



МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего образования

«Балтийский государственный технический
университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова»
(БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова)

1-я Красноармейская ул., д. 1, Санкт-Петербург, 190005

Тел./факс: (812) 316-23-94; (812) 490-05-91

e-mail: bgtu@voenmeh.ru; <http://www.voenmeh.ru>

ОКПО 02066374, ОГРН 1027810328721

ИНН/КПП 7809003047/783901001

04.11.2025 № 3/389

На _____ от _____

Ученому секретарю диссертационного
совета 24.2.327.03 на базе
ФГБОУ ВО «Московский авиационный
институт (национальный
исследовательский университет)» (МАИ)

д.т.н., доценту Старкову А.В.

125993, Россия, г. Москва,
Волоколамское шоссе, дом 4,
МАИ, Ученый совет

Уважаемый Александр Владимирович!

Направляем отзыв на диссертационную работу Ермакова Павла Григорьевича «Разработка алгоритмов для обеспечения безопасной посадки беспилотного вертолета на необорудованную площадку», представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика (технические науки).

Приложение: отзыв на диссертационную работу в 2-х экз., на 7-х листах каждый.

Проректор по научной работе
и инновационному развитию

Заведующий кафедрой А5

Исполнитель
Петрова И.Л.
8(812) 495-77-36

ОТДЕЛ КОРРЕСПОНДЕНЦИИ
И КОНТРОЛЯ ИСПОЛНЕНИЯ
ДОКУМЕНТОВ МАИ

«14» 11 2025г.



МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего образования

«Балтийский государственный технический
университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова»
(БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова)

1-я Красноармейская ул., д. 1, Санкт-Петербург, 190005

Тел./факс: (812) 316-23-94; (812) 490-05-91

e-mail: bgtu@voenmeh.ru; <http://www.voenmeh.ru>

ОКПО 02066374, ОГРН 1027810328721

ИНН/КПП 7809003047/783901001

07.11.2025 № 3/20

На _____ от _____

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе
И инновационному развитию,
Кандидат технических наук

А.В. Воронов

«07» ноября 2025 года



ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу

Ермакова Павла Григорьевича

**«Разработка алгоритмов для обеспечения безопасной посадки
беспилотного вертолета на необорудованную площадку»,**

представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка
информации, статистика (технические науки).

Актуальность темы диссертационного исследования.

Диссертационная работа Ермакова П.Г. посвящена решению актуальной задачи обеспечения оперативной безопасной посадки беспилотного вертолета (БВ) на необорудованную площадку с учетом требований международной организации гражданской авиации (ИКАО).

В настоящее время беспилотные вертолеты рассматриваются как эффективное средство решения оборонных и гражданских задач, связанных с доставкой грузов в районы чрезвычайных ситуаций. Для их решения на борту беспилотного воздушного судна (БВС) требуется реализация алгоритмов, обеспечивающих безопасную посадку БВ на неподготовленные площадки. Именно это обстоятельство обуславливает научную и практическую значимость представленной диссертационной работы.

ОТДЕЛ КОРРЕСПОНДЕНЦИИ
И КОНТРОЛЯ ИСПОЛНЕНИЯ
ДОКУМЕНТОВ МАИ

«14» 11 2025г.

Выполнение безопасной посадки БВ на необорудованную площадку возможно лишь при одновременном выполнении комплекса условий, учитывающих характер рельефа местности и плотность грунта в месте предполагаемой посадки. Обеспечение подобного комплекса условий требует использования на борту БВС соответствующих информационных датчиков и разработки новых алгоритмов управления, учитывающих изменяющуюся фоноцелевую обстановку в реальном масштабе времени. Решение этих задач представлено в диссертационной работе.

Структура диссертационной работы и основные результаты.

Работа состоит из четырех глав, введения и заключения.

Во введении приведено обоснование актуальности выбранной темы диссертационного исследования, сформулированы цель исследования, научная новизна и основные положения диссертации.

Первая глава посвящена анализу современного состояния исследований в области создания алгоритмов, способных обеспечить безопасную посадку БВ на необорудованную площадку, проводимых как России, так и за рубежом. Приведена техническая и математическая постановка решаемой задачи.

Во второй главе предложена оригинальная двухэтапная схема алгоритма поиска площадки, пригодной для безопасной посадки БВ. Подобный подход обладает научной новизной, он сочетает в себе оптимальность полученного решения с возможностью его оперативной реализации в ходе полета.

На первом этапе предложенной двухэтапной структуры алгоритма управления решается задача планирования оптимального маршрута облета участков местности для поиска площадки, пригодной для посадки, с использованием цифровой карты местности (ЦКМ). В процессе формирования оптимального маршрута движения БВ учитываются требования по углу наклона поверхности посадочной площадки и требования

по предельной высоте элементов рельефа на ее поверхности и за пределами собственных границ.

На втором этапе, выполняемом непосредственно в ходе движения БВ по сформированному на первом этапе маршруту, выполняется проверка требований к прочности грунта посадочной площадки с использованием данных георадара и нейросетевого классификатора.

В рамках практической реализации, предложенной автором, двухэтапной схемы разработаны конкретные алгоритмы, включающие:

- алгоритм вычисления вероятности пригодности необорудованной площадки, использующий в качестве основы статистическую обработку данных ЦКМ;
- алгоритм построения маршрута облета участков местности с целью поиска площадки, пригодной для посадки БВ. Построение оптимального маршрута облета достигнуто путем решения задачи целочисленного линейного программирования. В алгоритм расчета траектории полета БВ предложено включение функции потерь, учитывающей энергетические затраты на перелет к выбранному участку местности и вероятность его пригодности с точки зрения характера рельефа.

