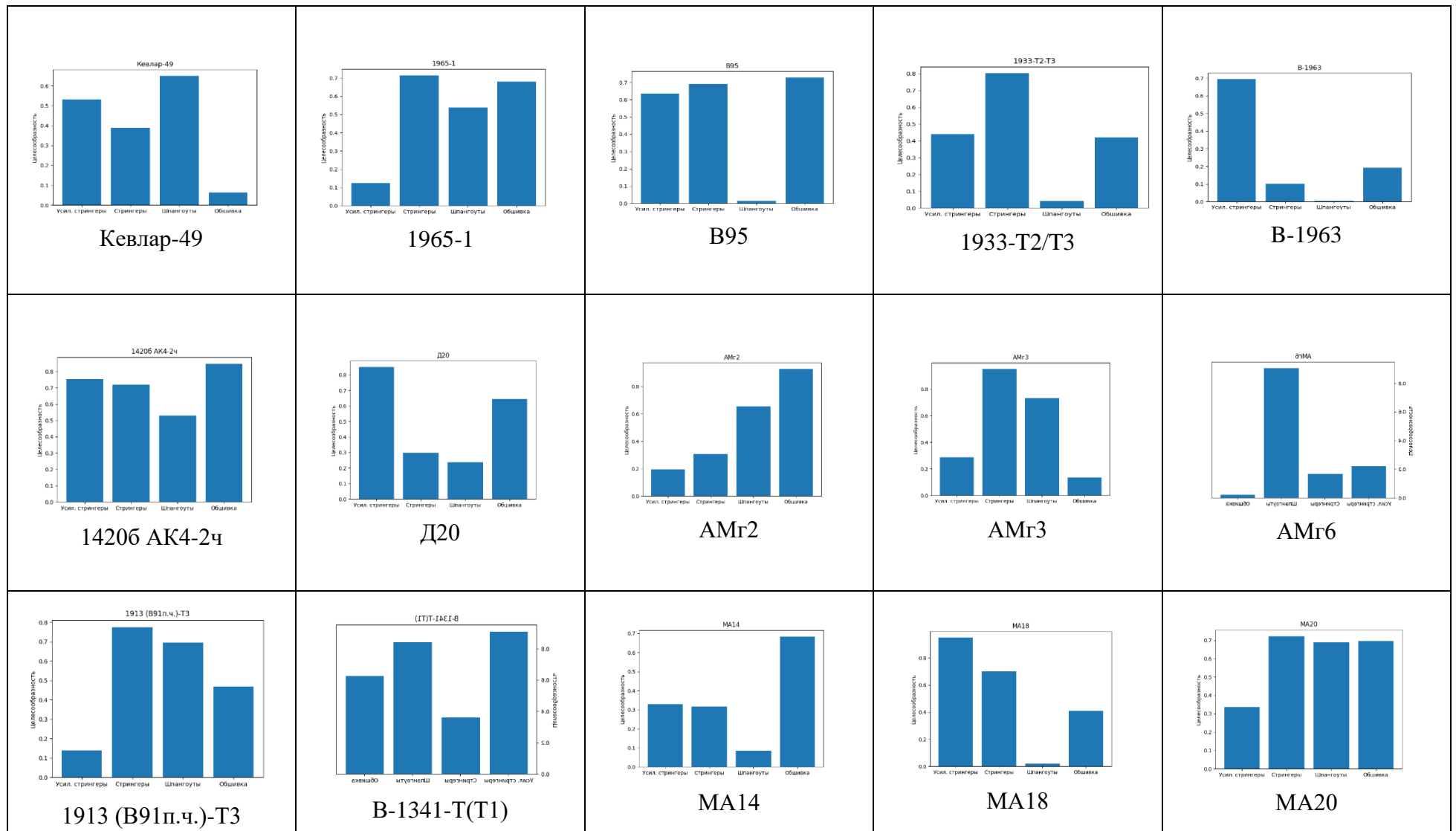
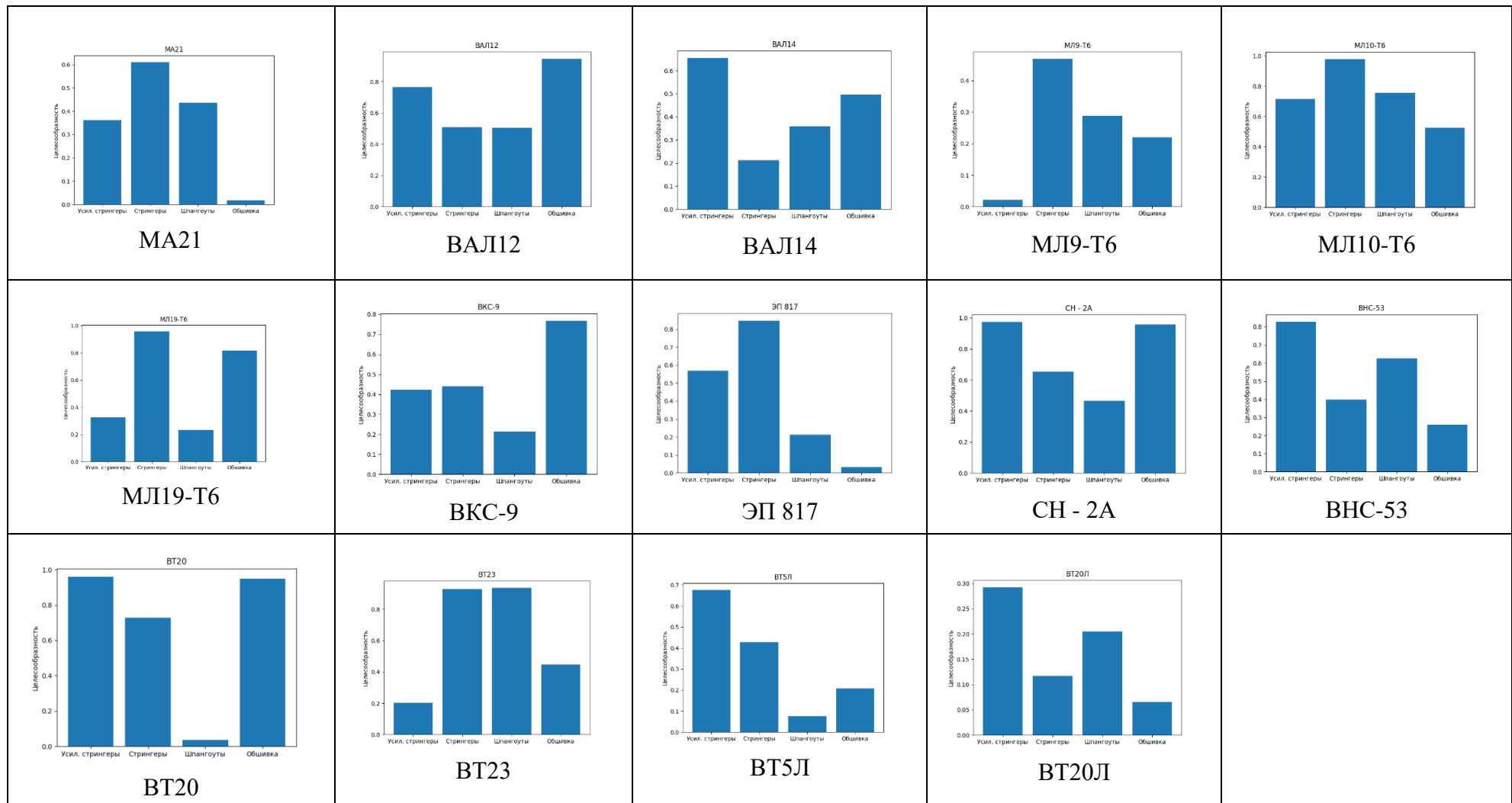


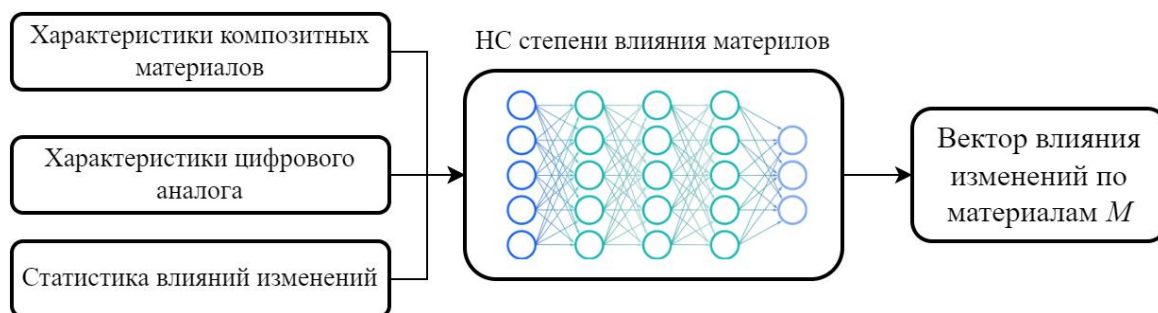
Таблица 3.1 Формирование цифровых двойников фюзеляжа БПЛА (продолжение)



Источник: составлено автором

3. Этап оценки внутренних факторов неопределенности производства цифрового двойника

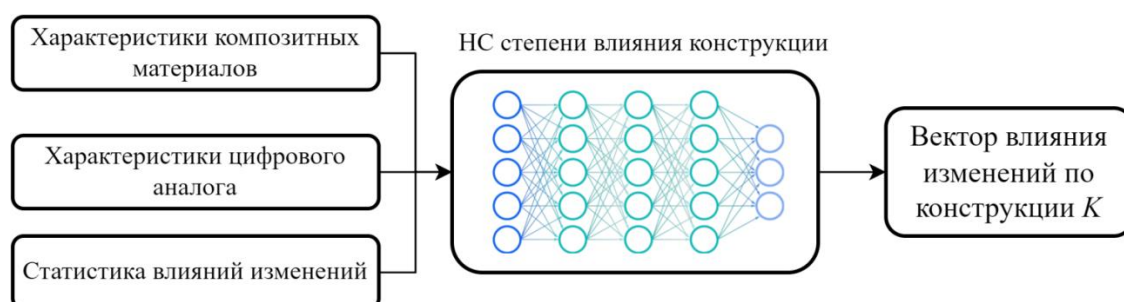
Нейросетевое моделирование степени влияния изменений по материалам $M_i \in [0; 10]$ на лётные характеристики (рисунок 3.4), сводится к получению вектора влияния в зависимости от статистических данных по наблюдаемым изменениям.



Источник: составлено автором

Рисунок 3.4 Нейросеть оценки изменения по материалам

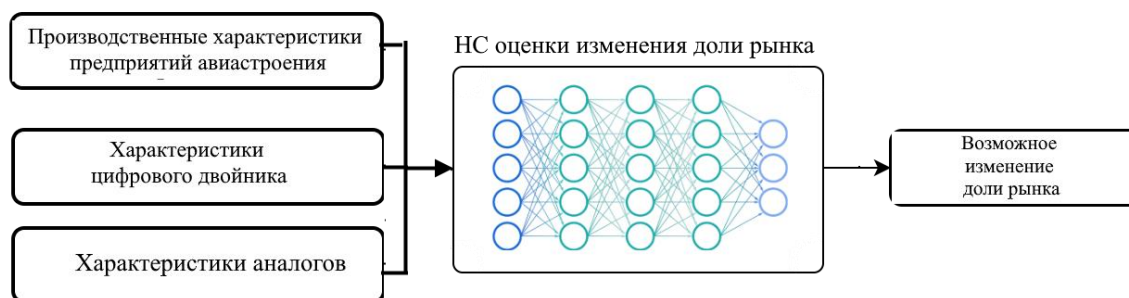
Нейросетевое моделирование степени влияния изменений по конструкции $K_i \in [0; 10]$ на лётные характеристики (рисунок 3.5):



Источник: составлено автором

Рисунок 3.5 Нейросеть оценки изменения по конструкции

Нейросетевое моделирование возможного изменения доли рынка $V_i \in [0; 10]$:



Источник: составлено автором

Рисунок 3.6 Нейросеть оценки возможного изменения доли рынка

4. Этап оценки факторов производственного риска.

Моделирование при помощи нейронных сетей сложности ($СлП^k_{рФ/нерФ}$), стоимости ($СтП^k_{рФ}$) и времени ($Вр^k_{рФ}$) производства компонента авиационной техники в России и за рубежом.

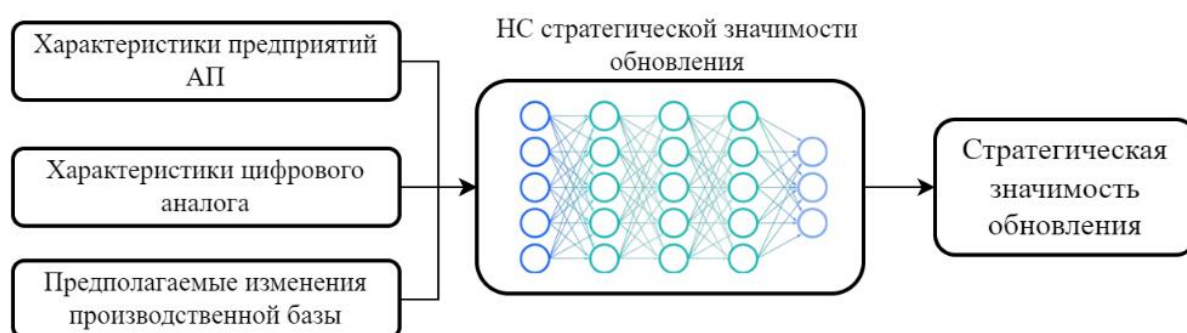
5. Этап оценки внешних факторов неопределенности производства ЦД

На данном этапе проводится моделирование внешних факторов неопределенности производства цифровых двойников: стратегическая значимость обновления производственной базы, возможность и стоимость финансирования, сложность и время обновления производственной базы.

При этом используется нейросетевое моделирование в совокупности с разработанными аналитическими моделями (рисунки 3.6, 3.7).

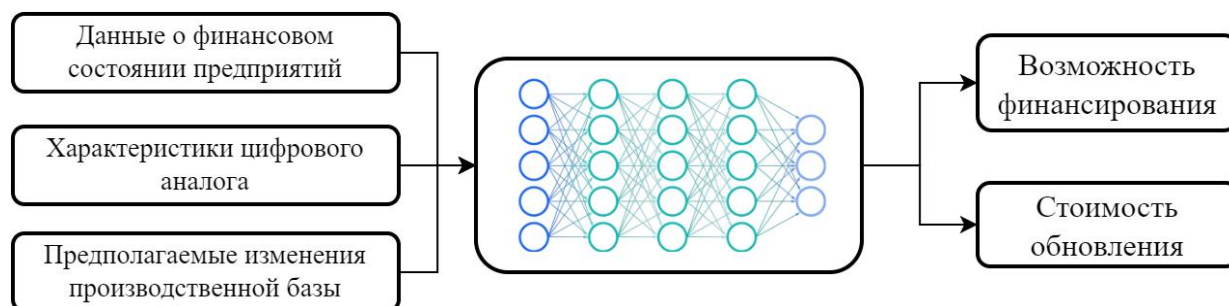
$$Сл^k_{обн} = 2 \arctg(M \cdot K) \sqrt{K} \quad (3.1)$$

$$Вр^k_{обн} = \frac{M}{3} \sqrt{K} \quad (3.2)$$



Источник: составлено автором

Рисунок 3.6 Нейросеть оценки стратегической значимости обновления



Источник: составлено автором

Рисунок 3.7 Нейросеть оценки возможности финансирования и стоимости обновления

В результате нейросетевого моделирования для четырех произвольных цифровых аналогов выбранного исходного БПЛА получены вектора производственных возможностей, представленные в таблице 3.2.

