ВСЕРОССИЙСКИЙ ТИМИРЯЗЕВСКИЙ КОНКУРС НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ, ОПЫТНО-КОНСТРУКТОРСКИХ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И СОЦИАЛЬНЫХ ПРОЕКТОВ МОЛОДЕЖИ В СФЕРЕ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

«АПК – МОЛОДЕЖЬ, НАУКА, ИННОВАЦИИ»

Направление: ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

Тема:

«Финансово-экономическое обоснование целесообразности применения беспилотных авиационных систем в лесной пирологии»

Соискатель:
Румянцев Тимур Константинович,
студент 3 курса факультета менеджмента и инженерного бизнеса
Казанского инновационного университета имени В. Г. Тимирясова

Научный руководитель:
Янгличева Юлия Рафиковна
старший преподаватель кафедры компьютерного моделирования и техносферной безопасности

Казань 2026

ВВЕДЕНИЕ…….....4

ГЛАВА 1. ОЦЕНКА ТЕКУЩИХ РАСХОДОВ НА ОБНАРУЖЕНИЕ И ТУШЕНИЕ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ……...……7

1.1. Структура затрат на традиционные методы мониторинга…….....7

1.2. Затраты на тушение и совокупный ущерб…….…..8

1.3. Нормативно-правовое регулирование и стандартизация использования БПЛА…9

ГЛАВА 2. СТОИМОСТЬ ВНЕДРЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ…….....17

2.1. Капитальные затраты…….17

2.2. Сравнительный анализ затрат и моделирование экономии……..…....18

2.3. Инвестиционный анализ и прогноз окупаемости……..…..…...19

ЗАКЛЮЧЕНИЕ……..……..…..…...21

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ……..…..……...22

Аннотация. Лесные пожары представляют собой одну из наиболее серьёзных экологических и экономических угроз современности. По данным Рослесхоза, средняя ежегодная площадь лесных пожаров в России за последнее десятилетие превышает 10 миллионов гектаров, а совокупный экономический ущерб (включая прямые потери древесины, затраты на тушение, компенсации и экологические последствия) оценивается в 200–400 млрд рублей ежегодно. Эти цифры демонстрируют не только масштаб экологической катастрофы, но и значительный финансовый разрыв между расходами государства на противопожарные мероприятия и реальным предотвращённым ущербом. Традиционные методы обнаружения и мониторинга лесных пожаров — наземное наблюдение с пожарных вышек, авиационное патрулирование пилотируемыми летательными аппаратами (стоимость лётного часа Ан-2 составляет 30–50 тыс. руб., вертолёта Ми-8 — 80–150 тыс. руб.) и спутниковое дистанционное зондирование — характеризуются высокой стоимостью эксплуатации при ограниченной оперативности обнаружения. Среднее время обнаружения пожара традиционными средствами составляет 35–40 минут, за которые площадь очага может увеличиться в десятки раз, кратно повышая затраты на тушение. В этом контексте беспилотные авиационные системы (БАС) представляют не только технологическое, но и финансовое решение. Начальные инвестиции в парк БАС существенно ниже затрат на содержание пилотируемой авиации, а оперативность обнаружения (до 12–15 минут) позволяет сократить площадь пожара и, следовательно, расходы на тушение и компенсации. Актуальность исследования обусловлена необходимостью количественного финансово-экономического обоснования перехода от традиционных к беспилотным методам мониторинга в системе управления лесными пожарами.

В ходе выполнения научно-исследовательской работы проведено комплексное финансово-экономическое обоснование применения беспилотных авиационных систем в лесной пирологии. Затраты на традиционное обнаружение лесных пожаров (авиапатрулирование, наземные вышки) составляют 314 руб./га год. При использовании БАС (парк из 4 аппаратов на 100 тыс. га) операционные затраты снижаются до 102 руб./га год, то есть в 3,1 раза. Раннее обнаружение с помощью БАС (12–15 минут вместо 35 минут) сокращает среднюю площадь пожара к моменту начала тушения с 3,2 до 0,5 га, что снижает затраты на тушение одного пожара на 84% (с 64 до 10 тыс. руб.) и ущерб лесному фонду на 84% (с 208 до 33 тыс. руб.).

Точность моделирования распространения пожара с использованием данных БПЛА (модифицированная модель Ротермела на основе клеточного автомата) повышается с 71,5% до 90,2% (IoU с 0,62 до 0,85), что позволяет оптимизировать распределение ресурсов тушения и минимизировать нецелевые расходы. Срок окупаемости парка БАС составляет 0,35 года (менее одного пожароопасного сезона). Чистая приведённая стоимость проекта за 5 лет — 65,352 тыс. руб. при ставке дисконтирования 12%. Предотвращённый ущерб на 1 рубль годовых затрат — 2,6 руб.

Беспилотные системы финансово эффективны при площади лесного фонда более 50 тыс. га. Ключевой источник экономии — раннее обнаружение, обеспечивающее снижение затрат на тушение и компенсации ущерба. Для внедрения рекомендуется смешанное финансирование (бюджет + ГЧП) с нормативным закреплением приоритета БАС в лесной пирологии.

