



ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И РЕШЕНИЯ

105066, город Москва, Нижняя Красносельская ул, д. 35 стр. 9,
помещ. 1н/4.

тел. (495) 006-90-16

e-mail: client@inn-tech.su

ОКПО 16063161, ОГРН 1175027015855

ИНН / КПП 5040149408 / 770101001

от 22.10.2025 исх. № 444

на № _____ от _____

Председателю диссертационного совета
24.2.327.03, созданного на базе
федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего
образования «Московский авиационный
институт (национальный исследовательский
университет)»

д.т.н., проф. В.В. Малышеву

Волоколамское шоссе, д.4, г. Москва,
125993

Уважаемый Вениамин Васильевич !

Высылаю Вам отзыв официального оппонента Гайденкова Андрея Викторовича на диссертационную работу Ермакова Павла Григорьевича на тему: «Разработка алгоритмов для обеспечения безопасной посадки беспилотного вертолета на необорудованную площадку», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика (технические науки).

Приложение: отзыв в 2-х экземплярах, на 5 листах каждый.

доктор технических наук,
профессор, старший научный
сотрудник ООО «Инновационные
технологии и решения»

Гайденков А.В.

« 21 » октября 2025 г

Подпись официального оппонента Гайденкова А.В. заверяю

Генеральный директор
(должность)



(подпись)

Гайденков А.В.
(Фамилия И.О.)

ОТДЕЛ КОРРЕСПОНДЕНЦИИ
И КОНТРОЛЯ ИСПОЛНЕНИЯ
ДОКУМЕНТОВ МАИ

27.10.2025

ОТЗЫВ

официального оппонента — доктора технических наук, профессора Гайденкова Андрея Викторовича на диссертацию Ермакова Павла Григорьевича на тему «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).

В диссертационной работе Ермакова П.Г. рассматривается задача разработки алгоритмов для осуществления безопасной посадки беспилотного вертолета на необорудованную площадку. Осуществление безопасной посадки беспилотного вертолета возможно при удовлетворении требований международной организации гражданской авиации (ИКАО) по рельефу и прочности грунта неподготовленной площадки. Этот факт требует разработки новых алгоритмов, способных функционировать как на этапе предполетного планирования, так и в режиме реального времени. Также стоит отметить, что в соответствии с Приказом Министерства транспорта Российской Федерации от 29.05.2023 №195 о внесении изменений в Приказ Министерства транспорта Российской Федерации от 31.07.2009 №128 “Об утверждении Федеральных авиационных правил “Подготовка и выполнение полетов в гражданской авиации Российской Федерации” возможность реализации посадки беспилотного летательного аппарата на неподготовленную местность является обязательным требованием при эксплуатации беспилотной воздушной техники. Все это повышает интерес к разработке алгоритмов, обеспечивающих безопасную посадку беспилотного вертолета на неподготовленную площадку.

Содержание работы

Во введении содержится обоснование актуальности выбранной темы исследования, сформулированы цель, научная новизна, практическая значимость диссертационного исследования.

В первой главе приводится анализ научно-технических решений отечественных и иностранных ученых, которые направлены на решение задачи осуществления безопасной посадки беспилотного вертолета на необорудованную площадку. Приведена постановка решаемой задачи.

Во второй главе осуществляется разработка математических моделей, составляющих основу алгоритма облета необорудованных площадок для

осуществления безопасной посадки беспилотным вертолетом. Для разрешения требований по рельефу необорудованного участка местности используется статистическая обработка цифровой карты местности (ЦКМ). Построение маршрута осуществляется на основе минимизации оригинальной функции потерь, учитывающей энергетические затраты на перелет к площадке и вероятность непригодности этой площадки.

Третья глава посвящена разработке алгоритмов, обеспечивающих осуществление посадки беспилотного вертолета на неподготовленную местность в оперативном режиме. Для определения подходящего типа грунта посадочной площадки автор использует нейронную сеть, способную классифицировать тип грунта по прочности на основе данных георадиолокационного зондирования. Дополнительно рассматривается вопрос счисления высоты беспилотного вертолета над подстилающей земной поверхностью. Счисление высоты воздушного судна производится на основе слабосвязанной схемы комплексирования навигационных данных бесплатформенной инерциальной навигационной системы (БИНС) и лазерного высотомера (ЛВ). Здесь в качестве оценщика выступает модификация фильтра Калмана. Рассмотрен вопрос наблюдаемости оцениваемых параметров.

В четвертой главе приводятся результаты имитационного моделирования и летных экспериментов разработанных автором алгоритмов для обеспечения безопасной посадки беспилотного вертолета на необорудованную площадку. Вероятность правильной классификации типа грунта на основе предложенной нейросетевой модели с использованием имитационного моделирования составляет более 99 %. Ошибка счисления высоты беспилотного вертолета по данным летных экспериментов соответствует категории III ИКАО на уровне гарантированной вероятности 95 %.