Таблица 3.2. Оценка факторов неопределенности для разных ЦД

Вектор производственных возможностей	ЦД 1	ЦД 2	ЦД 3	ЦД 4
Интегральная оценка степени влияния изменений по материалам и конструкциям	5,7	2,3	5,2	4,1
Интегральная оценка возможного изменения доли рынка	1,4	4,9	6,2	3,1
Стратегическая значимость обновления производственной базы	7	4	5	6
Возможность финансирования обновления производственной базы	3	2	6	2
Стоимость обновления производственной базы	6	7	2	4
Сложность обновления производственной базы	2	8	3	4
Время обновления производственной базы	1	2	5	2

Источник: составлено автором

Указанные баллы выражают свою оценку факторов неопределенности:

- оценка степени влияния изменений по материалам (1- слабое, 10 - сильное);
- оценка степени влияния изменений по компонентам (1- слабое, 10 - сильное);
- стратегическая значимость обновления производственной базы (1- не значимо, 10 – критически необходимо);
- возможность финансирования обновления производственной базы (1- слабая, 10 - сильная);
- стоимость обновления производственной базы (1- низкая, 10 - высокая);
- сложность обновления производственной базы (1- низкая, 10 - высокая);
- время обновления производственной базы (1- длительное, 10 - короткое).

3.2. Практическая реализация методического подхода к оценке тактической и стратегической целесообразности производства разработанной ВПА

1. *Этап формирования пространства цифровых двойников и анализа внешних и внутренних факторов неопределенности* выполнен в ходе выполнения соответствующих этапов методического инструментария.

2. Оценка производственного риска для каждого цифрового двойника

Оценка производственного риска компонента цифрового двойника ($ПР^k_{рФ}$, $ПР^k_{неРФ}$), с учетом сложности ($СлП^k_{рФ/неРФ}$), времени ($ВП^k_{рФ/неРФ}$), стоимости производства на предприятиях в России и за рубежом ($СтП^k_{рФ/неРФ}$), сложности доставки ($СлД^k_{неРФ}$) согласно рассчитанным векторам производственных возможностей и следующим формулам:

$$ПР^k_{рФ} = \frac{\sqrt{СлП^k_{рФ}} \cdot СтП^k_{рФ}}{ВП^k_{рФ}} \quad (3.3)$$

$$ПР^k_{неРФ} = \frac{\sqrt{СлП^k_{неРФ}} \cdot СтП^k_{неРФ} \cdot \exp(0.1 \cdot СлД^k_{неРФ} - 1)}{ВП^k_{неРФ}} \quad (3.4)$$

3. Этап оценки тактической целесообразности производства каждого цифрового двойника

Для каждого компонента вычисляется показатель тактической целесообразности, а затем и комплексный показатель для модели всего БПЛА. Данные вычисления проводятся для каждого цифрового аналога из пространства цифровых двойников.

$$ТЦ^k_{рФ/неРФ} = \frac{ВФ^k_{обн} \cdot (СтрЗн^k_{обн})^2}{ПР^k_{рФ/неРФ} \cdot (Ст^k_{обн} + Сл^k_{обн}) \cdot (Вр^k_{обн})^2 + ВФ^k_{обн} \cdot (СтрЗн^k_{обн})^2} \quad (3.5)$$

$$ТЦ_{рФ/неРФ} = \sum_{k=1}^N \theta_k \cdot ТЦ^k_{рФ/неРФ}, \quad \sum \theta_k = 1 \quad (3.6)$$

θ_k — значимость изменений каждого компонента цифрового двойника

3. Этап оценки стратегической целесообразности производства каждого цифрового двойника.

Для каждого компонента вычисляется показатель стратегической целесообразности, а затем и комплексный показатель для модели всего БПЛА. Данные вычисления проводятся для каждого цифрового аналога из пространства цифровых двойников.

$$CЦ_{РФ/неРФ}^k = \frac{ВФ_{обн}^k \cdot СтрЗн_{обн}^k + СТ_{обн}^k \cdot Сл_{обн}^k}{ВФ_{обн}^k \cdot СтрЗн_{обн}^k + СТ_{обн}^k \cdot Сл_{обн}^k + Вр_{обн}^k \cdot ПР_{РФ/неРФ}^k} \quad (3.7)$$

$$CЦ_{РФ/неРФ} = \sum_{k=1}^N \theta_k \cdot CЦ_{РФ/неРФ}^k, \quad \sum \theta_k = 1 \quad (3.8)$$

θ_k – значимость изменений каждого компонента цифровых двойников.

Показатели тактической и стратегической целесообразности для рассматриваемых цифровых двойников выносятся в таблицу 3.7 с целью их анализа и выбора наиболее целесообразного из них в соответствии с количественными оценками и разработанной шкалой (таблица 3.3).

Таблица 3.3. Шкала оценки разработанных показателей

	Негативная оценка	Средняя оценка	Положительная оценка
Производственный риск (ПР _{РФ/неРФ})	[20;30]	[10;20)	(0;10)
Тактическая целесообразность (ТЦ _{РФ/неРФ})	(0; 0.3)	[0.3; 0.6)	[0.6; 1]
Стратегическая целесообразность (СЦ _{РФ/неРФ})	(0; 0.3)	[0.3; 0.6)	[0.6; 1]

Источник: составлено автором

Результаты численных экспериментов на основе нейросетевого моделирования позволили получить статистику и разработать данную шкалу. В рамках практической реализации разработанного механизма управления разработкой высокотехнологичной продукции было получено 125000 цифровых двойников различной конфигурации, на основе чего в автоматическом режиме были получены соответствующие оценки для формирования шкалы разработанных показателей тактической и стратегической целесообразности.

Результаты покомпонентного анализа производственных рисков, факторов неопределенности и тактической и стратегической целесообразности четырех цифровых двойников приведены в таблицах 3.4 и 3.5.

Таблица 3.4 – Оценка тактической и стратегической целесообразности для ЦД1 и ЦД2

Факторы неопределенности/ показатели	ЦД 1	ЦД1 крыло	ЦД1 фюзеляж	ЦД1 оперение	ЦД2	ЦД2 крыло	ЦД2 фюзеляж	ЦД2 оперение
Изменения по материалам и конструкции (этапы 3.1, 3.2 Инструментария)	6	6	7	4	3	2	2	7
Возможное изменение доли рынка (этап 3.3 Инструментария)	7	7	7	7	7	7	6	9
Сложность производства в РФ (этап 4 Инструментария)	2,8	3	2	4	5	4	5	7
Стоимость производства в РФ (этап 4 Инструментария)	5	5	7	1	6	6	5	8
Время производства в РФ (этап 4 Инструментария)	5,4	5	7	3	5	3	6	7
Производственный риск (РФ) (этап 2 Методического подхода)	1,55	7	1,41	7	2,68	7	1,86	7
Сложность производства не в РФ (этап 4 Инструментария)	3,9	3	4	6	8	8	8	8
Стоимость производства не в РФ (этап 4 Инструментария)	6,4	6	7	6	3	3	2	5
Время производства не в РФ (этап 4 Инструментария)	3,8	3	5	3	7	7	8	5
Сложность доставки (этап 4 Инструментария)	5,7	4	7	8	4	1	5	8
Производственный риск (не РФ) (этап 2 Методического подхода)	2,16	1,81	2,07	3,65	0,67	0,49	0,43	2,32
Стратегическая значимость обновления (этап 5.1 Инструментария)	5,2	6	6	2	3	1	5	3
Возможность финансирования обновления (этап 5.2 Инструментария)	5,7	6	7	3	6	6	7	4
Стоимость обновления (этап 5.2 Инструментария)	5,3	6	6	3	4	3	3	8
Сложность обновления (этап 5.3 Инструментария)	8,19	8,19	8,20	8,12	8,06	7,93	7,29	9,33
Время обновления (этап 5.4 Инструментария)	5,29	5,29	6,17	3,53	2,65	1,76	1,63	7,00
Тактическая целесообразность производства в РФ (этап 3 Методического подхода)	0,21	0,07	0,25	0,01	0,18	0,02	0,77	0,01
Тактическая целесообразность производства не в РФ (этап 3 Методического подхода)	0,16	0,23	0,18	0,02	0,15	0,26	0,94	0,02
Стратегическая целесообразность производства в РФ (этап 4 Методического подхода)	0,90	0,70	0,91	0,51	0,28	0,71	0,95	0,64
Стратегическая целесообразность производства не в РФ (этап 4 Методического подхода)	0,86	0,90	0,88	0,66	0,25	0,14	0,24	0,84

Источник: составлено автором

Таблица 3.5 – Оценка тактической и стратегической целесообразности для ЦДЗ и ЦД4

Факторы неопределенности/ показатели	ЦДЗ	ЦДЗ крыло	ЦДЗ фюзеляж	ЦДЗ оперение	ЦД4	ЦД4 крыло	ЦД4 фюзеляж	ЦД4 оперение
Изменения по материалам и конструкции (этапы 3.1, 3.2 Инструментария)	4,4	8	2	2	3,2	3	4	2
Возможное изменение доли рынка (этап 3.3 Инструментария)	2,8	2	3	4	2,8	1	5	2
Сложность производства в РФ (этап 4 Инструментария)	1	1	1	1	6,2	6	6	7
Стоимость производства в РФ (этап 4 Инструментария)	1	1	1	1	4,8	9	2	2
Время производства в РФ (этап 4 Инструментария)	4,2	9	1	1	2,6	5	1	1
Производственный риск (РФ) (этап 2 Методического подхода)	0,24	0,11	1,00	1,00	4,60	4,41	4,90	5,29
Сложность производства не в РФ (этап 4 Инструментария)	4,2	5	4	3	5,6	1	9	8
Стоимость производства не в РФ (этап 4 Инструментария)	4,4	7	3	2	8,2	8	8	9
Время производства не в РФ (этап 4 Инструментария)	3,4	3	5	1	1	1	1	1
Сложность доставки (этап 4 Инструментария)	9	9	9	9	9	9	9	9
Производственный риск (не РФ) (этап 2 Методического подхода)	2,40	4,72	1,09	3,13	17,56	7,24	21,72	23,03
Стратегическая значимость обновления (этап 5.1 Инструментария)	6,6	9	5	5	3	1	5	3
Возможность финансирования обновления (этап 5.2 Инструментария)	5	8	3	3	2,8	2	3	4
Стоимость обновления (этап 5.2 Инструментария)	2,6	2	3	3	1,4	1	2	1
Сложность обновления (этап 5.3 Инструментария)	4,99	4,27	4,87	5,79	4,88	2,50	6,80	3,75
Тактическая целесообразность производства в РФ (этап 3 Методического подхода)	0,95	0,98	0,88	0,83	0,21	0,11	0,16	0,62
Тактическая целесообразность производства не в РФ (этап 3 Методического подхода)	0,67	0,61	0,87	0,61	0,07	0,07	0,04	0,27
Стратегическая целесообразность производства в РФ (этап 4 Методического подхода)	0,72	0,99	0,96	0,96	0,15	0,50	0,66	0,76
Стратегическая целесообразность производства не в РФ (этап 4 Методического подхода)	0,65	0,82	0,96	0,89	0,33	0,38	0,31	0,42

Источник: составлено автором

Реализованный механизм управления разработкой ВПА позволяет проводить дополнительную оценку эффективности разработки данного проекта с учетом анализа производственных мощностей предприятий авиастроения, производственного риска, а также тактической и стратегической

целесообразности разработки модели БПЛА. В рамках практической реализации были выбраны четыре цифровых двойника различной конфигурации, способные решить задачу увеличения высоты полета. При этом одним из важных показателей является производственный риск. Сводные данные представлены в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Оценка производственного риска для ЦД1-ЦД4

	ЦД1	ЦД2	ЦД3	ЦД4
Производственный риск в РФ	1,55	2,68	0,24	4,60
Производственный риск не в РФ	2,16	0,67	2,40	17,56

Источник: составлено автором

Из таблицы 3.6 видно, что наименьшим производственным риском обладают ЦД1, ЦД2 и ЦД3. Данные показатели отражают сложность, время и стоимость производства, определенные при помощи нейросетевого моделирования. ЦД4 имеет высокую степень риска, поскольку имеет данный образец имеет высокую стоимость, сложность и время производства. Показатели тактической и стратегической целесообразности выносятся в сводную таблицу 3.7.

Таблица 3.7 – Оценка тактической и стратегической целесообразности для ЦД1- ЦД4

	ЦД1	ЦД2	ЦД3	ЦД4
Тактическая целесообразность производства в РФ	0,21	0,18	0,95	0,21
Тактическая целесообразность производства не в РФ	0,16	0,15	0,67	0,07
Стратегическая целесообразность производства в РФ	0,90	0,28	0,72	0,15
Стратегическая целесообразность производства не в РФ	0,86	0,25	0,65	0,33

Источник: составлено автором

Таким образом, с точки зрения **тактической целесообразности** необходимо производить ЦД3, организовав производство в РФ. ЦД3 состоит из:

- фюзеляж: {Усиленные стрингеры: деформируемый титановый сплав ВТ20, Стрингеры: деформируемый титановый сплав ВТ20, Шпангоуты: деформируемый титановый сплав ВТ20, Обшивка: стеклопластик ВПС31}.

- крыло: {Носовая часть: стеклопластик G10, Задний лонжерон: деформируемый титановый сплав BT20, Передний лонжерон: деформируемый титановый сплав BT20, верхняя панель кессона: стеклопластик G10, Верхняя панель хвостовой части: стеклопластик G10, Концевой обтекатель: полиамид кевлар-49, Элерон: полиамид кевлар-49, Закрылок: полиамид кевлар-49, Нижняя панель хвостовой части: деформируемый титановый сплав BT20, Кессонная часть нервюры: стеклопластик G10, Хвостовая часть нервюры: стеклопластик G10}.

- горизонтальное хвостовое оперение: {Нервюра: стеклопластик G10, Задний лонжерон: деформируемый титановый сплав BT20, Передний лонжерон: деформируемый титановый сплав BT20, Обшивка: полиамид кевлар-49, Концевой обтекатель: полиамид кевлар-49}.

- вертикальное хвостовое оперение: {Нервюра: полиамид кевлар-49, Задний лонжерон: деформируемый титановый сплав BT20, Передний лонжерон: деформируемый титановый сплав BT20, Обшивка: полиамид кевлар-49, Концевой обтекатель: полиамид кевлар-49}.

С точки зрения **стратегической целесообразности** в РФ необходимо производить ЦД1, который состоит из:

- фюзеляж: {Усиленные стрингеры: деформируемый титановый сплав BT22И, Стрингеры: деформируемый титановый сплав BT22И, Шпангоуты: деформируемый титановый сплав BT22И, Обшивка: стеклопластик ВПС31}.