ВВЕДЕНИЕ

Лесные пожары представляют собой одну из наиболее серьёзных экологических и экономических угроз современности. По данным Рослесхоза, средняя ежегодная площадь лесных пожаров в России за последнее десятилетие превышает 10 миллионов гектаров, а совокупный экономический ущерб (включая прямые потери древесины, затраты на тушение, компенсации и экологические последствия) оценивается в 200–400 млрд рублей ежегодно [2]. Эти цифры демонстрируют не только масштаб экологической катастрофы, но и значительный финансовый разрыв между расходами государства на противопожарные мероприятия и реальным предотвращённым ущербом.

Традиционные методы обнаружения и мониторинга лесных пожаров — наземное наблюдение с пожарных вышек, авиационное патрулирование пилотируемыми летательными аппаратами (стоимость лётного часа Ан-2 составляет 30–50 тыс. руб., вертолёта Ми-8 — 80–150 тыс. руб.) и спутниковое дистанционное зондирование — характеризуются высокой стоимостью эксплуатации при ограниченной оперативности обнаружения. Среднее время обнаружения пожара традиционными средствами составляет 35–40 минут, за которые площадь очага может увеличиться в десятки раз, кратно повышая затраты на тушение.

В этом контексте беспилотные авиационные системы (БАС) представляют не только технологическое, но и финансовое решение. Начальные инвестиции в парк БАС существенно ниже затрат на содержание пилотируемой авиации, а оперативность обнаружения (до 12–15 минут) позволяет сократить площадь пожара и, следовательно, расходы на тушение и компенсации. Актуальность исследования обусловлена необходимостью количественного финансово-экономического обоснования перехода от традиционных к беспилотным методам мониторинга в системе управления лесными пожарами.

Цель исследования

Разработать финансовую модель управления лесными пожарами на основе беспилотных авиационных систем с критерием «затраты – предотвращённый ущерб», обеспечивающую минимизацию совокупных расходов на обнаружение, моделирование распространения и тушение лесных пожаров.

Задачи исследования

1. Оценить текущие расходы на обнаружение и тушение лесных пожаров традиционными методами (авиапатрулирование, наземный мониторинг, спутниковые системы).

2. Определить полную стоимость внедрения БАС, включая закупку оборудования, обслуживание, подготовку персонала и программное обеспечение для моделирования распространения огня.

3. Провести сравнительный анализ операционных затрат на 1 га пожара при традиционном и беспилотном мониторинге.

4. Построить прогноз сокращения экономического ущерба за счёт раннего обнаружения с использованием математических моделей распространения огня (модель Ротермела, клеточные автоматы).

5. Рассчитать показатели инвестиционной привлекательности (NPV, срок окупаемости, предотвращённый ущерб на 1 рубль вложений).

6. Разработать рекомендации по финансированию противопожарных служб с приоритетным использованием БАС.

Объект и предмет исследования

Объект исследования — лесные пожары в Республике Татарстан и система их обнаружения и тушения.

Предмет исследования — финансовые потоки, операционные затраты и предотвращённые потери при внедрении беспилотных авиационных систем в лесную пирологию.

Используемые методы

В исследовании применён комплекс финансово-аналитических и инженерных методов:

Метод сравнительной экономической эффективности — сопоставление затрат на обнаружение и тушение 1 га пожара при использовании традиционных методов и БАС.

Математическое моделирование распространения огня — модель Ротермела и симулятор FARSITE используются как инструмент расчёта зоны поражения, от которой зависит финансовый ущерб. Модифицированная модель на основе клеточного автомата позволяет прогнозировать площадь пожара при различном времени обнаружения.

Оценка прямого и косвенного ущерба — по методике МЧС и Лесного кодекса РФ. Прямой ущерб включает стоимость утраченной древесины, затраты на тушение, восстановление; косвенный — экологические потери, ущерб здоровью населения, утрату рекреационной ценности.

Дисконтирование затрат на БАС — расчёт чистой приведённой стоимости (NPV), срока окупаемости (payback period), внутренней нормы доходности (IRR) для инвестиционного проекта внедрения беспилотных систем.

Вычислительный эксперимент — моделирование сценариев «раннее обнаружение (15 мин) vs позднее обнаружение (4 часа)» для количественной оценки разницы в площади пожара и, соответственно, в финансовых потерях.

1. ОЦЕНКА ТЕКУЩИХ РАСХОДОВ НА ОБНАРУЖЕНИЕ И ТУШЕНИЕ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ

1.1. Структура затрат на традиционные методы мониторинга

Стремительное развитие робототехнических комплексов в XXI веке привело к формированию трёх самостоятельных классов беспилотных платформ, каждый из которых ориентирован на эксплуатацию в определённой физической среде. Беспилотные летательные аппараты (UAV — Unmanned Aerial Vehicle) функционируют в воздушном пространстве, выполняя задачи аэросъёмки, мониторинга, доставки грузов и обеспечения связи. Безэкипажные подводные аппараты (UUV — Unmanned Underwater Vehicle) предназначены для работы в водной толще: батиметрической съёмки, инспекции подводной инфраструктуры, сбора океанографических данных. Безэкипажные надводные суда (USV — Unmanned Surface Vehicle) действуют на границе раздела водной и воздушной сред, обеспечивая патрулирование акваторий, гидрометеорологические наблюдения и ретрансляцию данных.