Значимость для науки полученных автором результатов

Научная ценность работы заключается в следующем:

- разработан алгоритм планирования облета беспилотным вертолетом необорудованных площадок с целью обеспечения безопасной посадки на основе использования вероятностных критериев;
- разработан нейросетевой алгоритм классификации прочности грунта на основе данных георадиолокационного зондирования, вероятность правильной классификации типа грунта составляет 99 %;
- разработан алгоритм интеграции навигационных данных БИНС и ЛВ в части счисления высоты воздушного судна на базе слабосвязанной схемы с

модификацией фильтра Калмана, ошибка навигационного счисления 30 см на уровне гарантированной вероятности 95 %;

– разработано специализированное программно-математическое обеспечение, которое реализует набор алгоритмов для осуществления безопасной посадки беспилотного вертолета.

Практическая ценность диссертационной работы

Практическая ценность диссертационной работы, представленной на отзыв, состоит в том, что разработанные автором алгоритмы позволяют повысить безопасность осуществления посадки беспилотного вертолета на необорудованную площадку, принимая во внимание требования ИКАО к рельефу площадки и прочности грунта.

Достоверность результатов диссертационной работы

Достоверность результатов работы обеспечивается корректным использованием математического аппарата, результатами проведенных летных экспериментов.

Степень апробации диссертационной работы

Отмечу, что результаты, полученные в диссертационной работе, прошли серьезную апробацию. Автором опубликовано по теме диссертационного исследования 6 научных статей: 4 статьи в журналах, входящих в перечень ВАК; 2 работы в сборниках статей, индексируемых в базе Scopus и Web of Science. Автором сделано 6 докладов на международных и всероссийских научно-технических конференциях. Соискателем зарегистрировано 3 свидетельства программ для ЭВМ.

Содержание диссертации, ее завершенность

Диссертация Ермакова П.Г. представляет собой целостное, завершенное исследование на заданную тему. Логика изложения материала диссертации ясная. Работа написана технически грамотным языком. Автореферат полно отражает основные положения диссертации. Диссертация оформлена в соответствии с требованиями ВАК.

Недостатки диссертационной работы

1. В тексте работы не упоминается вид распределения случайной ошибки ЦКМ при генерировании реализаций высот рельефа (стр. 22), которые используются для оценивания угла наклона потенциальной площадки для осуществления на нее посадки.

2. Функция потерь $C_{i,j}$ (стр. 34), используемая для вычисления вероятности пригодности вертодромов, справедлива для случая статистической независимости вероятностных мер углов наклона и неровностей посадочных площадок. В случае

коррелированности указанных вероятностных мер, возможно завышение вероятности пригодности посадочных площадок.

3. Автор рассматривается только одна единственная архитектура нейронной сети для решения задачи классификации грунта. В работе нигде не производится сопоставления с другими альтернативными вариантами архитектур нейронных сетей.

4. Не приведено вычислительное время функционирования алгоритма интеграции навигационных данных БИНС и ЛВ на этапе коррекции (выражения (30)). Очевидно, что вычисление корреляционной матрицы $\tilde{R}_c$ (стр. 79) требует определенного времени. Здесь можно отметить, что и время определения аномального выброса на основе приведенного автором алгоритма (стр. 76) в данных ЛВ не указано. Ясно, что это время должно быть менее времени дискретизации данного сенсора, чтобы не пропустить очередное значение высоты летательного аппарата по ЛВ.

5. Не рассмотрены ограничения в работе георадара при оценке типа грунта по прочности, вызванные случайными ошибками ЦКМ и лидара.

6. Не рассмотрен вопрос парирования влияния бокового ветра при посадке беспилотного вертолета. При эксплуатации беспилотных летательных аппаратов малого-среднего класса данная проблема носит серьезный характер.

7. Не свободна работа и от неточностей, связанных с оформлением. Надписи на рисунках эволюции высоты беспилотного вертолета по лазерному высотомеру весьма затруднительно прочитать (стр. 55). Надписи на рисунках гистограмм распределения оценки угла наклона неподготовленной площадки не читаются (стр. 95 – 98).

Отмеченные недостатки не снижают общего высокого научного уровня диссертационного исследования.

Заключение

Диссертационная работа, представленная на отзыв, выполнена на высоком научном и техническом уровне. Диссертационное исследование производит положительное впечатление. Диссертация Ермакова Павла Григорьевича на тему: «Разработка алгоритмов для обеспечения безопасной посадки беспилотного вертолета на необорудованную площадку» является законченной научно-квалификационной работой, выполненной лично автором, в ней содержится решение актуальной задачи.

Считаю, что автор владеет необходимыми умениями и навыками проведения исследований, а диссертационная работа соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением

Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842, а ее автор, Ермаков Павел Григорьевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика (технические науки).

Официальный оппонент:

Старший научный сотрудник, Общество с ограниченной ответственностью «Инновационные технологии и решения», доктор технических наук, профессор

« 21 » октября 2025 г.



Гайденков А. В. /

Подпись Гайденкова А.В. заверяю:

должность, степень (если есть), научное звание (если есть)

 **ГЕНЕРАЛЬНЫЙ
ДИРЕКТОР
ГРОЗНОВ А.В.**
Фамилия И.О.

Общество с ограниченной «Инновационные технологии и решения».

Адрес: 105066, город Москва, Нижняя Красносельская ул, д. 35 стр. 9, помещ.
1н/4 .

Сайт: <https://inn-tech.su>

Моб. тел.: +7 (903) 292- 64- 94

E-mail: gaidenkov@mail.ru



С отзывом ознакомлен
27.10.2025 Про-