- крыло: {Носовая часть: деформируемый титановый сплав BT22И, Задний лонжерон: деформируемый титановый сплав BT22И, Передний лонжерон: деформируемый титановый сплав BT22И, верхняя панель кессона: стеклопластик G10, Верхняя панель хвостовой части: стеклопластик G10, Концевой обтекатель: полиамид кевлар-49, Элерон: полиамид кевлар-49, Закрылок: полиамид кевлар-49, Нижняя панель хвостовой части: деформируемый титановый сплав BT22И, Кессонная часть нервюры: стеклопластик G10, Хвостовая часть нервюры: стеклопластик G10}.

- горизонтальное хвостовое оперение: {Нервюра: стеклопластик G10, Задний лонжерон: деформируемый титановый сплав BT22И, Передний лонжерон: деформируемый титановый сплав BT22И, Обшивка: полиамид кевлар-49, Концевой обтекатель: полиамид кевлар-49}.

- вертикальное хвостовое оперение: {Нервюра: полиамид кевлар-49, Задний лонжерон: деформируемый титановый сплав BT22И, Передний лонжерон: деформируемый титановый сплав BT22И, Обшивка: полиамид кевлар-49, Концевой обтекатель: полиамид кевлар-49}.

Результат оценки изменений по конструкции и материалам, оценки производственного риска в РФ и за ее пределами, сложности производства и вспомогательных оценок для каждого оптимального ЦД компонента БПЛА целесообразно заносить в таблицы для последующего анализа и сравнений с другими ЦД.

В диссертации проведена оценка коммерческой эффективности производства и реализации разработанного ЦД 1 (таблица 3.8).

Таблица 3.8 – Инвестиционные затраты на производство ЦД 1

Этапы работы и их содержание	Статьи	Годы проекта		
		Этап проектирования и испытаний		
		2022	2023	2024
Этап 1. Создание и испытание образца БПЛА	1. Проектирование (формирование конструкторской документации)			
	1.1. Эскизный проект	10,80		
	1.2. Аэродинамические и прочностные исследования	4,10		
	Рабочее проектирование (2 мес. 2-го кв., 3 и 4 кв. 1-го года)	1.3. Рабочее проектирование	6,60	
Этап 2. Организация серийного производства	2. Подготовка к производству оснасток			
	2.1. Проектирование	16,65		
	2.2. Изготовление		18,69	

Таблица 3.8 – Инвестиционные затраты на производство ЦД 1
(продолжение)

Этапы работы и их содержание		Статьи	Годы проекта		
			Этап проектирования и испытаний		
			2022	2023	2024
		2.3. Материалы		4,80	
Изготовление деталей и узлов (3 мес. 4-го кв. 1-го года, 1, 2 и первые два мес. 3кв. 2-го года)		3. Затраты на модернизацию имеющегося оборудования		5,20	
		4. Приобретение электронного аккумулятора		12,32	
		5. Обработка силовой установки			
		5.1. Создание стенда		0,86	
		5.2. Исследования		0,90	
Изготовление агрегатов планера (посл. мес. 2 кв., 3кв., 4 кв. 2-го года)		6. Закупка оборудования и агрегатов			
		6.1 Встроенная инерциальная система (ИНС)		0,95	
		6.2 Оборудование наблюдения СОЛТ		2,25	
		6.3 Аппаратура радиолинии		0,75	
		6.4 Механические и электро агрегаты		0,90	
		7. Разработка, испытания и изготовления пусковой установки		4,10	
		8. Изготовление деталей и узлов		9,25	
		9. Изготовление планера		6,81	
		10. Сборка и окраска		5,60	
		11. Приобретение оборудования для серийного производства деталей планера			14,44
Сборка (4 кв. 2-го года и 1 кв. 3-го года)		12. Закупка наземных составляющих комплекса			6,56

Таблица 3.8 – Инвестиционные затраты на производство ЦД 1
(продолжение)

Этапы работы и их содержание		Статьи	Годы проекта		
			Этап проектирования и испытаний		
			2022	2023	2024
	Летные испытания (2, 3 и 4 кв. 3-го года)	13. Наземные испытания комплекса			3,14
		14. Летные испытания			3,35
	Подготовка серийного производства (3 и 4 кв. 3-го года, 1 и 2 кв. 4-го года)				
	Производство первого серийного БЛА (2, 3 и 4 кв. 4-го г.)				
	Сертификационные испытания (2, 3 и 4 кв. 4-го года)				
Итого			38,15	73,38	27,49
ОБЩИЕ ИНВЕСТИЦИОННЫЕ ЗАТРАТЫ			139,02		

Источник: составлено автором

Таблица 3.9 – Калькуляция себестоимости ЦД 1

Калькуляция себестоимости БПЛА, млн. руб.		
№	Статья	Стоимость
1	Сырье и материалы	4,80
2	Покупные комплектующие изделия, полуфабрикаты	17,20
2.1	Электронный аккумулятор	12,32
2.2	Оборудование ИНС	0,95
2.3	Оборудование наблюдения СОЛТ	2,25
2.4	Аппаратура радиолнии	0,75
2.5	Механические и электро- агрегаты	0,90
2.6	Прочее оборудование и агрегаты	0,03
3	Возвратные отходы (вычитаются)	0,24
4	Топливо и энергия на технологические цели	0,16
5	Основная з/п работников производства	0,81
6	Дополнительная з/п работников производства	1,43
7	Отчисления во внебюджетные фонды (от п. 5+6)	0,68
		24,84
8	Расходы на подготовку и освоение производства	0,12
9	Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования	0,14
10	Расходы на амортизацию оборудования	14,44
11	Общехозяйственные расходы	0,11
		39,64
12	Общехозяйственные расходы	0,34

Таблица 3.9 – Калькуляция себестоимости ЦД 1
(продолжение)

Калькуляция себестоимости БПЛА, млн. руб.		
№	Статья	Стоимость
13	Потери от брака	0,03
14	Прочие производственные расходы	0,50
		40,51
15	Внепроизводственные (коммерческие) расходы	0,20
		40,71
	Стоимость единицы БПЛА	41,53

Источник: составлено автором

Таблица 3.10 – Операционный поток

Год	Пе-риод	Выручка	Выручка с инфляцией	Издержки постоянные	Издержки постоянные с инфляцией	Издержки переменные	Издержки переменные с инфляцией	Издержки всего с инфляцией	Амортизация оборудования	Налогооблагаемая прибыль	Налог	Чистая прибыль	CF произв
2025	3	1 943,45	2 019,25	879,49	913,79	1 025,86	1 065,86	1 979,65	2,89	36,71	7,34	29,36	32,25
2026	4	2 167,70	2 252,24	980,97	1 019,23	1 144,22	1 188,85	2 208,07	2,89	41,27	8,25	33,02	35,91
2027	5	2 354,57	2 446,39	1 065,53	1 107,09	1 242,86	1 291,34	2 398,43	2,89	45,08	9,02	36,06	38,95
2028	6	2 541,44	2 645,63	1 150,10	1 197,25	1 341,50	1 396,51	2 593,76	2,89	48,99	9,80	39,19	42,08
2029	7	2 765,68	2 879,07	1 251,58	1 302,89	1 459,87	1 519,73	2 822,62	2,89	53,56	10,71	42,85	45,74

180,49

Источник: составлено автором

Таблица 3.11 – Итоговый поток ЦД

Год	Период	Инвестиции в ВНА	Оборотные средства	Инвестиции в оборотные средства	CF инв	CF проекта	DCF	CFcum	DCFcum
2022	0	-38,15	0,00	0,00	-38,15	-38,15	-38,15	-38,15	-38,15
2023	1	-73,38	0,00	0,00	-73,38	-73,38	-61,90	-111,53	-100,05
2024	2	-27,49	201,92	201,92	-229,42	-229,42	-163,27	-340,95	-263,33
2025	3	0,00	206,58	4,66	-4,66	27,59	16,57	-313,36	-246,76
2026	4	0,00	210,47	3,88	-3,88	32,02	16,22	-281,33	-230,54
2027	5	0,00	214,45	3,98	-3,98	34,97	14,94	-246,36	-215,60
2028	6	0,00	219,12	4,67	-4,67	37,41	13,48	-208,96	-202,12
2029	7	0,00	219,12	-219,12	219,12	264,86	80,54	55,91	-121,57

Источник: составлено автором

На основе прогноза объёма продаж, темпов инфляции сформированы потоки по проекту производства ЦДЗ (таблица 3.8-3.11). Определены критерии эффективности (таблица 3.12).

Таблица 3.12 – Критерии эффективности производства ЦД 1

NPV	-121,57
MIRR	8,50%
PI	0,54
PPS	12,79
PPD	19,43

Источник: составлено автором

Таким образом, вследствие высокой стоимости замены оборудования производство ЦД 1 не выгодно по существующей системе критериев. Однако в расчётах не учитывается влияния изменений по материалам, конструкции ЛА на степень изменения лётных характеристик.

Оценка стратегической целесообразности первого цифрового двойника, полученное при помощи разработанного методического подхода и методического инструментария показывает, что его производство и реализация позволит обновить производственную базу, апробировать новые композитные материалы и в итоге удерживать конкурентные преимущества разрабатываемого БПЛА в перспективе. Эффект предложенного экономического механизма управления разработкой ВПА состоит в уточнении существующих методов оценки инновационных проектов показателями тактической и стратегической целесообразности производства разработанной АТ.

Таким образом, практическая реализация созданного экономического механизма управления разработкой высокотехнологичной продукции на основе анализа неопределенностей позволяет обосновать необходимость производства разработанного БПЛА с учетом его стратегической, тактической целесообразности и уточнить существующие критерии эффективности разработок ВПА.

Выводы по 3 главе

Для практической реализации экономического механизма управления разработкой ВПА собраны данные о летных характеристиках 45 моделей БПЛА, характеристиках их основных компонент, 45 материалах авиастроения и сведения о применении материалов в элементах основных компонент БПЛА. Проводится цифровое моделирование использования КМ и комплектующих при помощи нейронных сетей. В рамках практической реализации рассматривается задача модернизации существующей модели многоцелевого БПЛА СТЦ «ОРЛАН-10». Рассматривается задача улучшения такой летной характеристики, как высота полета. Применение предложенного методического инструментария оценки внутренних и внешних факторов неопределенности при производстве БПЛА посредством нейросетевого моделирования позволило обосновать пространство ЦД БПЛА, оценить сложность производства ЦД; возможности обновления материально-производственной базы предприятий для создания БПЛА; объём финансирования, время обновления производства. Определить уровень производственного риска различных моделей БПЛА.

Проведена оценка эффективности производства разработанных ЦД БПЛА по существующей системе критериев (NPV, IRR, PI и др.). Критерии показали нецелесообразность производства разработанных ЦД. Однако реализация методического подхода к оценке тактической и стратегической целесообразности производства разработанных ЦД БПЛА позволила дать оценку в определённых конфигурациях с учетом производственного риска, временного фактора, обеспечивающего конкурентное преимущество в краткосрочный период, а также оценку производства ЦД БПЛА с учётом обеспечения конкурентного преимущества в долгосрочной перспективе за счёт качественного изменения лётных характеристик. С точки зрения тактической целесообразности необходимо производить ЦД3, организовав производство в РФ, в соответствии с показателем стратегической целесообразности рекомендуется запуск в производство ЦД1. На

основе показателей тактической и стратегической целесообразности обоснован выбор ЦД БПЛА для производства.

Разработанный методический подход является дополнением методов оценки эффективности проектов и позволяет обосновать выбор ЦД для производства с учётом совокупности экономических, технических, технологических факторов. Эффект предложенного экономического механизма управления разработкой ВПА реализован посредством уточнения существующих методов оценки инновационных проектов показателями тактической и стратегической целесообразности производства разработанной АТ. Разработанный механизм управления разработкой ВПА на основе анализа неопределенностей может быть использован для изучения степени влияния материалов и их конкретных характеристик на летные характеристики БПЛА с учётом экономических факторов. Использование обратного алгоритма позволяет определить характеристики материала, возможно еще не существующего, для изготовления компонент АТ, обеспечивающих заданные летные характеристики. Такой сценарий использования разработанного механизма способствует экономическому развитию предприятий обеспечивающих отраслей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертационное исследование основано на теоретических и методологических положениях фундаментальных трудов отечественных и зарубежных учёных, занимающихся вопросами эффективности НИР и ОКР, управлением жизненным циклом высокотехнологичной продукции, вопросами производственного менеджмента, анализа неопределённости при принятии управленческих решений. Изучены нормативные правовые акты по вопросам развития отрасли авиастроения: стратегии пространственного развития, национальной безопасности, программа развития авиационной промышленности. Ключевыми задачами развития авиастроения являются: формирование оптимальных номенклатуры, объемов и сроков поставок воздушных судов отечественного производства, разработка конструкционных материалов, технологий для авиа- и космической техники, разработка новой конкурентоспособной авиационной техники. В диссертации изучено состояние, тенденции, особенности развития авиастроения в условиях необходимости укрепления экономического и технологического суверенитета России, решения тактических, стратегических задач. На эффективность решения поставленных задач оказывают влияние проблемы, возникающие, в процессе разработки ВПА: недостаточное количество инновационных разработок ВПА, улучшающих лётные характеристики и экономическую эффективность ЛА, проблема сложности производства новых моделей ВПА в РФ, проблема сервисного обслуживания. Разработанные модели ВПА сложно производить на российских предприятиях, вследствие наличия факторов неопределённости: износ производственных фондов, сложность, долгое время обновления материально-производственной базы предприятий для создания ЛА; не эффективные технологии производства разработанной АТ; высокая стоимость обновления и др. Анализ темпов развития подотрасли авиастроения (на примере БПЛА) показывает необходимость разработок моделей БПЛА и других видов ВПА с учётом новых требований к

лётным, надёжным, экономическим характеристикам в современных условиях, механизмов управления разработкой ВПА.

Общим итогом диссертационного исследования является развитие теоретических и методических подходов к управлению разработкой высокотехнологичной продукции авиастроения в условиях неопределённости с использованием цифровых инструментов. Задачи теоретического характера решены введением понятий «тактическая целесообразность производства», «стратегическая целесообразность производства», классификацией внутренних и внешних факторов неопределённости. Обосновано, что использование классических методик для анализа неопределённости в процессе разработки ВПА, опирающихся на SWOT анализ, теорию игр, сценарный подход к анализу неопределённости и др., считается недостаточным, поскольку они учитывают малую часть внешних и внутренних факторов неопределённости. Проведено обоснование применения нейронных сетей для моделирования процессов управления разработкой ВПА. Одним из инструментов снижения неопределённости является создание цифровых двойников. Существующие технологии позволяют формировать пространство цифровых двойников ВПА, посредством интеграции в модели различных композитных материалов с целью улучшения лётных характеристик или решения поставленных заказчиком задач. Таким образом, в диссертации решается проблема выбора цифрового двойника для производства в условиях неопределённости. Для решения данной задачи в диссертации предложены научные разработки.