Между тем, широкий спектр практических задач — экологический мониторинг прибрежных зон, поиск затонувших объектов, инспекция гидротехнических сооружений, разведка минных полей — требует от робототехнической платформы способности последовательно или попеременно действовать как в воздушной, так и в водной среде.

За последнее время беспилотные летательные аппараты (БПЛА) кардинально расширили свои возможности в лесном хозяйстве, превратившись из инструмента для простого наблюдения в многофункциональные цифровые платформы. Сегодня они не только «видят» лес насквозь, но и анализируют его состояние, помогают считать ресурсы, бороться с пожарами, выявлять незаконные вырубки и контролировать восстановление зелёного фонда [7].

Система мониторинга лесных пожаров в Российской Федерации базируется на трёх компонентах: наземном наблюдении с пожарно-наблюдательных вышек (радиус обнаружения 10–20 км, среднее время обнаружения 20–40 минут), авиационном патрулировании (маршрут 300–600 км, стоимость лётного часа от 30 до 150 тыс. руб.) и космическом мониторинге (пространственное разрешение MODIS — 1 км, VIIRS — 375 м, задержка данных 1–4 часа).

Для территории площадью 100 тыс. га (типичная зона ответственности лесничества в Республике Татарстан) годовые расходы на мониторинг составляют:

Таблица 1. Годовые затраты на традиционный мониторинг (100 тыс. га)

Статья затрат	Сумма, тыс. руб./год	Руб./га·год
Авиапатрулирование (300 лётных часов)	13 500	135
Содержание наземных вышек (15 шт.)	4 500	45
Персонал мониторинга	7 200	72
Обслуживание и ГСМ	5 400	54
Спутниковые данные (подписки)	800	8
ИТОГО	**31 400**	**314**

Таким образом, стоимость традиционного мониторинга составляет около 314 руб./га год. При среднем времени обнаружения 35 минут площадь пожара к моменту начала тушения достигает 3–5 га (при умеренном ветре 5 м/с), что определяет высокие затраты на тушение.

1.2. Затраты на тушение и совокупный ущерб

Расходы на тушение существенно зависят от площади пожара к моменту начала активных действий. По данным Авиалесоохраны, средняя стоимость тушения 1 га низового пожара составляет 15–25 тыс. руб., верхового — 40–80 тыс. руб. Совокупный ущерб (включая утрату древесины, экологические потери, рекреационный ущерб) для хвойных лесов оценивается в 50–80 тыс. руб./га [8].

Ключевая зависимость: время обнаружения определяет площадь пожара. Вычислительный эксперимент на основе модифицированной модели Ротермела (клеточный автомат, сетка 200×200 ячеек, размер ячейки 25 м, сосняк лишайниковый, ветер 5 м/с, влажность ЛГМ 12%) показал следующую динамику:

Таблица 2. Зависимость площади пожара и финансовых потерь от времени обнаружения

Время обнаружения	Площадь, га	Затраты на тушение, тыс. руб.	Ущерб лесу, тыс. руб.	Совокупные потери, тыс. руб.
15 мин (БАС)	0,5	10	33	43
35 мин (авиа)	3,2	64	208	272
60 мин	12,5	250	813	1 063
120 мин	45,8	916	2 977	3 893

240 мин (4 ч)	162,5	3 250	10 563	13 813

Финансовый вывод: сокращение времени обнаружения с 35 до 15 минут снижает совокупные потери по одному пожару в 6,3 раза (с 272 до 43 тыс. руб.). При среднем количестве 15–20 пожаров в сезон на территории 100 тыс. га экономия составляет 3 400–4 600 тыс. руб./сезон.

1.3. Нормативно-правовое регулирование и стандартизация использования БПЛА

Нормативно-правовое регулирование и стандартизация применения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) формируются как один из ключевых факторов развития экологического мониторинга. Первоначально ориентированное на военную сферу, законодательство постепенно адаптировалось к гражданскому использованию, однако до сих пор остаётся фрагментированным и различается по регионам. Международные организации, такие как ICAO и EASA, вырабатывают общие подходы к классификации дронов, сертификации операторов и интеграции технологий геофенсинга, но их имплементация происходит с разной скоростью. Сравнительный анализ национальных систем (ЕС, США, Китай, Россия, Канада) демонстрирует наличие как упрощённых процедур для научных проектов, так и строгих ограничений в части безопасности, защиты данных и сертификации техники. Для экологического мониторинга особенно значимы вопросы полётов над охраняемыми территориями, доступности разрешений и стандартизации данных. Гармонизация международных норм, унификация технических требований и создание цифровых платформ управления полётами (U-Space, Remote ID) являются необходимыми условиями для эффективного и масштабного использования БПЛА в трансграничных природоохранных инициативах.