Третья глава посвящена разработке алгоритмов управления при движении БВ по маршруту поиска площадки, пригодной для посадки с учетом плотности грунта. Конкретно разработаны следующие алгоритмы:

- алгоритм классификации типа грунта земной поверхности по его прочности на основе использования нейросетевой обработки данных георадара. Основу алгоритма составляет многослойный персептрон, использующий в качестве входной информации диэлектрическую проницаемость грунта и скорость распространения электромагнитных волн в грунте;
- алгоритм комплексирования навигационных данных бесплатформенной инерциальной навигационной системы (БИНС) и лазерного высотомера (ЛВ) для высокоточного определения высоты

беспилотного вертолета над земной поверхностью. Автором использована слабосвязанная архитектура на основе модификации фильтра Калмана.

В четвертой главе представлен анализ результатов имитационного моделирования и летных экспериментов, разработанных соискателем алгоритмов для обеспечения безопасной посадки беспилотного вертолета на необорудованную площадку, подтвердивший состоятельность предложенных решений.

Научная новизна результатов диссертационной работы. В качестве основных научных результатов диссертационной работы, по нашему мнению, можно выделить следующие:

- алгоритм планирования маршрута облета беспилотным вертолетом участков местности для поиска площадки, пригодной для посадки, с использованием вероятностной информации о состоянии рельефа поверхности в месте предполагаемой посадки;
- алгоритм классификации типа грунта по его прочности, использующий в качестве основы данные георадиолокационного зондирования и нейросетевую модель в виде двухслойного персептрона;
- алгоритм комплексирования навигационных данных БИНС и ЛВ для высокоточного определения высоты БВ на основе слабосвязанной архитектуры, включающей модификацию фильтра Калмана;
- специализированное программно-математическое обеспечение, реализующее набор алгоритмов управления для осуществления безопасной посадки БВ.

Практическая ценность диссертационной работы. Практическая ценность диссертации заключается в том, что разработанные алгоритмы позволяют повысить безопасность посадки БВ на необорудованную площадку с учетом требований ИКАО, а значит, способствуют расширению функциональных возможностей беспилотных вертолетов при решении целевых задач.

Достоверность результатов работы подтверждается корректным использованием математического аппарата, а также результатами проведенных натурных летных экспериментов.

Замечания по диссертационной работе.

1. В тексте работы не приведено доказательство статистической независимости событий при вычислении итоговой вероятности пригодности необорудованной площадки для посадки БВ с учетом требований к рельефу земной поверхности по ИКАО.

2. Не представлено сравнительного анализа нейросетевых архитектур, которые могут быть использованы для решения задачи нейросетевой классификации типа грунта необорудованной площадки.

3. В работе отсутствует анализ вычислительной эффективности алгоритма комплексирования навигационных данных БИНС и ЛВ, не рассмотрена возможность его функционирования на отечественных вычислителях.

4. В тексте работы не приводятся сведения о языке программирования (среде программирования), на котором (в которой) было написано специализированное программно-математическое обеспечение разработанных алгоритмов.

5. Некоторые иллюстративные материалы оформлены небрежно. Например, надписи на рисунках, содержащих значения высоты БВ по ЛВ, не читаются (стр. 55). Надписи на рисунках, иллюстрирующих гистограммы распределения значений угла наклона поверхности посадочной площадки на стр. 95-98 не читаются.

6. При нумерации рисунков пропущен рисунок 27, текст работы содержит рисунки 26 и 28 (стр.93 - 94).

Указанные недостатки не снижают положительной оценки представленной диссертационной работы. Содержание **автореферата** полностью отражает принципиальные положения диссертации.

Вывод. Диссертационная работа Ермакова П.Г. представляет собой научно-квалификационную работу, в которой изложены научно-обоснованные технические решения по разработке алгоритмов, обеспечивающих безопасную посадку беспилотного вертолета на необорудованную площадку.

Диссертация написана единолично, содержит ряд новых научных результатов. Предлагаемые в работе решения в достаточной степени апробированы, проанализированы. Диссертационная работа соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842. Ермаков Павел Григорьевич достоин присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика (технические науки).

Отзыв обсужден и одобрен на заседании кафедры А5 «Динамика и управление полетом летательных аппаратов», протокол № 4-А5 от «06» ноября 2025 г.

Заведующий кафедрой «Динамика и управление полетом летательных аппаратов»
Балтийского государственного технического
Университета «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова,
кандидат технических наук, доцент

 И.Л. Петрова

Профессор кафедры «Динамики и управления полетом летательных аппаратов»,
доктор технических наук, профессор,
член-корреспондент РАН

 О.А. Толпегин

Подписи Петровой И.Л., Толпегина О.А.
заверяю
Ученый секретарь ученого совета
Балтийского государственного технического
Университета «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова
доктор технических наук, доцент



 М.С. Смирнова

С отзывом ознакомлен
14.11.2025 ИРЯ -

Сведения о лицах, предоставивших отзыв:

Петрова Ирина Леонидовна,

190005, г. Санкт-Петербург, ул. 6-я Красноармейская, д.12, кв.15,

+7-911-938-54-52, petrova_il@voenmeh.ru,

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова,
заведующий кафедрой «Динамика и управление полетом летательных аппаратов».

Толпегин Олег Александрович,

196240, г. Санкт-Петербург, Пулковское шоссе, д.9, корп. 2, кв.33,

+7-911-920-19-29,

bgtu_a5@mail.ru,

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова,
профессор кафедры «Динамика и управление полетом летательных аппаратов».