Этапу проектирования концептуальной модели и экономического механизма управления разработкой высокотехнологичной продукции авиастроения предшествовал этап анализа существующих научных подходов, концепций и теорий, на которых основывается разрабатываемая модель. Системный, структурный и процессный подходы являлись основными подходами в ходе разработки концептуальной модели. Системный подход к формированию концептуальной модели предусматривает формулирование основных целей

процесса, определяющих взаимосвязь элементов системы и направленных на принятие стратегически верных решений по разработке ВПА. В исследовании разработана концептуальная модель управления разработкой высокотехнологичной продукции авиастроения, отличающаяся возможностью оценки эффективности разработки ВПА на основе анализа экономических, технологических факторов неопределённости, производственного риска для решения тактических и стратегических задач.

Изучение трактовки понятия «неопределённость» применительно к процессу разработки ВПА, методов оценки позволило выдвинуть гипотезу, что данное понятие необходимо исследовать как многофакторное. Выделены внутренние факторы неопределённости разработки ВПА: изменение требований к характеристикам ЛА, влияние композитных материалов, комплектующих на лётные характеристики, а также внешние факторы: возможности производства материалов, комплектующих; возможность обновления материально-производственной, технологической базы предприятий для создания ЛА; технологии производства разработанной АТ; время производства ЛА; факторы стоимости материалов, комплектующих, производства ЛА; ценовые факторы, факторы спроса на разрабатываемый ЛА. В диссертации установлена зависимость оптимизации компонент авиационной техники посредством цифровых инструментов, возможности производства и эффективности разработки ВПА, что явилось основой формирования методического инструментария оценки внутренних и внешних факторов неопределённости при производстве разработанной ВПА.

Обоснован методический подход к оценке тактической и стратегической целесообразности производства разработанной ВПА, который предусматривает оценку разработанной АТ в определённой конфигурации с учетом производственного риска, временного фактора, обеспечивающей рост доли рынка, снижение периода окупаемости ВПА, а также оценку производства АТ с учётом обеспечения производственного, технологического суверенитета

авиастроения в долгосрочной перспективе за счёт качественного изменения лётных характеристик, развития в стране материально-технической, полигонной базы для производства АТ. Предложенный методический подход позволяет оценить эффективность разработки ВПА, принять решения о постановке разработанной продукции на производство.

Разработанные в ходе диссертационного исследования методологический подход и методический инструментарий легли в основу экономического механизма управления разработкой высокотехнологичной продукции авиастроения на основе анализа неопределенности, составляющего новизну диссертационного исследования. Основной функцией механизма является реализация процесса разработки высокотехнологичной продукции авиастроения с учётом анализа внутренних и внешних факторов неопределенности. Выбор ЦД ВПА для производства осуществляется на основе определения критериальных показателей «тактическая целесообразность» и «стратегическая целесообразность», которые позволяют оценить эффективность разработки ВПА, принять решение о промышленном производстве АТ. Эффект предложенного экономического механизма управления разработкой ВПА состоит в уточнении существующих методов оценки инновационных проектов показателями тактической и стратегической целесообразности производства. Разработанный механизм решает актуальные экономические задачи: повышения скорости реакции на изменения рынка, предпочтения заказчиков авиационной техники, эффективности разработки новой ВПА, посредством использования цифрового инструментария, повышения эффективности технической подготовки производства, вывода продукции на внутренний и внешний рынок. Предлагаемый механизм рассматривается как составная часть системы поддержки принятия управленческих решений по планированию и организации производства с учётом тактических, стратегических целей.

Апробация предложенного экономического механизма управления разработкой ВПА была проведена на примере БПЛА СТЦ «ОРЛАН-10».

Сформировано пространство цифровых двойников. Обосновано влияние изменений в конструкции, применяемых материалах на лётные характеристики по всему пространству цифровых аналогов посредством нейросетевого моделирования. Определены факторы неопределённости для производства цифровых двойников: стоимость, время, сложность производства в РФ и других странах, уровень производственного риска, стоимость, время, сложность обновления производственной базы предприятий, изменение доли рынка. На основе оценок факторов неопределённости определена тактическая и стратегическая целесообразность производства цифровых двойников разработанного БПЛА. Определены цифровые двойники с лучшей тактической и стратегической целесообразностью производства, что позволит оптимизировать финансовые ресурсы при запуске проекта в производство. Доказано, что вследствие высокой стоимости замены оборудования производство ЦД 1 не выгодно по классической системе критериев. Однако в расчётах не учитывается влияния изменений в материалах, конструкции ЛА на степень изменения лётных характеристик. Значение стратегической целесообразности запуска в производство ЦД 1, полученное вследствие применения разработанного подхода и методического инструментария показывает, что производство и реализация ЦД 1 позволит обновить производственную базу, апробировать новые композитные материалы, в итоге удерживать конкурентные преимущества разрабатываемого БПЛА в перспективе.

В качестве направлений дальнейших исследований по изучаемой проблематике можно выделить задачу моделирования процесса разработки высокотехнологичной продукции с учетом большего числа учитываемых параметров неопределённости, оптимизации тактической и стратегической целесообразности производства ВПА с использованием цифрового инструментария. Развитие научно-практических результатов диссертационного исследования может быть направлено на интеграцию разработанных нейросетевых моделей формирования ЦД ВПА и оценки эффективности

производственных возможностей в общую систему отраслевого искусственного интеллекта. Практическое применение результатов исследования позволит совершенствовать процесс принятия управленческих решений в области разработки и производства ВПА.

Результаты диссертационного исследования апробированы на действующих предприятиях: ПАО «РКК «Энергия» им. С.П. Королёва», «Авиационный комплекс имени С. В. Ильюшина», что подтверждается справками о внедрении.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

АП – Авиационная промышленность

АТ – Авиационная техника

БПЛА – Беспилотный летательный аппарат

ВПА – Высокотехнологичная продукция авиастроения

ЖЦ – Жизненный цикл

КМ – Композитные материалы

НС – Нейронная сеть

РФ – Российская Федерация

СЦ – Стратегическая целесообразность

ТЦ – Тактическая целесообразность

ФЗ – Федеральный закон

ЦД – Цифровой двойник

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Нормативные правовые акты

1. Указ Президента РФ от 07.05.2012 № 596 «О долгосрочной государственной экономической политике» // СПС КонсультантПлюс (дата обращения 10.02.2023).
2. Федеральный закон от 28.06.2014 № 172-ФЗ «О стратегическом планировании в Российской Федерации» (редакция от 21.10.2023) // СПС КонсультантПлюс (дата обращения 20.01.2023).
3. Прогноз долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2030 года (разработан Минэкономразвития России) // СПС КонсультантПлюс (дата обращения 28.03.2023).

Учебные пособия и монографии

4. Азрилян, А.Н. Большой экономический словарь / А.Н. Азрилян – М.: Институт новой экономики, 1997 – 1376 с.
5. Богоявленский, С.Б. Управление риском в социально-экономических системах: учебное пособие / С.Б. Богоявленский – Санкт-Петербургский государственный экономический университет. – Санкт-Петербург, 2010 – 143 с.
6. Банди, Б. Методы оптимизации. Вводный курс: Пер. с англ. / Б. Банди. – М.: Радио и связь, 2012. – 126 с.
7. Вакуленко, С.А. Практический курс по нейронным сетям. / С.А. Вакуленко, А.А. Жихарева – СПб: Ун-т ИТМО– 2018. – 71 с.
8. Габасов, Р. Методы оптимизации: пособие / Р. Габасов [и др.]. – Минск: Издательство «Четыре четверти», 2011. – 472 с.
9. Дуброва, Т.А. Статистические методы прогнозирования в экономике: учебно-методический комплекс / Т.А. Дуброва, М.Ю. Архипов; Междунар.

консорциум «Электронный ун-т» и др. – Москва: Издат. центр ЕАОИ, 2008. – 136 с.

10. Майорова, Н.Л. Методы оптимизации: учебное пособие / Н.Л. Майорова, Д.В. Глазков. – Ярослав. гос. ун-т им. П.Г. Демидова. – Ярославль: ЯрГУ, 2015. – 112 с.

11. Белов, П. Г. Управление рисками, системный анализ и моделирование в 3 ч. Часть 3 : учебник и практикум для бакалавриата и магистратуры / П. Г. Белов. – М.: Издательство Юрайт, 2019. – 272 с.

12. Белов, П. Г. Системный анализ и программно-целевой менеджмент рисков: учебник и практикум для бакалавриата и магистратуры / П. Г. Белов. – М.: Издательство Юрайт, 2019. – 289 с.

13. Белов, П. Г. Управление рисками, системный анализ и моделирование в 3 ч. Часть 2: учебник и практикум для бакалавриата и магистратуры / П.Г. Белов. – М.: Издательство Юрайт, 2019. – 250 с.

14. Белов, П. Г. Управление рисками, системный анализ и моделирование в 3 ч. Часть 1: учебник и практикум для бакалавриата и магистратуры / П.Г. Белов. – М.: Издательство Юрайт, 2019. – 211 с.

15. Браунли, К.А. Статистическая теория и методология в науке и технике / К.А. Браунли. – М.: Наука, 1977. – 408 с.

16. Бураков, М. В. Нейронные сети и нейроконтроллеры: учеб. пособие/ М. В. Бураков. – СПб.: ГУАП, 2013. – 284 с.

17. Вентцель, Е.С. Исследование операций / Е.С. Вентцель. – М.: Советское радио, 1972. – 660 с.

18. Вентцель, Е.С. Исследование операций. Задачи, принципы, методология / Е.С. Вентцель. – М.: Высш. школа, 2001. – 208 с.

19. Вентцель, Е.С. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения / Е.С. Вентцель, Л.А Овчаров. – М.: Высш. школа, 2007. – 479 с.

20. Воронцовский, А. В. Оценка рисков: учебник и практикум для бакалавриата и магистратуры / А. В. Воронцовский. – М.: Издательство Юрайт, 2019. – 179 с.
21. Воронцовский, А. В. Управление рисками: учебник и практикум для бакалавриата и магистратуры / А. В. Воронцовский. – М.: Издательство Юрайт, 2019. – 414 с.
22. Вяткин, В. Н. Риск-менеджмент: учебник / В. Н. Вяткин, В. А. Гамза, Ф. В. Маевский. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство Юрайт, 2019. – 365 с.
23. Гершман, М. А. Программы инновационного развития компаний с государственным участием: первые итоги / М.А. Гершман. – Форсайт. – 2013. – Т. 7. – № 1. – с. 28-43
24. Гефан Г.Д. Марковские процессы и системы массового обслуживания / Г.Д. Гефан. – Иркутск: ИрГУПС, 2008. – 78 с.
25. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика/ В.Е. Гмурман. – М.: Высшая школа, 1998. – 479 с.
26. Гэлаи, Д. Основы риск-менеджмента / Д. Гэлаи, М. Кроуи, В. Б. Минасян, Р. Марк. – М.: Издательство Юрайт, 2019. – 390 с.
27. Джулли, А. Библиотека Keras – инструмент глубокого обучения. Реализация Нейронных сетей с помощью библиотек: Theano и TensorFlow: Пер. с англ. /А. Джулли, С. Пал// М.: ДМК Пресс, 2018. – 294 с.
28. Жуковский, В. И. Оценка рисков и многошаговые позиционные конфликты: учеб. пособие для вузов / В.И. Жуковский, М.Е. Салуквадзе. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство Юрайт, 2019. – 305 с.
29. Захаров, М.Н. Ситуации инженерно-экономического анализа / М.Н. Захаров, И.Н. Омельченко, А.С. Саркисов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. – 430 с.

30. Климов, В.Н. К 492 Современные авиационные конструкционные сплавы: учеб. пособие / В.Н. Климов, Д.М. Козлов. – Самара: Изд-во Самарского университета, 2017. – 40 с.

31. Касьяненко, Т. Г. Анализ и оценка рисков в бизнесе: учебник и практикум для академического бакалавриата / Т.Г. Касьяненко, Г.А. Маховикова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство Юрайт, 2019. – 381 с.

32. Матвеева, Л.Г. Управление инвестиционными проектами в условиях риска и неопределенности: учеб. пособие для бакалавриата и магистратуры / Л.Г. Матвеева, А.Ю. Никитаева, О.А. Чернова, Е.Ф. Щипанов. – М.: Издательство Юрайт, 2019. – 298 с.

33. Матвеевский, В.Р. Надежность технических систем: Учеб пособие / В.Р.Матвеевский; М-во образования Рос. Федерации. Моск. гос. ин-т электроники и математики (Техн.ун-т). - М.: Моск.гос.ин-т электроники и математики, 2003 (ООП ин-та). – 113 с.

34. Никаноров, С.П. Введение в концептуальное проектирование АСУ анализ и синтез структур / С.П. Никаноров, Н.К. Никитина, А.Г. Теслинов. – М.: РВСН, 1995. – 234 с.

35. Перова, В.И. Разработка алгоритмов для решения задач на ЭВМ: Учебное пособие. / В.И. Перова, Т.А. Сабаева, Д.Т. Чекмарев. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2015. – 136 с.

36. Пименов, Н. А. Управление финансовыми рисками в системе экономической безопасности: учебник и практикум для академического бакалавриата / Н. А. Пименов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство Юрайт, 2019. – 326 с.

37. Прохоров, А. Научный редактор профессор Боровков А. Цифровой двойник. Анализ, тренды, мировой опыт. / А. Прохоров, М. Лысачев – Издание первое, исправленное и дополненное. – М.: ООО "АльянсПринт", 2020. – 401 стр.

38. Рутковская, Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы нечеткие системы: Пер. с польского / Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский. – М.: Горячая линия Телеком, 2006. – 452 с.
39. Рягин, Ю. И. Рискология в 2 ч. Часть 1: учебник для вузов / Ю. И. Рягин. – М.: Издательство Юрайт, 2019. – 255 с.
40. Рягин, Ю. И. Рискология в 2 ч. Часть 2: учебник для вузов / Ю. И. Рягин. – М.: Издательство Юрайт, 2019. – 275 с.
41. Саати, Т.Л. Элементы теории массового обслуживания и ее приложения / Т.Л. Саати. – М.: Советское радио, 1971. – 520 с.
42. Садчиков, И.А. Экономика отрасли. Конспект лекций – Санкт-Петербург, ИНЖЭКОН, 2008. – 146 с.
43. Соболев, И.М. Численные методы Монте-Карло / И.М. Соболев. – М.: Наука, 1973. – 311 с.
44. Тарик, Р. Создаем нейронную сеть: Пер. с англ. / Р. Тарик // СПб.:ООО «Альфа-книга», 2017. – 272 с.
45. Толстых, О.Д. Цепи Маркова. Системы массового обслуживания / О.Д. Толстых. – Иркутск: Изд-во ИрИИТ, 1999. – 204 с.
46. Теслинов, А.Г. Концептуальное проектирование сложных решений / А.Г. Теслинов. – СПб: “Питер”, 2009. – 288 с.
47. Хайкин, С. Нейронные сети: Полный курс: Пер. с англ. / С. Хайкин. – М.: Вильямс, 2006. – 1104 с.
48. Хоминич, И.П. Финансы организаций: управление финансовыми рисками: учебник и практикум для СПО / И.П. Хоминич [и др.]; под ред. И.П. Хоминич, И.В. Пещанской. – М.: Издательство Юрайт, 2019. – 345 с.
49. Хоминич, И.П. Управление финансовыми рисками: учебник и практикум для бакалавриата и магистратуры / И.П. Хоминич [и др.]; под ред. И.П. Хоминич, И.В. Пещанской. – М.: Издательство Юрайт, 2019. – 345 с.
50. Чернов, В.П. Теория массового обслуживания / В.П. Чернов, В.Б. Ивановский. – М.: Инфра-М, 1998. – 158 с.