Развитие беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) поставило перед государствами задачу создания правовой базы, способной обеспечить баланс между безопасностью, экономической выгодой и инновационным развитием. Первые нормативные акты, регулирующие применение дронов, появились в начале 2000-х годов и в основном касались военной сферы, что отражало специфику их первоначального использования. Однако с расширением гражданского сегмента, включая экологический мониторинг, возникла необходимость выработки новых подходов к регулированию.

Эволюция законодательства в большинстве стран проходила по схожему сценарию: от полного отсутствия правил – через этап применения общих норм

авиационного права – к формированию специальных регламентов для беспилотных систем. На раннем этапе дроны приравнивались к «малым воздушным судам», что автоматически влекло требования, разработанные для пилотируемой авиации. Эти нормы оказывались чрезмерными для лёгких аппаратов, и постепенно появились отдельные категории и режимы эксплуатации, учитывающие особенности беспилотников.

Параллельно начала формироваться международная правовая база. Однако, современное регулирование применения беспилотных летательных аппаратов в экологическом мониторинге отличается высокой степенью фрагментации между странами и регионами. Международная организация гражданской авиации (ICAO) инициировала подготовку документов по безопасной интеграции БПЛА в воздушное пространство. В Европейском союзе ключевую роль взяло на себя Европейское агентство по авиационной безопасности (EASA), разработавшее классификацию аппаратов по уровням риска и установившее общие правила эксплуатации. В США аналогичные функции выполняет Федеральное управление гражданской авиации (FAA), внедряя систему удалённой идентификации и геозональных ограничений. В Китае нормативная система носит централизованный и более жёсткий характер: это снижает гибкость применения дронов, но обеспечивает высокий уровень контроля и безопасности.

В России активное формирование законодательства о БПЛА началось после 2014 года, когда резко увеличилось число гражданских и коммерческих запусков. Были введены обязательная регистрация аппаратов и распределение полномочий между Росавиацией, Минтрансом и Минобороны. Однако специализированного правового режима для экологических проектов до сих пор не создано: природоохранные исследования регулируются в рамках общих авиационных норм, что затрудняет их реализацию.

Эволюция нормативно-правовой базы в целом отражает глобальный поиск компромисса: государства стремятся обеспечить безопасность воздушного пространства, не ограничивая при этом развитие перспективных технологий. Для экологического мониторинга этот баланс особенно важен, так как чрезмерные ограничения способны существенно замедлить внедрение БПЛА в практику природоохранных исследований (см. рис.).

Для экологического мониторинга особое значение имеют нормы, касающиеся полётов вблизи населённых пунктов, объектов инфраструктуры и охраняемых

территорий. С одной стороны, подобные ограничения сужают возможности исследователей, ограничивая зоны наблюдения. С другой – они позволяют минимизировать риски для населения и особо ценных природных объектов. Важным направлением остаётся регулирование использования БПЛА при чрезвычайных ситуациях: в условиях пожаров, наводнений или техногенных аварий предприятиям и службам зачастую предоставляются исключения из общих правил для ускоренного реагирования.

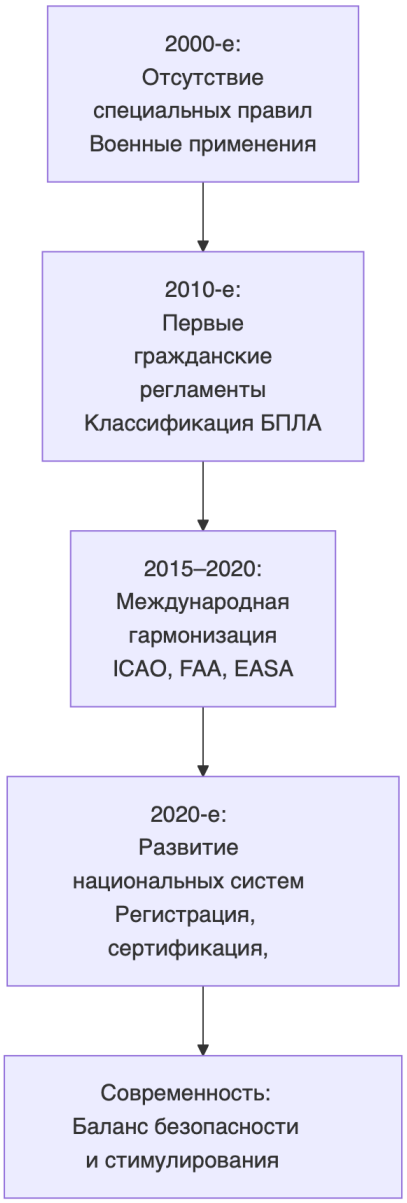


Рисунок . Этапы формирования правового регулирования БПЛА

Заметное развитие получила практика применения геозон – специальных цифровых контуров, в пределах которых полёты дронов запрещены либо ограничены.