51. Шмойлова, Р. А. Общая теория статистики: Учебник. – М.: Финансы и статистика, 2002 – 456 с.

Статьи

52. Аристов, С.А. Системный подход к управлению процессами региональной интеграции / С.А. Аристов, С.В. Никитенкова // Вестник челябинского государственного университета. – 2010. – №26. – с. 100-104.

53. Бобков, И.А. Разработка нейросетевого фильтра для системы анализа новостных заголовков как подсистемы экономической безопасности предприятия авиационной промышленности / И.А. Бобков, А.А. Бурдина, А.А. Нехрест-Бобкова // РИСК: Ресурсы, Информация, Снабжение, Конкуренция. – 2023. – № 1. – с. 69-74.

54. Бобков, И.А. Прогнозирование налоговых платежей на основе нейросетевого моделирования / И.А. Бобков, А.А. Бурдина, А.А. Нехрест-Бобкова // РИСК: Ресурсы, Информация, Снабжение, Конкуренция. – 2023. – № 2. – с. 138-143.

55. Бобков, И.А. Моделирование неопределенности при помощи нейронных сетей / И.А. Бобков, А.А. Бурдина, А.А. Нехрест-Бобкова // *Arg Administrandi* (Искусство управления). – 2023. – Т. 15. № 1. – с. 45-59.

56. Бобков, И.А. Экономический инструментальный анализа цифровых двойников инновационной продукции авиастроения / И.А. Бобков // Прогрессивная экономика. – 2023. – № 11.

57. Бобков, И.А. Механизм управления разработкой инновационной продукции авиастроения / И.А. Бобков // Экономика и предпринимательство. – 2023. – № 9.

58. Бобков, И.А. Методический подход к экономическому обоснованию целесообразности формирования цифровых двойников БПЛА / И.А. Бобков // РИСК: Ресурсы, Информация, Снабжение, Конкуренция. – 2023. – № 4.

59. Бобков, И.А. Формирование оптимального цифрового двойника

инновационных сплавов и композитных материалов на основе нейросетевого моделирования/ А.А. Бурдина, И.А. Бобков, С.С. Бурдин, А.А. Нехрест-Бобкова // СТИН – 2023. – № 9.

60. Бобков, И.А. Прогнозирование налоговых платежей на основе нейросетевого моделирования / И.А. Бобков, А.А. Бурдина, А.А. Нехрест-Бобкова /// РИСК: Ресурсы, Информация, Снабжение, Конкуренция. – 2023. – № 2. – с. 138-143.

61. Бобков, И.А., Разработка нейросетевого фильтра для системы анализа новостных заголовков как подсистемы экономической безопасности предприятия авиационной промышленности / И.А. Бобков, А.А. Бурдина, А.А. Нехрест-Бобкова // РИСК: Ресурсы, Информация, Снабжение, Конкуренция. – 2023. – № 1. – с. 69-74.

62. Бобков, И.А. Перспективы использования технологий искусственного интеллекта для анализа новостных заголовков с целью прогнозирования / И.А. Бобков, А.А. Бурдина, А.А. Нехрест-Бобкова // Социальные и экономические системы – 2022. – №6-4 (33). – с. 263-279.

63. Бурдина, А.А., Оптимизация себестоимости производства крыла летательного аппарата при помощи нейронных сетей / А.А. Бурдина, И.А. Бобков, А.А. Нехрест-Бобкова // Экономика и предпринимательство – 2022. – № 12 (149). – с. 674-677.

64. Владычек, В.С. Вопросы обеспечения экономической безопасности предприятия авиационной промышленности // Вестник Университета. – 2014. – №21. – с. 71-76.

65. Давыдов, А.Д. Способ выбора приоритетных направлений фундаментальных и поисковых исследований / А.Д. Давыдов, Е.В. Дианова, В.В. Хмелевой // Вестник Московского авиационного института – № 4(23) – 2016. – с. 195-203

66. Измалков, С. Теория экономических механизмов / С. Измалков, К. Сонин, М. Юдкевич // Вопросы экономики. – 2008. – № 1. – с. 4–26

67. Каблов, Е.Н. Материалы нового поколения и цифровые технологии их переработки / Е.Н. Каблов // Вестник Российской академии наук. – 2020. – Т. 90. № 4. – с.331-334.
68. Каблов, Е.Н. ВИАМ: Материалы нового поколения для ПД-14 / Е.Н. Каблов// Крылья Родины. –2019. – № 7-8. – с. 54-58.
69. Каблов, Е.Н. Инновационные разработки ФГУП "ВИАМ" ГНЦ РФ по реализации "Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года" / Е.Н. Каблов // Авиационные материалы и технологии. – 2015. – № 1 (34). – с. 3-33.
70. Куприн, И.Л Модульная стратегия развития – системноэкономическая концепция интенсификации развития высокотехнологичных комплексов / И.Л. Куприн, А.Д. Давыдов, С.Н. Селиванов // Вестник Московского государственного областного университета. Серия Экономика. – № 1. – 2012. – с. 78-85.
71. Куприн, И.Л Опорные тенденции в развитии трансформируемых высокотехнологичных комплексов / И.Л. Куприн, А.Д. Давыдов, Ю.А.Теплов // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. № 46. – 2013 – с. 20-30.
72. Kulikova, N.N. Planning of technological development of new products and its impact on the economic performance of the enterprise / N.N. Kulikova, V.M. Smolentsev, A.I. Tikhonov, V.S. Kireev, V.A. Dikareva // International Journal of Economics and Financial Issues. – 6 (8S). – 2016. – p. 213-219.
73. Konovalov, V.B. Marketing planning in industrial enterprises in the context of import substitution strategy / V.B. Konovalo, A.I. Tikhonov, V.A. Fursov, O.V. Sogachev., N.V. Ryanova // International Journal of Applied Business and Economic Research. 15 (12) – 2017. – p. 171-182.
74. Малая, Е.В. Композиционные материалы в современной авиации / Малая Е. В., Саввин А. И. // Актуальные исследования. – 2022. – №49 (128). – с. 60-65
75. Nehrest, A.A Development of Optimization Model of Budget Allocation for Promotion of Unmanned Aerial Vehicles / A.A. Nehrest, A.A. Burdina, M.N.

Kaloshina, E.T. Manaenkova, T.M. Rogulenko // *International Journal of Engineering & Technology* – Vol.7. Iss.4.38 – 2019 – p. 91-95.

76. Nekhrest, A.A. Stationary Time Series in Pricing International / A.A. Burdina, A.A. Nekhrest, Y.N. Frolov, Y.T. Manayenkova // *Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJTEE)* – Vol.8 Iss.10 – 2019 – p. 2268-2272

77. Нехрест-Бобкова, А.А. Совершенствование процедуры контроллинга финансового результата с помощью нейросетевого моделирования / А.А. Нехрест-Бобкова, А.А. Бурдина, Н.Н. Геращенко // *Экономика и предпринимательство* – № 6 – 2019. – с. 703-709.

78. Нехрест-Бобкова, А.А. Механизм оценки эффективности инновационных проектов на основе нейросетевых технологий / А.А. Нехрест-Бобкова, А.А. Бурдина // *РИСК: Ресурсы, Информация, Снабжение, Конкуренция* – №2/2020. – 2020. – с. 44-50.

79. Nekhrest-Bobkova, A.A., Neural network technologies in digitalization of the aviation industry / A.A. Nekhrest-Bobkova, E.S. Burdina // *Сборник тезисов докладов 18-ой Международной конференции «Авиация и космонавтика – 2019»* М.: Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет). – 2019. – с. 578.

80. Рымкевич, В. В. Неопределенность в экономике и формы ее проявления / В.В. Рымкевич // *Вестник Белорусского государственного экономического университета*. – 1999. – № 4. – с. 46-52.

81. Тимошков, П.Н. Особенности технологии и полимерные композиционные материалы для изготовления крыльев перспективных самолетов (обзор) / П.Н. Тимошков, В.А. Гончаров, М.Н. Усачева, А.В. Хрульков // *Труды ВИАМ*. – 2022. – №1 (107). – с. 66–75

82. Tikhonov, A.I. The use of networking in staff recruitment: recommendations and referral programs. *Amazonia Investiga*. 8 (19). – 2019. – p. 521 - 528.

83. Tikhonov, A.I. Modern Organization Effective Functioning Evaluation / A.I. Tikhonov, S.V. Novikov/ Quality-Access to Success – № 178. – 2020 – P. 3-6.

84. Fedotova, M.A. Estimating the Effectiveness of Personnel Management at Aviation Enterprises / M.A. Fedotova, A. I. Tikhonov, S.V. Novikov // Russian Engineering Research. 38 (6) – 2018. – P. 466-468.

Диссертации

85. Нехрест-Бобкова, А.А. Механизм комплексной оценки риска аварийной ситуации на предприятии нефтегазовой предприятия // дис. ... канд. эконом. наук: 08.00.05 / Нехрест-Бобкова Анна Александровна; [Место защиты: Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»]. – Москва, 2021. – 187с.

86. Науменко, Е.Е. Управление устойчивым развитием предприятия // дис. ... канд. эконом. наук: 08.00.05 / Науменко Егор Евгеньевич; [Место защиты: С.-Петерб. гос. ун-т экономики и финансов]. – Санкт-Петербург, 2009. – 165 с.

87. Ильин, Е.С. Интеллектуальная система анализа данных на основе нейронных сетей // дисс. ... канд. техн. наук 05.13.01 / Ильин Евгений Сергеевич [Место защиты: Сиб. аэрокосм. акад. им. акад. М.Ф. Решетнева]. – Красноярск, 2004. – 174с.

88. Гилев, С.Е. Обучение нейронных сетей: Методы, алгоритмы, тестовые испытания // дисс. ... канд. физ. мат. наук 05.13.16 / Гилев Сергей Евгеньевич [Место защиты: Калининградский государственный технический университет]. – Калининград, 1997. – 187с.

Электронные ресурсы

89. Официальный сайт Министерства финансов Российской Федерации. Ежеквартальная информация об исполнении федерального бюджета (данные с 1 января 2011 г.) [Электронный ресурс] – Режим доступа:

<https://www.minfin.ru/ru/statistics/fedbud/execute/##ixzz55mUZyICg>

90. Финансово-экономическая энциклопедия [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://discovered.com.ua/risk/ekologicheskij-risk/>

91. Официальный сайт Министерства экономического развития Российской Федерации. Методические указания по разработке (актуализации) программ инновационного развития акционерных обществ с государственным участием, государственных корпораций и федеральных государственных унитарных предприятий [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://economy.gov.ru/minec/about/structure/depino/201507035473>

92. Официальный сайт Федеральной службы государственной статистики [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://rosstat.gov.ru/>

93. Официальный сайт Минпромторга России. Государственная программа Российской Федерации «Развитие авиационной промышленности» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.minpromtorg.gov.ru>.

94. Официальный сайт Правительства России. Стратегия развития авиатранспортной отрасли Российской Федерации на период до 2030 года. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.government.ru>.




95. Холодкова К.С. Анализ подходов к определению сущности организационно-экономического механизма управления // Современные научные исследования и инновации. 2016. № 5 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://web.snauka.ru/issues/2016/05/66404>

96. Воронцов, К.В. Математические методы обучения по прецедентам (теория обучения машин) [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.ccas.ru/voron>

97. Паршин М.А., Круглов Д.А. Переход России к шестому технологическому укладу: возможности и риски // Современные научные исследования и инновации. 2014. № 5. Ч. 2 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://web.snauka.ru/issues/2014/05/33059>




ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица А.1. Характеристики БПЛА вертолетного типа

	КБ «Искатель», Россия	«Eastern Green Garden Plant Protection Machinery» Китай	«AutoCopter Corporation», США
			
	Ворон-500	3WFD-10	AutoCopter
Продолжительность полета, ч	4	15	8
Масса полезной нагрузки, кг	10	8	3
Максимальная взлетная масса, кг	40	30	10
Диапазон скоростей полета, км/ч	0-70	0-100	0-60
Крейсерская скорость, км/ч	50	70	40
Максимальная высота полета, м	2100	1200	1500
Силовая установка	поршневой ДВС	поршневой ДВС	поршневой ДВС
Топливо	Бензин АИ-92	Бензин АИ-92	Бензин АИ-92
Скорость ветра, м/с	7	5	2
Материалы производства	Алюминиевые сплавы, углепластик, стекловолокно	Алюм. сплавы, углепласт, стекловолокно	Алюм. сплавы, углепл., стекловол.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Таблица Б.1. Характеристики БПЛА коптерного типа

	АО «Беспилотные технологии», Россия	«DJI Technology» Китай	« CyPhy Works», США
			
	ДМ-01	DJI Matrice 300 RTK	CyPhy PARC
Продолжительность полета, ч	1	3	2
Масса полезной нагрузки, кг	20	2.5	5
Максимальная взлетная масса, кг	40	6	15
Диапазон скоростей полета, км/ч	0-20	0-12	0-55
Крейсерская скорость, км/ч	10	7	40
Максимальная высота полета, м	1000	7000	3050
Силовая установка	электродвигатель	электродвигатель	электродвигатель
Топливо	---	---	---
Допустимая скорость ветра, м/с	7	2	2
Материалы производства	Алюминиевые сплавы, углепластик	Алюминиевые сплавы, углепластик	Алюминиевые сплавы, углепластик

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Таблица В.1. База данных о материалах компонент БПЛА

Модель БПЛА	Фюзеляж				Крыло										Оперение				
	Усиленные стрингеры	Усиленные шпангоуты	Лонжроны	Обшивка	Носовая часть	Задний лонжерон	Передний лонжерон	Верхняя панель кессона	Верхняя панель хвост. части	Концевой обтекатель	Элерон	Закрылок	Нижняя панель хвост. части	Кессонная и хвостовая часть кессона	Передний лонжерон	Обшивка	Концевой обтекатель	Задний лонжерон	Нервюра
Акула А175	9	17	18	6	5	9	14	20	15	15	5	8	19	11	4	12	18	14	8
Альгаир	12	14	19	5	16	1	4	10	16	2	15	19	13	8	7	13	18	15	8
Аэрокон ИНСПЕКТОР-601	14	16	17	2	8	13	19	4	3	5	17	11	3	4	9	1	15	6	4
СУПЕРКАМ S250	11	13	17	5	6	1	9	6	17	2	4	9	14	11	7	15	19	16	14
Гамма	16	11	17	20	17	15	17	4	12	18	5	7	2	18	3	6	4	14	17
Геоскан-201	6	2	9	14	7	10	11	1	16	5	4	19	16	1	13	16	3	11	13
Грифон-02	17	7	17	2	1	9	7	12	9	11	7	4	9	9	10	12	18	14	20
ИРКУТ-850	6	1	5	7	8	19	14	11	15	12	10	7	18	8	2	4	19	4	16
Иркут DA-42	7	6	15	18	13	8	9	5	16	10	11	18	20	18	5	15	1	2	3
Кайра-2	17	17	16	20	4	16	2	15	6	20	9	12	11	16	16	4	11	19	3
ПП-45	16	17	17	6	19	14	17	4	9	6	20	16	8	2	10	13	7	9	6
Орлан-30	17	12	13	3	15	16	8	11	6	19	13	17	10	15	6	1	5	11	5
Supercam S-240	12	19	2	1	11	15	1	6	19	3	14	19	8	14	17	7	7	5	7
Supercam S-350	15	11	5	3	11	2	9	11	1	20	12	14	5	17	19	10	4	14	20
AeroVironment Quantix	17	4	16	17	10	8	14	2	9	7	5	10	1	11	16	4	17	6	15
Aero Telemetry XF-11	14	1	15	18	9	5	7	20	10	9	3	6	8	1	7	1	10	17	10
ArcticShark	19	12	20	4	4	17	15	11	12	8	16	7	19	17	11	2	7	16	3
CAG Manta Ray	4	5	9	20	14	15	4	17	18	20	18	14	12	8	18	6	11	1	20