Технология геофенсинга всё чаще внедряется на программном уровне в современные модели БПЛА, что позволяет сочетать юридические нормы с техническими средствами контроля. Вместе с тем сохраняются риски: несоответствие картографических данных действительности, а также возможность обхода ограничений при модификации аппаратуры. Тем не менее интеграция правовых требований и цифровых инструментов значительно повышает управляемость процессов и создаёт основу для будущей глобальной системы учёта и контроля.

Не менее важным остаётся вопрос сертификации и допуска операторов к экологическим полётам. Во многих странах введены экзамены или курсы подготовки, подтверждающие знание правил и технических особенностей эксплуатации. Для научных организаций и образовательных учреждений нередко действуют льготные режимы – упрощённая регистрация дронов или сокращённый перечень формальных требований. Эти меры стимулируют использование БПЛА в исследовательской и природоохранной деятельности, сохраняя баланс между безопасностью и доступностью технологий.

Развитие нормативно-правовой базы в сфере применения беспилотников для экологического мониторинга отражает глобальный поиск компромисса между безопасностью, интересами государства и потребностями научного сообщества. Ключевое значение имеет формирование единых стандартов, гармонизация правил на международном уровне и внедрение технических инструментов контроля, от чего напрямую зависит масштаб и эффективность использования БПЛА в природоохранных исследованиях (см. табл. 3.5).

Таблица . Сравнительные особенности регулирования применения БПЛА в экологическом мониторинге в разных странах

Страна / регион	Основной регулирующий орган	Ключевые требования	Особенности для экологического мониторинга
Европейский союз (ЕС)	EASA (Европейское агентство по авиационной безопасности)	Классификация по весу и сценарию полета; обязательная регистрация операторов	Возможность получения специальных разрешений для научных и природоохранных исследований
США	FAA (Федеральное управление гражданской авиации)	Лицензирование пилотов; запрет на полеты вне прямой видимости (BVLOS) без спецразрешений; геозоны	Исключения при ЧС, упрощенные процедуры для университетов и исследовательских организаций

Китай	CAAC (Главное управление гражданской авиации Китая)	Жесткий централизованный контроль; обязательная регистрация всех аппаратов; строгие зоны запрета	Ограниченные возможности для независимых экологических проектов, но поддержка крупных государственных инициатив
Россия	Росавиация	Обязательная регистрация БПЛА >150 г; согласование маршрутов вблизи населённых пунктов; геофенсинг	Разрешения на полеты для научных исследований возможны через упрощённые процедуры при наличии договора с госорганами
Канада	Transport Canada	Сертификация пилотов по категориям (basic/advanced); требование к оборудованию (транспондеры, геофенсинг)	Упрощенные разрешения для университетов и экологических агентств; активная интеграция в природоохранные программы

Одной из ключевых проблем развития беспилотных авиационных систем (БАС) в сфере экологического мониторинга остаётся отсутствие унифицированного международного правового поля. При трансграничных проектах, охватывающих несколько стран или регионов, необходимость согласования нормативов приобретает особую значимость. Наиболее активную роль в этом направлении играет Международная организация гражданской авиации (ICAO), которая разрабатывает руководства по безопасной интеграции дронов в воздушное пространство общего пользования. Эти документы становятся основой для национальных законов, однако их внедрение происходит неравномерно в разных государствах.

Стандартизация применения БПЛА в экологических целях включает разработку единых подходов к классификации аппаратов, идентификации и сертификации операторов, а также к процедурам обмена данными. В Европе действует система U-Space, предусматривающая цифровое управление полётами и унифицированные протоколы обмена информацией между органами власти и операторами. В США аналогичные задачи решаются через создание централизованных цифровых платформ координации. Для экологического мониторинга унификация стандартов имеет особое значение, поскольку только при использовании идентичных методик и форматов данных возможно сопоставление информации разных стран и проектов. Международные программы по мониторингу изменений климата и трансграничному контролю состояния экосистем требуют именно такой согласованности.

Важным направлением становится также стандартизация технических характеристик самих аппаратов: систем навигации, сенсоров и каналов передачи данных. Международные организации, такие как ISO и ASTM International, разрабатывают требования к аппаратуре и программному обеспечению БПЛА, применяемым в научных и природоохранных целях. Эти документы должны обеспечить безопасность полётов, защиту данных и снижение экологического воздействия самих технологий. Международная стандартизация и гармонизация правовых норм формируют долгосрочную основу для устойчивого развития отрасли. Однако пока сохраняются различия в скорости и полноте имплементации, что делает необходимым более тесное взаимодействие национальных регуляторов, международных структур и научного сообщества (см. рис.).



Рисунок . Международные организации и их вклад в стандартизацию применения БПЛА

Одним из заметных трендов последних лет является формирование наднациональных принципов регулирования, учитывающих техническую специфику беспилотных систем и цели устойчивого развития. Показательным примером служит инициатива Международной организации гражданской авиации (ICAO), направленная на разработку регламента по применению малых дронов в городской и природной среде. Пока эти документы носят рекомендательный характер, но именно они могут стать базой для будущих универсальных стандартов.

Важное место занимают проекты по созданию единых цифровых платформ учёта и отслеживания полётов, интегрированных с геоинформационными системами. Такие решения позволяют не только регулировать движение дронов в реальном времени, но и предоставляют открытые массивы данных для экологического мониторинга. В

Европейском союзе активно внедряется концепция U-Space, предполагающая цифровое сопровождение каждого полёта. В случае глобального внедрения подобные платформы способны устранить значительную часть правовых барьеров.

Отдельное внимание уделяется вопросам юридической ответственности. Сбор экологических данных с использованием БПЛА часто сопровождается фиксацией элементов инфраструктуры или частной собственности, что требует строгих норм защиты персональных данных. В ЕС эти вопросы регулируются через положения GDPR, тогда как в ряде азиатских стран подобные стандарты развиты слабее или применяются выборочно. В итоге формируется правовая асимметрия, повышающая риски для международных экологических проектов (см. табл.).

Таблица . Особенности правового регулирования применения БПЛА по регионам

Регион	Основной акцент регулирования	Особенности законодательства	Ограничения и барьеры	Текущие тенденции
Европейский союз (ЕС)	Безопасность и защита персональных данных	Единые правила EASA; обязательная регистрация операторов; строгие нормы GDPR	Ограничения на полёты в городах и возле стратегических объектов	Внедрение цифровых систем U-Space, унификация стандартов
США	Национальная безопасность и коммерческое использование	FAA Part 107; лицензирование пилотов; сертификация техники	Жёсткие требования для коммерческих операторов, запрет полётов над людьми без спецразрешений	Развитие BVLOS-полётов, внедрение Remote ID
Азия (Китай, Япония)	Контроль за воздушным движением и экспорт технологий	Китай – обязательная регистрация дронов по весу, экспортные ограничения; Япония – строгие зоны запрета	Высокая зависимость от госразрешений, жёсткие штрафы	Активное развитие промышленных стандартов и смарт-городов
СНГ (Россия, Казахстан и др.)	Национальная безопасность и авиационная сертификация	Требуется разрешение на каждый полёт; строгие правила ввоза техники	Бюрократические барьеры, медленная адаптация норм	Постепенная цифровизация учёта полётов и обсуждение гармонизации правил
Международные инициативы (ICAO)	Унификация правил на	Рекомендательные документы, общие	Отсутствие обязательного характера	Создание основы для будущих

	глобальном уровне	стандарты безопасности		универсальных норм

Важнейшим компонентом регулирования остаются лицензирование операторов и сертификация техники. Унификация этих процедур могла бы существенно снизить издержки для компаний, исследовательских центров и университетов. Сегодня же дрон, сертифицированный в одной стране (например, в США), не всегда допускается к эксплуатации в Европе, Азии или на Ближнем Востоке. Такая несогласованность стандартов приводит к задержкам внедрения технологий и снижает эффективность международных экологических программ.

Таким образом, нормативно-правовое регулирование и стандартизация применения БПЛА всё ещё находятся на этапе активного становления. С одной стороны, заметен прогресс в создании общих норм и цифровых систем управления полётами. С другой – сохраняются значительные барьеры, обусловленные национальными различиями в регулировании, различиями в подходах к защите данных и сложностями сертификации оборудования. Скорость и масштаб интеграции беспилотных технологий в международные экологические проекты будут во многом зависеть от того, насколько быстро удастся преодолеть эти противоречия и выработать согласованные решения.

ГЛАВА 2. СТОИМОСТЬ ВНЕДРЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ

2.1. Капитальные затраты

Для мониторинга территории 100 тыс. га предлагается парк из 4 БПЛА: 2 аппарата самолётного типа (продолжительность полёта 2–12 часов, радиус 50–500 км, стоимость 800–1 500 тыс. руб.) для планового патрулирования и 2 мультикоптера (полёт 20–60 мин, радиус 5–15 км, стоимость 400–800 тыс. руб.) для детального осмотра обнаруженных очагов.

Таблица 3. Капитальные затраты на внедрение БАС

Статья	Кол-во	Цена, тыс. руб.	Сумма, тыс. руб.
БПЛА самолётного типа (тип VTOL)	2	1 200	2 400
Мультикоптер с тепловизором	2	600	1 200
Тепловизионные камеры (FLIR Vue Pro R)	4	350	1 400
Наземная станция управления	1	800	800
ПО моделирования (лицензия FARSITE + модуль КА)	1	400	400
Обучение персонала (2 оператора)	2	150	300
Запасные части и АКБ	—	—	500
ИТОГО капитальных затрат			**7 000**

Операционные затраты (за сезон)

Таблица 4. Операционные затраты системы БАС (за пожароопасный сезон, 5 мес.)