Источник: составлено автором

ПРИЛОЖЕНИЕ Г





Таблица Г.1. Характеристики материалов авиастроения

Название	Тип	Плотность г/см ³	Предел выносливости МПа	Предел прочности при растяжении МПа	Модуль прочности при растяжении ГПа	Теплопроводность Вт/(м·К)	Сопrotивление усталостному разрушению	Удельная прочность МПа	Кoэфф. Линейного температурного расширения К ⁻¹ (-1)
СТ-69Н(М)	Стеклопластик	7,8	700	550	190	25	0,86	70	14·10 ⁻⁶
G10	Стеклопластик	1,8	250	300	35	0,3	0,25	170	14·10 ⁻⁶
ВПС-33	Стеклопластик	2,7	350	450	45	140	0,4	165	24·10 ⁻⁶
ВПС-34	Стеклопластик	2,8	370	470	50	150	0,45	170	24·10 ⁻⁶
T-10-14(80)	Стеклопластик	7,9	690	550	190	25	0,05	70	14·10 ⁻⁶
T-10(ВМП)-14	Стеклопластик	7,8	550	400	150	20	0,46	50	14·10 ⁻⁶
T-15(П)-76	Стеклопластик	8,9	500	400	150	30	0,9	45	12·10 ⁻⁶
ВПС-48/120	Стеклопластик	2,3	150	200	9	0,4	0,17	85	20·10 ⁻⁶
ВПС-31	Стеклопластик	2	110	160	8	0,3	0,19	80	12·10 ⁻⁶
СТП-97с	Стеклопластик	7,9	600	550	200	25	0,98	70	15·10 ⁻⁶
СТП-97к	Стеклопластик	7,9	650	600	210	25	0,03	75	15·10 ⁻⁶
МСТ-10П	Стеклопластик	2,7	280	350	70	35	0,92	130	25·10 ⁻⁶
МСТ-5	Стеклопластик	2,7	310	370	75	35	1	140	25·10 ⁻⁶
ВКУ-29/ВТКУ-3	Углепластик	8,2	700	650	230	30	0,89	80	14·10 ⁻⁶
ВКУ-39/ВТКУ-2.2	Углепластик	8,2	750	700	240	30	0,03	85	14·10 ⁻⁶
Кевлар-49	Полиамид	1,44	2800	3800	125	0,04	0,05	2350	2,5·10 ⁻⁶
1965-1	Деф. ал. сплав	2,7	190	310	70	150	0,76	115	23·10 ⁻⁶
В95	Деф. ал. сплав	8,44	280	400	105	120	0,95	80	19·10 ⁻⁶
1933-T2/T3	Деф. ал. сплав	2,78	200	310	73	180	0,88	110	24·10 ⁻⁶
В-1963	Деф. ал. сплав	8,8	210	500	120	70	0,75	60	18·10 ⁻⁶
14206 АК4-2ч.	Деф. ал. сплав	2,68	200	300	75	180	0,87	110	23·10 ⁻⁶
Д20	Деф. ал. сплав	2,7	70	180	70	190	0,68	190	24·10 ⁻⁶
АМг2	Деф. ал. сплав	2,7	90	200	70	130	0,69	140	24·10 ⁻⁶
АМг3	Деф. ал. сплав	2,7	110	230	90	130	0,98	150	24·10 ⁻⁶
АМг6	Деф. ал. сплав	2,7	230	280	70	180	0	280	24·10 ⁻⁶
1913 (В91п.ч.)-Т3	Деф. ал. сплав	2,8	170	370	70	140	0,12	240	24·10 ⁻⁶
В-1341-Т(Т1)	Деф. ал. сплав	8,9	200	210	120	400	0,2	220	18·10 ⁻⁶
МА14	Деф. магн. сплав	2,7	250	230	70	110	0,22	85	23·10 ⁻⁶
МА18	Деф. магн. сплав	2,7	250	240	70	130	0,02	90	23·10 ⁻⁶
МА20	Деф. магн. сплав	2,7	200	190	65	130	0,07	70	23·10 ⁻⁶
МА21	Деф. магн. сплав	2,7	240	310	70	140	0,17	110	22·10 ⁻⁶
ВАЛ12	Лит. ал. сплав	2,8	200	290	70	130	0,35	100	23·10 ⁻⁶






Продолжение таблицы Г.1.

Название	Тип	Плотность г/см ³	Предел выносливости МПа	Предел прочности при растяжении МПа	Модуль прочности при растяжении ГПа	Теплопроводность Вт/(м·К)	Сопротивление усталостному разрушению	Удельная прочность МПа	Кoeff. Линейного температурного расширения К [^] (-1)
ВАЛ14	Лит. ал. сплав	2,8	260	320	75	160	0,43	115	23·10 ⁻⁶
МЛ9-Т6	Лит. магн. сплав	1,8	200	260	45	80	0,91	145	25·10 ⁻⁶
МЛ10-Т6	Лит. магн. сплав	1,8	220	280	45	85	0,42	155	25·10 ⁻⁶
МЛ19-Т6	Лит. магн. сплав	1,8	240	300	45	90	0,86	170	25·10 ⁻⁶
ВКС-9	Сталь	8,9	400	600	110	20	0,15	60	16·10 ⁻⁶
ЭП 817	Сталь	1,8	300	400	25	0,2	0,11	220	15·10 ⁻⁶
СН - 2А	Сталь	2,7	280	340	70	150	0,96	130	24·10 ⁻⁶
ВНС-53	Сталь	8,2	500	850	210	10	0,51	100	13·10 ⁻⁶
ВТ20	Тит. сплав	2,7	260	310	73	160	0,72	115	23·10 ⁻⁶
ВТ23	Тит. сплав	2,7	240	290	68	160	0,22	105	23·10 ⁻⁶
ВТ5Л	Тит. сплав	2,7	180	240	70	160	0,34	90	23·10 ⁻⁶
ВТ20Л	Тит. сплав	2,7	240	310	73	160	0,18	115	23·10 ⁻⁶






ПРИЛОЖЕНИЕ Д
Таблица Д.1. Летные характеристики БПЛА

Модель БПЛА	Фото	Характеристики БПЛА								
		Вес	Грузоподъемность	Макс. Скорость	Крейсерская скорость	Дальность полета	Высота полета	Расход топлива	Тяга	Нагрузка на крыло
Акула А175		45	10	150	120	700	4,1	8,9444	92	67,3
Альтаир		4500	400	550	480	8000	7,1	49,037	77,5	28,3
Аэрокон ИНСПЕКТОР- 601		100	10	300	210	900	3	79,506	70,2	14,6
СУПЕРКАМ S250		6	1	120	75	360	0,5	90,222	11,5	17,5





Продолжение таблицы Д.1.






Модель БПЛА	Фото	Характеристики БПЛА								
		Вес	Грузоподъемность	Макс. Скорость	Крейсерская скорость	Дальность полета	Высота полета	Расход топлива	Тяга	Нагрузка на крыло
Геоскан-201		8	2	130	100	210	4	44,574	80,8	90,7
Грифон-02		4	0,5	100	80	25	2100	51,558	37,9	22,3
ИРКУТ-850		660	200	270	165	200	500	71,069	58	10,1
Иркут DA-42		1650	250	287	220	240	6000	39,556	61,5	95,8
Кайра-2		1270	230	300	200	4000	8000	71,016	6,36	65,9






Продолжение таблицы Д.1.


Модель БПЛА	Фото	Характеристики БПЛА								
		Вес	Грузоподъемность	Макс. Скорость	Крейсерская скорость	Дальность полета	Высота полета	Расход топлива	Тяга	Нагрузка на крыло
ПП-45		3,5	1	150	120	40	5100	0,3426	17,7	11,4
Орлан-30		31	12	170	150	300	4500	89,646	86,2	52,8
Supercam S-240		5	0,5	120	80	70	2100	39,339	14,8	25,1
Supercam S-350		8	2,5	120	80	70	3600	39,012	26,6	77,3
AeroVironment Quantix		4	1	70	60	40	2100	78,953	2,99	30,3

Продолжение таблицы Д.1.

Модель БПЛА	Фото	Характеристики БПЛА								
		Вес	Грузоподъемность	Макс. Скорость	Крейсерская скорость	Дальность полета	Высота полета	Расход топлива	Тяга	Нагрузка на крыло
Aero Telemetry XF-11		100	20	180	140	35	2100	20,699	89,7	76,7
ArcticShark		250	33	230	150	720	5000	39,679	56,3	6,8
CAG Manta Ray		7	2	90	60	5	350	63,628	91,9	73,7
Dara Aviation D-1G		29	5	85	60	50	1250	50,879	68,9	38,7

Модель БПЛА	Фото	Характеристики БПЛА								
		Вес	Грузоподъемность	Макс. Скорость	Крейсерская скорость	Дальность полета	Высота полета	Расход топлива	Тяга	Нагрузка на крыло
Phoenix FW120		7	2	80	100	15	200	13,949	71,3	60,5
Silent Falcon		11	3,5	90	70	100	6000	64,957	64,8	65,3
BlackStar		3,5	1,5	75	60	5	1000	60,514	79,3	5,8
Carolo P-330		3,5	1,5	110	80	65	4100	65,517	83,3	68,4
Carolo T-200		4,5	1,5	65	50	40	4600	76,288	90	76,4

Модель БПЛА	Фото	Характеристики БПЛА								
		Вес	Грузоподъемность	Макс. Скорость	Крейсерская скорость	Дальность полета	Высота полета	Расход топлива	Тяга	Нагрузка на крыло
Awing F650		220	70	135	120	250	4600	70,256	5,71	92
BMP YZ8		90	30	170	130	400	6000	6,1385	34,3	69,7
ChunyiCY-02		13	5	140	100	250	4100	25,719	99,3	38,6
NCHU G20		12	2	155	130	15	4100	1,7797	74,9	21,9
Quanhua FG55TMo		9	3	135	100	40	3100	76,608	66,3	37,5

Модель БПЛА	Фото	Характеристики БПЛА								
		Вес	Грузоподъемность	Макс. Скорость	Крейсерская скорость	Дальность полета	Высота полета	Расход топлива	Тяга	Нагрузка на крыло
RADI IRSA II		10	4	140	100	150	4100	92,576	90	3,2
XUAV Clouds		5,5	1	120	90	40	3100	98,295	39,6	7,7

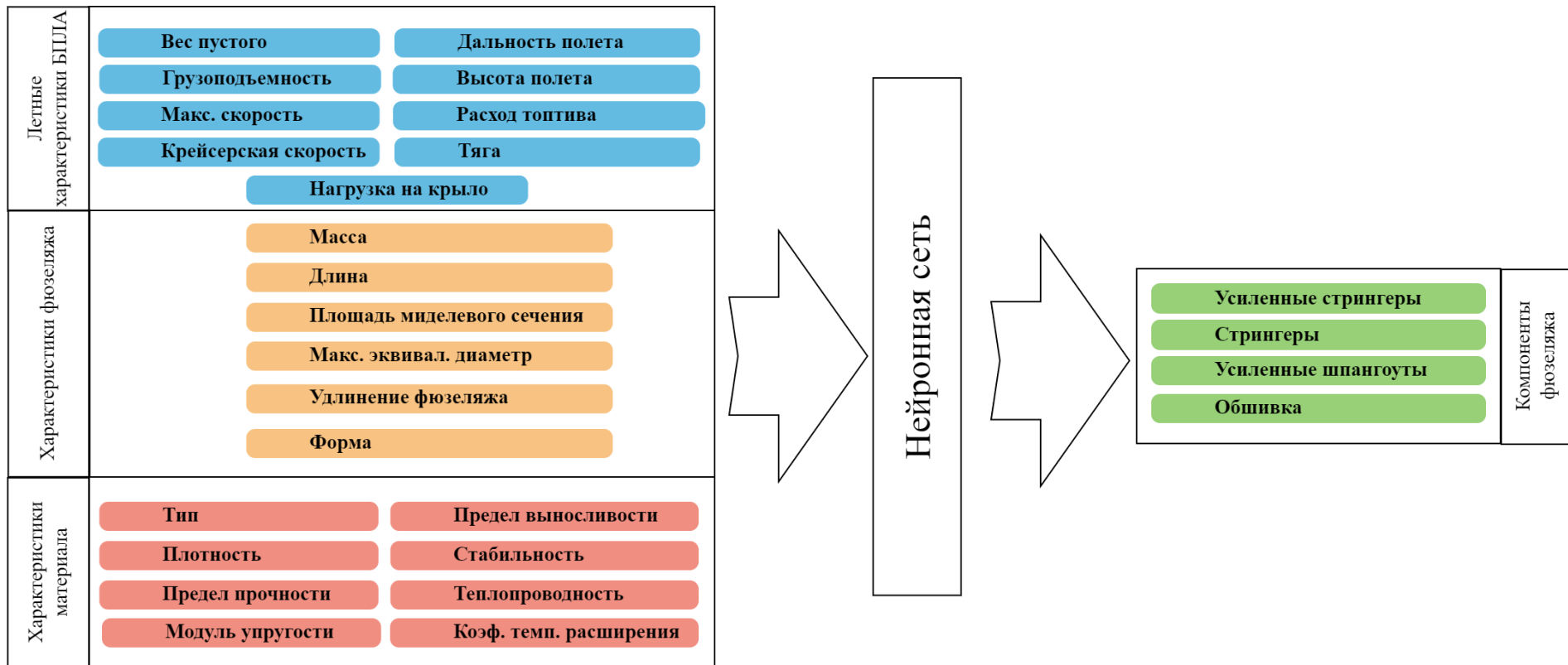
ПРИЛОЖЕНИЕ Е

Таблица Е.1. Материалы в компонентах БПЛА

Модель БПЛА	Фюзеляж				Крыло										Оперение				
	Усиленные стрингеры	Усиленные шпангоуты	Лонжероны	Обшивка	Носовая часть	Задний лонжерон	Передний лонжерон	Верхняя панель кессона	Верхняя панель хвост. части	Концевой обтекатель	Элерон	Закрылок	Нижняя панель хвост. части	Кессонная и хвостовая часть кессона	Передний лонжерон	Обшивка	Концевой обтекатель	Задний лонжерон	Нервюра
Акула А175	6	9	16	13	11	7	2	18	11	16	13	16	4	9	4	9	18	4	10
Альтаир	15	5	11	15	20	6	13	13	15	18	4	14	7	5	8	7	17	6	13
Аэрокон ИНСПЕКТОР-601	6	2	9	13	9	8	2	16	7	5	13	2	5	17	11	3	13	1	8
СУПЕРКАМ S250	8	2	16	11	11	6	18	4	18	11	8	15	10	12	5	18	12	10	20
Гамма	12	10	6	8	8	18	4	19	19	5	11	7	9	15	9	8	14	3	6
Геоскан-201	13	12	7	2	17	20	18	5	2	20	7	14	1	14	4	5	9	3	5
Грифон-02	6	10	14	15	13	4	13	2	19	7	16	16	10	12	6	1	3	18	19
ИРКУТ-850	18	11	2	16	13	2	10	3	17	10	9	17	17	15	12	1	12	16	13
Иркут DA-42	12	6	9	15	10	13	13	12	8	9	3	9	8	16	13	18	3	7	2
Кайра-2	10	18	4	16	10	7	14	4	12	6	5	6	20	16	1	1	5	5	15
ПП-45	8	16	18	14	10	7	4	6	18	11	15	5	6	8	10	16	12	6	15
Орлан-30	18	18	6	10	19	1	12	3	4	8	15	7	3	6	19	20	17	8	20
Supercam S-240	18	12	10	9	15	8	13	11	11	1	20	18	6	11	5	2	3	16	1
Supercam S-350	12	16	2	7	19	12	10	15	5	14	11	6	18	20	14	8	6	9	8
AeroVironment Quantix	12	11	10	10	4	3	7	12	20	15	2	17	4	6	18	1	14	6	5