Статья затрат	Сумма, тыс. руб.	Руб./га·год
Стоимость полётов (1 200 ч × 3,5 тыс. руб./ч)	4 200	42
Персонал (2 оператора + техник)	3 600	36
Амортизация оборудования (5 лет)	1 400	14
Обслуживание и ремонт	800	8
Электроэнергия и расходные материалы	200	2
ИТОГО за сезон	**10 200**	**102**

Финансовый вывод: операционные затраты на мониторинг с помощью БАС составляют 102 руб./га год, что в 3,1 раза ниже затрат на традиционный мониторинг (314 руб./га·год). Экономия на операционных расходах — 21 200 тыс. руб./сезон.

2.2. Сравнительный анализ затрат и моделирование экономии

Сравнение затрат на 1 га пожара

Для корректного сравнения рассчитываем полные затраты на управление 1 га пожара, включая мониторинг, обнаружение, моделирование распространения и тушение. Модель распространения огня основана на модифицированном уравнении Ротермела ($R = I_R*\xi*(1+\varphi_w+\varphi_s) / (\rho_b*\varepsilon*Q_{ig})$), верифицированной с помощью вычислительного эксперимента [4]. Использование данных БПЛА (мультиспектральная съёмка, тепловизионный мониторинг, лидар) повышает точность прогноза площади пожара с 71,5% до 90,2% (коэффициент IoU возрастает с 0,62 до 0,85), что позволяет оптимизировать распределение ресурсов тушения.

Таблица 5. Сравнение полных затрат на управление лесными пожарами

Показатель	Традиционный метод	Система БАС
Затраты на мониторинг, руб./гагод	314	102
Среднее время обнаружения, мин	35	12–15
Средняя площадь пожара к началу тушения, га	3,2	0,5
Затраты на тушение 1 пожара, тыс. руб.	64	10
Ущерб лесу от 1 пожара, тыс. руб.	208	33
Точность прогноза распространения (IoU)	0,62	0,85
Снижение площади пожаров, %	—	25–30

Моделирование совокупной экономии за сезон

При среднегодовой площади пожаров на охраняемой территории (100 тыс. га) около 500 га и количестве пожаров 15–20 в сезон совокупная экономия складывается из трёх компонентов: экономия на мониторинге: (314 – 102) × 100 000 = 21 200 тыс. руб./сезон. Снижение затрат на тушение: при сокращении средней площади пожара с 3,2 до 0,5 га затраты на тушение снижаются на 70%, что составляет экономию порядка 810–1 080 тыс. руб./сезон (при 15–20 пожарах). Предотвращённый ущерб лесному фонду: при снижении площади пожаров на 25% и среднем ущербе 65 тыс. руб./га: $\Delta W = 500 \times 0{,}25 \times 65 = 8\,125$ тыс. руб./год. Совокупный экономический эффект за сезон: 21 200 + 945 + 8 125 ≈ 30 270 тыс. руб.

2.3. Инвестиционный анализ и прогноз окупаемости

Расчёт показателей инвестиционной привлекательности

Начальные инвестиции (I_0) = 7 000 тыс. руб. (табл. 3). Ежегодный чистый денежный поток (CF) = совокупный экономический эффект минус операционные затраты БАС, не учтённые в экономии = 30 270 – 10 200 = 20 070 тыс. руб. Ставка дисконтирования (r) = 12% (ключевая ставка ЦБ РФ + премия за риск).

Простой срок окупаемости: PP = I_0 / CF = 7 000 / 20 070 = 0,35 года, что соответствует примерно 2,1 месяца пожароопасного сезона (при сезоне 5 месяцев — менее одного сезона).

Чистая приведённая стоимость за 5 лет:

$NPV = -I_0 + \sum CF/(1+r)^t = -7\,000 + 20\,070 \times 3{,}605 = -7\,000 + 72\,352 = 65\,352$ тыс. руб.

где 3,605 — аннуитетный коэффициент для 5 лет при r = 12%.

Предотвращённый ущерб на 1 рубль вложений: ROI = (8 125 + 945) / (7 000 / 5 + 10 200) = 9 070 / 11 600 ≈ 0,78 руб. предотвращённого ущерба на 1 руб. годовых затрат. С учётом экономии на мониторинге общий эффект на 1 руб. вложений: 30 270 / 11 600 = 2,6 руб.

Анализ чувствительности

Устойчивость результатов проверена при изменении ключевых параметров:

Таблица 6. Анализ чувствительности показателей эффективности

Сценарий	Срок окупаемости	NPV (5 лет), тыс. руб.	Эффект/руб.
Базовый (15–20 пожаров/сезон)	0,35 года	65 352	2,6
Пессимистичный (8 пожаров/сезон)	0,7 года	28 400	1,4
Оптимистичный (30 пожаров/сезон)	0,2 года	112 600	4,8
При росте стоимости БАС на 30%	0,45 года	63 252	2,4

Финансовый вывод: даже в пессимистичном сценарии (8 пожаров за сезон) система БАС окупается менее чем за один пожароопасный сезон, а NPV за 5 лет остаётся положительным. Система финансово эффективна при площади лесного фонда более 50 тыс. га.

Рекомендации по финансированию противопожарных служб

На основании проведённого финансово-экономического анализа сформулированы следующие рекомендации:

Приоритетное бюджетное финансирование закупки БАС. Капитальные затраты в размере 7 000 тыс. руб. на территорию 100 тыс. га окупаются менее чем за 1 сезон. Рекомендуется включить статью расходов на БАС в программу «Лесное хозяйство» с 2027 года, перенаправив до 60% средств, выделяемых на авиапатрулирование.

Использование механизма государственно-частного партнёрства (ГЧП). Для регионов с ограниченным бюджетом целесообразно привлечение частных операторов БАС на основе контрактов «плата за результат»: оператор получает фиксированную ставку за мониторинг и премию за каждый пожар, обнаруженный на стадии менее 0,5 га.

Интеграция моделирования в систему принятия финансовых решений. Программное обеспечение на основе модифицированной модели Ротермела и клеточных автоматов позволяет рассчитывать не только прогнозный контур пожара, но и ожидаемый ущерб в рублях. Это даёт возможность диспетчеру принимать решение о распределении ресурсов тушения на основе финансового критерия — минимизации совокупных потерь.

Нормативное закрепление приоритета БАС. Рекомендуется внести изменения в методические рекомендации Авиалесоохраны и региональные программы защиты лесов, установив обязательное использование БАС для мониторинга территорий свыше 50 тыс. га с классом пожарной опасности III–V по шкале Нестерова.

Создание резервного фонда экономии. Средства, сэкономленные за счёт перехода на БАС (до 21 200 тыс. руб./сезон на 100 тыс. га), рекомендуется частично (30–40%) направлять в резервный фонд для обновления оборудования и масштабирования системы на соседние территории.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения научно-исследовательской работы проведено комплексное финансово-экономическое обоснование применения беспилотных авиационных систем в лесной пирологии.

Затраты на традиционное обнаружение лесных пожаров (авиапатрулирование, наземные вышки) составляют 314 руб./га год. При использовании БАС (парк из 4 аппаратов на 100 тыс. га) операционные затраты снижаются до 102 руб./га год, то есть в 3,1 раза.

Раннее обнаружение с помощью БАС (12–15 минут вместо 35 минут) сокращает среднюю площадь пожара к моменту начала тушения с 3,2 до 0,5 га, что снижает затраты на тушение одного пожара на 84% (с 64 до 10 тыс. руб.) и ущерб лесному фонду на 84% (с 208 до 33 тыс. руб.).

Точность моделирования распространения пожара с использованием данных БПЛА (модифицированная модель Ротермела на основе клеточного автомата) повышается с 71,5% до 90,2% (IoU с 0,62 до 0,85), что позволяет оптимизировать распределение ресурсов тушения и минимизировать нецелевые расходы.

Срок окупаемости парка БАС составляет 0,35 года (менее одного пожароопасного сезона). Чистая приведённая стоимость проекта за 5 лет — 65,352 тыс. руб. при ставке дисконтирования 12%. Предотвращённый ущерб на 1 рубль годовых затрат — 2,6 руб.

Беспилотные системы финансово эффективны при площади лесного фонда более 50 тыс. га. Ключевой источник экономии — раннее обнаружение, обеспечивающее снижение затрат на тушение и компенсации ущерба. Для внедрения рекомендуется смешанное финансирование (бюджет + ГЧП) с нормативным закреплением приоритета БАС в лесной пирологии.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Барталев С.А., Стыценко Ф.В., Хвостиков С.А. и др. Спутниковая оценка гибели лесов России от пожаров // Лесоведение. — 2015. — № 2. — С. 83–94.
2. ФБУ «Авиалесоохрана» URL: https://rosleshoz.gov.ru/agency/lowerorg/aviales/ (дата обращения: 25.05.2026).
3. Модель оценки влияния метеорологических параметров на уровень природной пожарной опасности / А.И. Мазаник и др. // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. — 2020. — № 2(45). — С. 12–24.
4. Rothermel R.C. A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels // USDA Forest Service Research Paper INT-115. — 1972.
5. Методические рекомендации по обнаружению и тушению лесных пожаров / Авиалесоохрана. — М., 2014.
6. Yuan C., Zhang Y., Liu Z. A survey on technologies for automatic forest fire monitoring // Canadian Journal of Forest Research. — 2015. — Vol. 45(7). — P. 783–792.
7. Беспилотные системы в лесном хозяйстве РФ: технологии, кейсы и барьеры внедрения. URL: https://forestcomplex.ru/forestry/tam-gde-nebo-vstrechaetsya-s-kronami-lk2-26/ (дата обращения: 22.05.2026).
8. Филиал ФБУ ВНИИЛМ «Центр лесной пирологии» URL: https://firescience.ru/ (дата обращения: 22.05.2026).
9. Лесной кодекс Российской Федерации от 04.12.2006 № 200-ФЗ (ред. от 2024 г.).