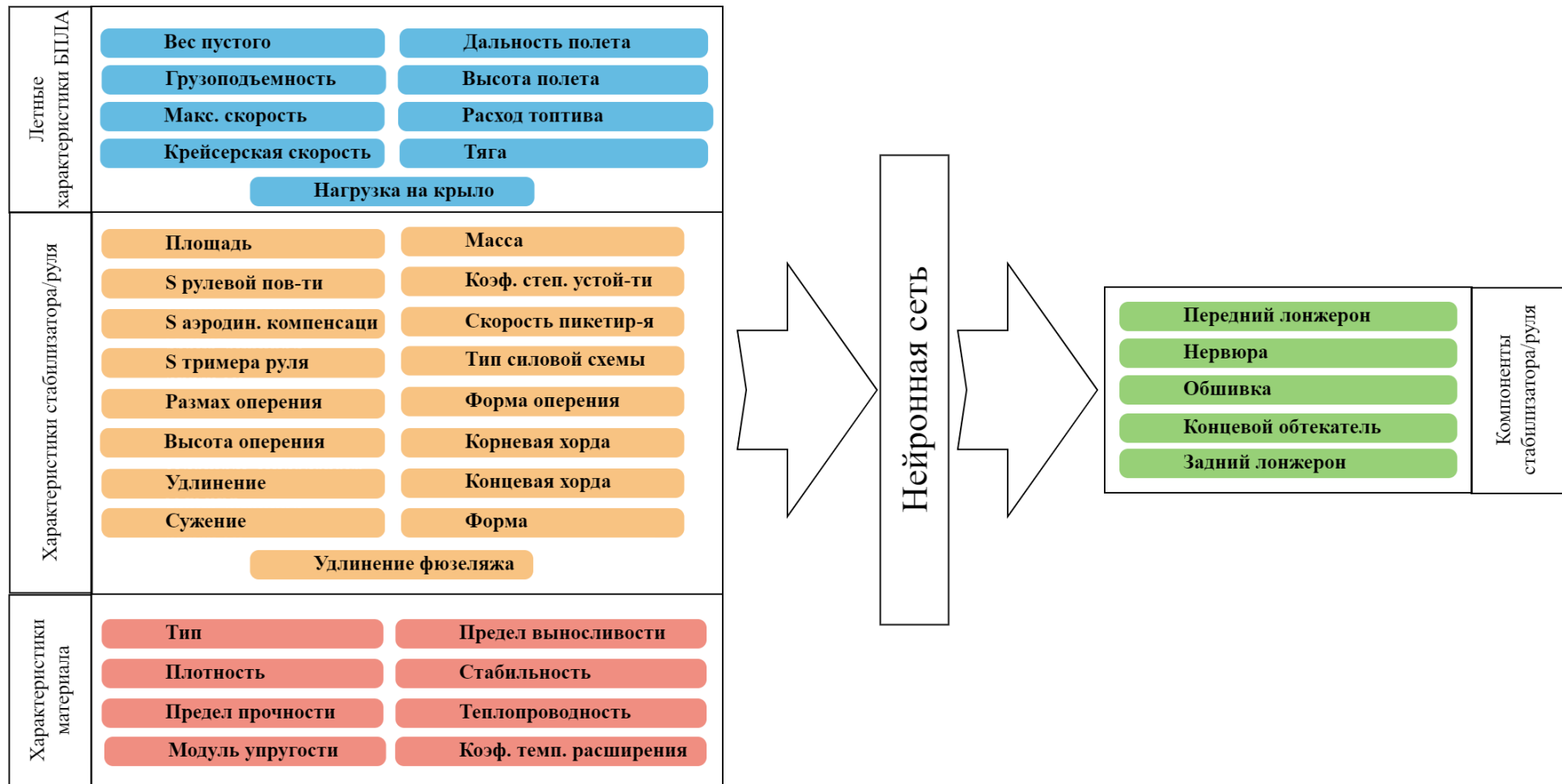
Продолжение таблицы Е.1.

Модель БПЛА	Фюзеляж				Крыло										Оперение				
	Усиленные стойгеры	Усиленные шпангоуты	Лонжероны	Обшивка	Носовая часть	Задний лонжерон	Передний лонжерон	Верхняя панель кессона	Верхняя панель хвост. части	Концевой обтекатель	Элерон	Закрылок	Нижняя панель хвост. части	Кессонная и хвостовая часть кессона	Передний лонжерон	Обшивка	Концевой обтекатель	Задний лонжерон	Нервюра
Aero Telemetry XF-11	10	1	8	20	17	20	17	2	6	16	19	3	12	14	18	7	7	16	20
ArcticShark	12	20	9	11	2	5	6	4	10	4	17	18	17	17	13	4	12	9	1
CAG Manta Ray	8	7	20	10	14	6	6	5	18	8	5	14	4	3	19	6	4	14	15
Dara Aviation D-1G	13	9	8	1	3	9	16	5	2	19	3	6	7	2	13	11	7	7	18
Phoenix FW120	15	1	15	8	16	9	20	6	19	10	20	4	7	16	7	1	20	10	19
Silent Falcon	17	7	17	15	13	12	15	20	4	18	16	8	7	12	14	2	13	14	9
BlackStar	18	12	1	20	6	15	19	4	5	10	7	4	1	6	7	8	6	16	16
Carolo P-330	12	9	2	14	4	2	15	10	18	13	11	4	6	1	14	8	9	15	5
Carolo T-200	18	5	1	8	4	19	10	4	11	20	3	12	17	11	14	9	11	13	8
Awing F650	15	15	18	3	6	2	16	1	11	2	16	19	18	14	7	17	14	14	17
BMP YZ8	7	16	9	9	15	9	11	8	1	4	3	15	9	12	7	5	16	2	20
ChunyiCY-0	9	6	1	11	13	14	10	4	15	9	4	18	8	16	13	15	1	3	12
NCHU G20	14	17	1	18	9	5	7	12	8	15	3	18	8	11	7	16	16	6	13
Quanhua FG55TMo	16	2	8	1	14	10	1	9	4	6	1	6	18	5	9	7	2	13	15
RADI IRSA II	5	3	2	9	13	1	3	17	19	14	19	8	9	20	17	13	3	15	2
XUAV Clouds	3	2	18	3	18	9	15	14	1	14	4	12	20	19	12	11	9	17	2



Источник: составлено автором

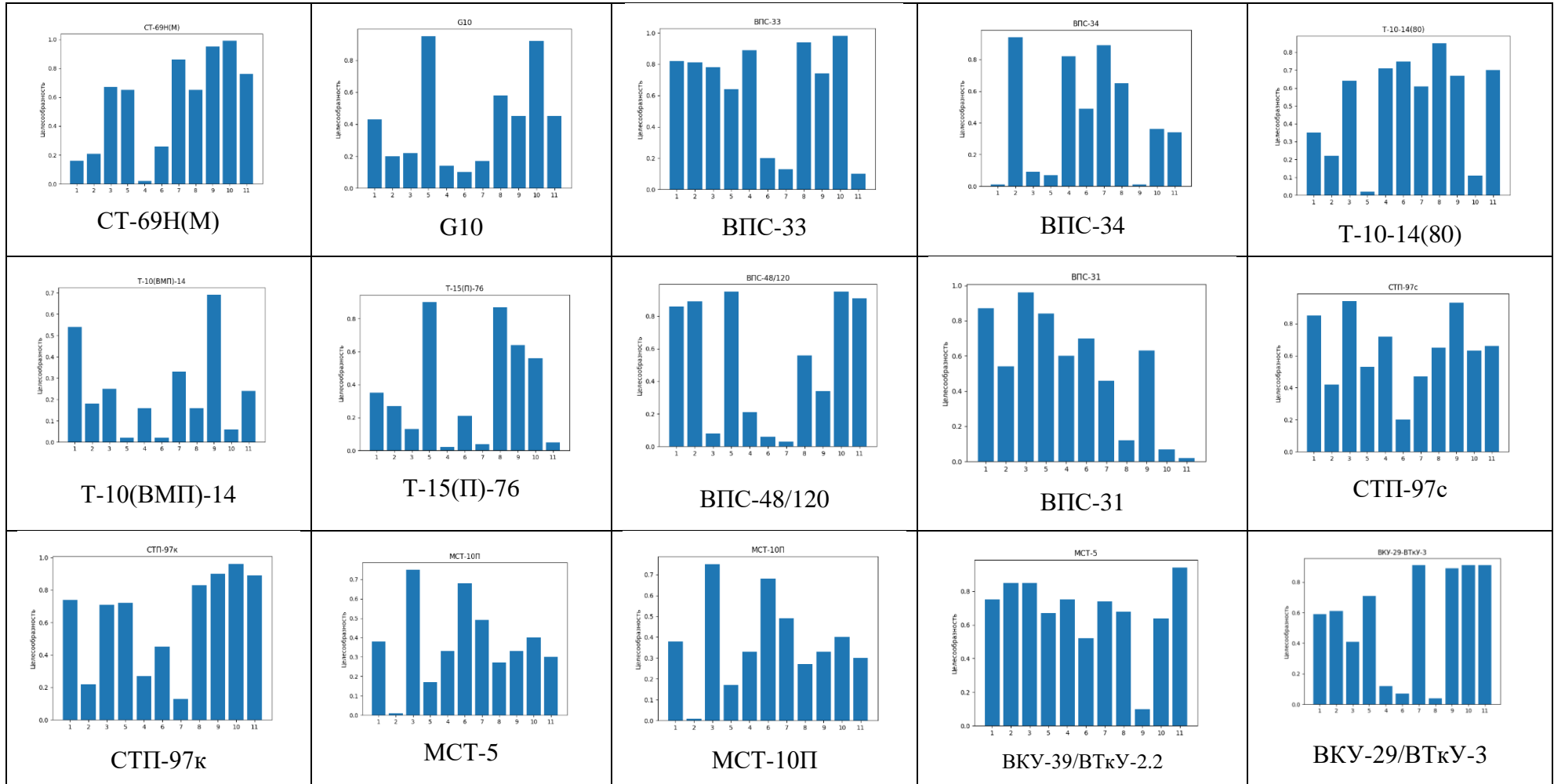
Рисунок Ж.1. Структура вектора входных данных НС формирования ЦД фюзеляжа

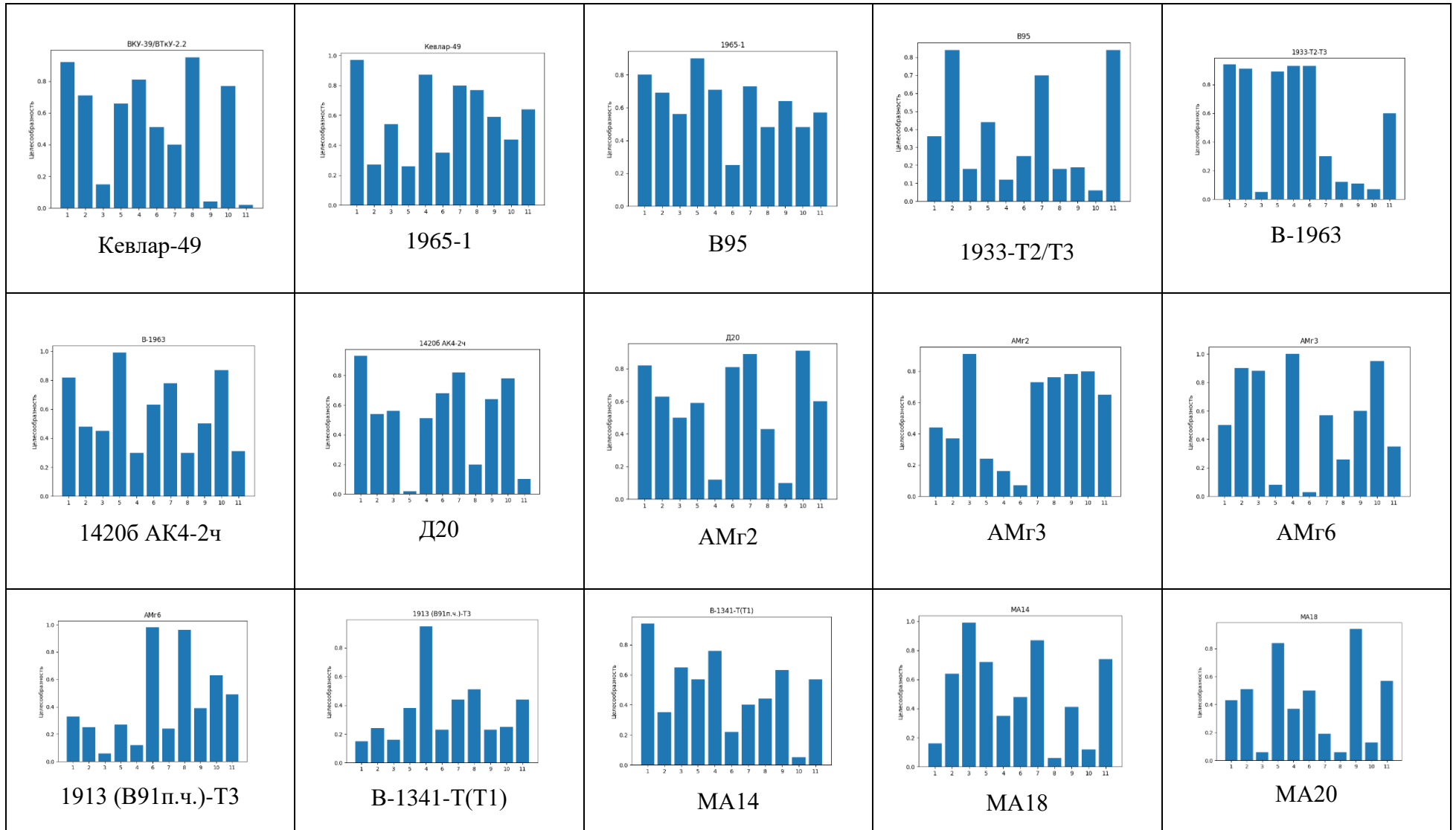


Источник: составлено автором

Рисунок И.1. Структура вектора входных данных НС формирования ЦД фюзеляжа

ПРИЛОЖЕНИЕ К
Таблица К.1. Формирование ЦД крыла БПЛА

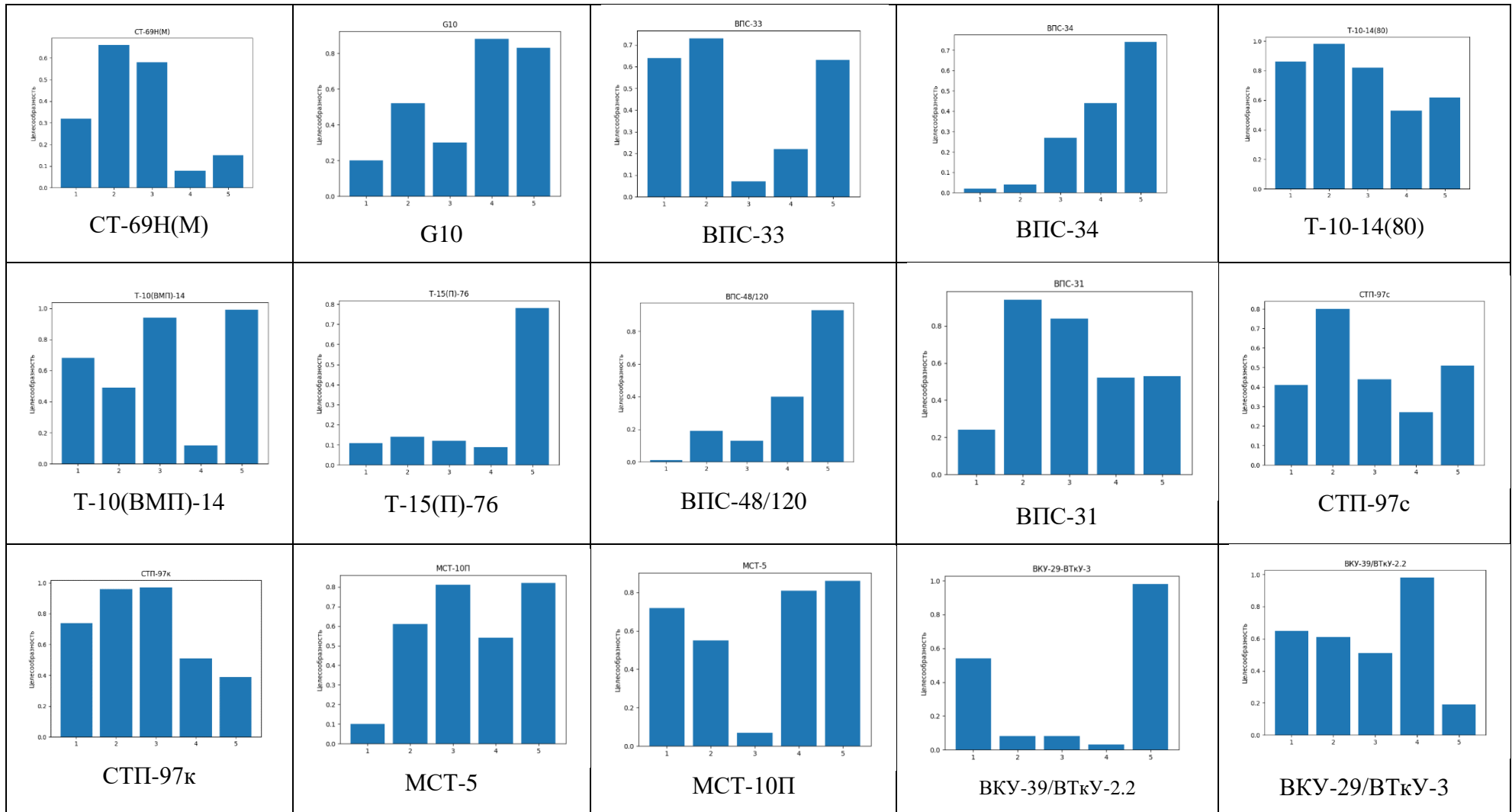


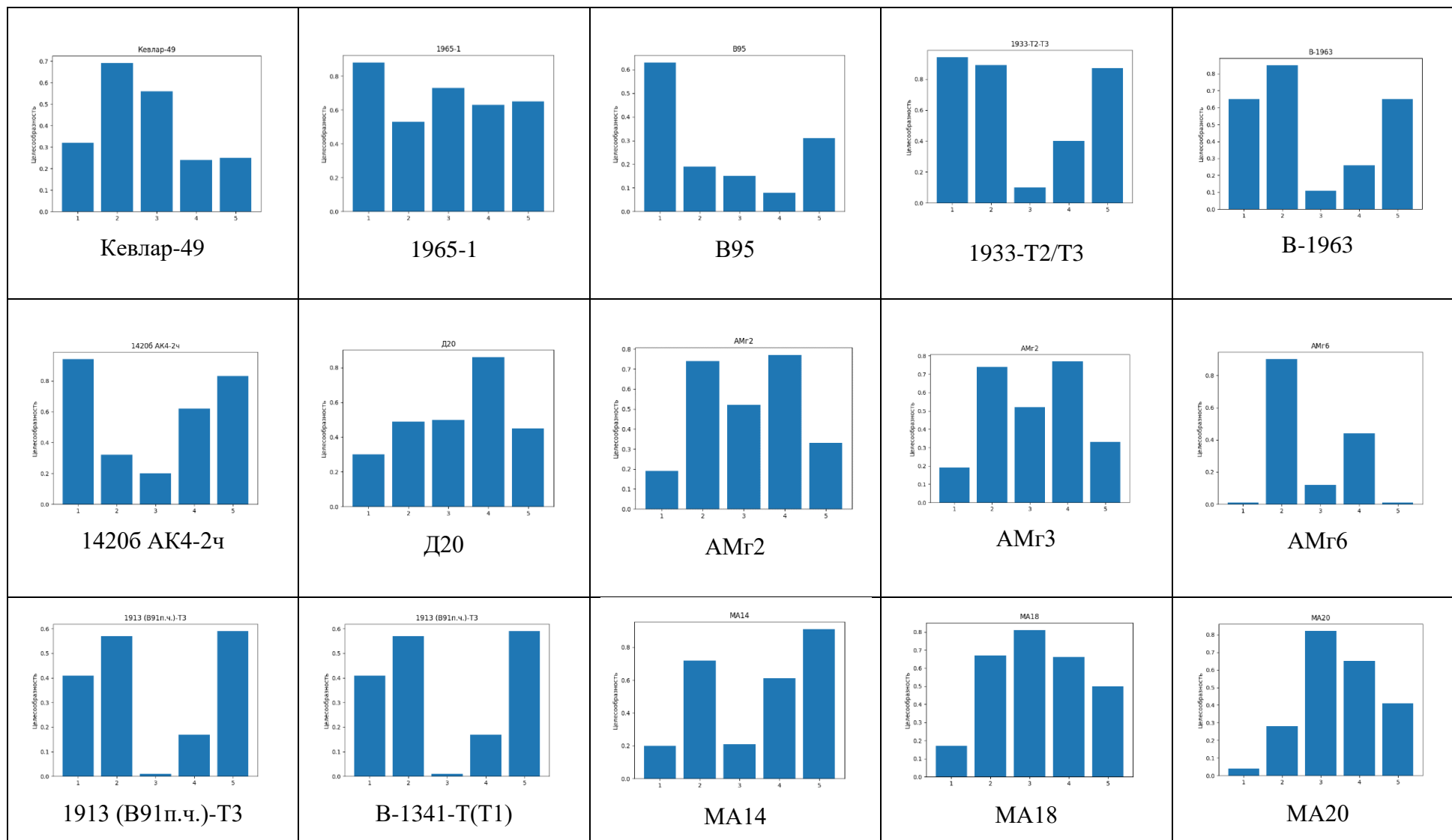


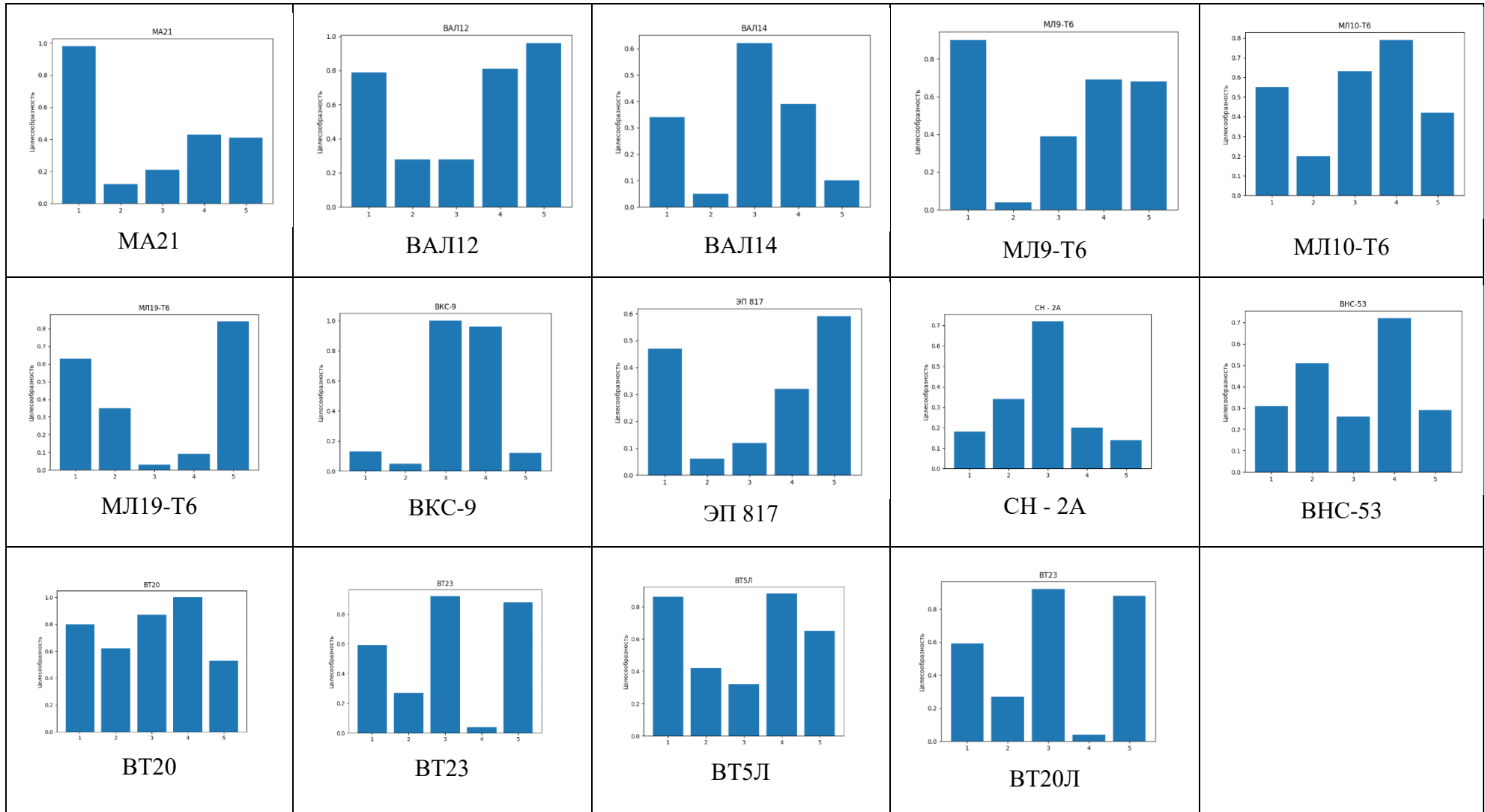


Источник: составлено автором

ПРИЛОЖЕНИЕ Л
Таблица Л.1. Формирование ЦД оперения БПЛА







Свидетельство о регистрации программного обеспечения

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**RU2023611745**

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ
ГОСУДАРСТВЕННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ

Номер регистрации (свидетельства):
2023611745

Дата регистрации: 24.01.2023

Номер и дата поступления заявки:
2023610642 16.01.2023

Дата публикации и номер бюллетеня:
24.01.2023 Бюл. № 2

Контактные реквизиты:
Bobkovilya93@yandex.ru

Автор(ы):

Бобков Илья Алексеевич (RU),
Нехрест-Бобкова Анна Александровна (RU),
Бурдина Анна Анатольевна (RU)

Правообладатель(и):

Бобков Илья Алексеевич (RU)

Название программы для ЭВМ:

Программа для определения оптимальных компонент авиационной техники «Цифровой двойник»

Реферат:

Программа представляет собой приложение Win-Forms и позволяет обучать и использовать нейронную сеть, определяющую компонент авиационной техники, который оптимально производить по заданным характеристикам композитного материала с учетом требований по обеспечению заданных летных характеристик. Архитектура нейронной сети может меняться в зависимости от файлов конфигурации. Тип ЭВМ: IBM PC - совмест. ПК; ОС: Windows 7/8/10.

Язык программирования: C#, Python

Объем программы для ЭВМ: 4197 КБ

Листинг программы для обучения нейросетевой модели формирования цифрового двойника крыла

```
from keras.models import Sequential
from keras.layers import Dense, LSTM, Dropout
import numpy
import matplotlib.pyplot as plt

dataset = numpy.loadtxt("dataset.csv", delimiter=",")
X, Y = dataset[:,0:2], dataset[:,2]

model = Sequential()
model.add(LSTM(units = 50, return_sequences = True, input_shape = (26,)))
model.add(Dropout(0.2))
model.add(LSTM(units = 50, return_sequences = True))
model.add(Dropout(0.25))
model.add(LSTM(units = 50, return_sequences = True))
model.add(Dropout(0.25))
model.add(LSTM(units = 50))
model.add(Dropout(0.25))
model.add(Dense(units = 4, activation="softmax"))

model.compile(optimizer = 'adam', loss = 'mean_squared_error')
model.save("model.h5")
history = model.fit(X, Y, epochs = 26, batch_size=10)
scores = model.evaluate(X, Y)
print("\n%s: %.2f%%" % (model.metrics_names[1], scores[1]*100))
print(history.history.keys())

plt.plot(history.history['loss'])
plt.title('model loss')
plt.ylabel('loss')
plt.xlabel('epoch')
plt.legend(['train'], loc='upper left')
plt.show()
```