



ФИЛИАЛ ПУБЛИЧНОГО АКЦИОНЕРНОГО
ОБЩЕСТВА «ОБЪЕДИНЕННАЯ
АВИАСТРОИТЕЛЬНАЯ КОРПОРАЦИЯ» -
ОПЕРАТИВНО-ТАКТИЧЕСКАЯ АВИАЦИЯ
(Филиал ПАО «ОАК» - ОТА)

Поликарпова ул., д. 23 А, Москва, 125284
тел.: (499) 221-18-21, (495) 780 24 90
факс: (495) 945 68 06
e-mail: info@su.uacrussia.ru

ОГРН 1067759884598, ОКПО 98253307
ИНН 7708619320, КПП 771443002

09.06.2026 № 1/801/2176
На № 604-10-646 от 22.04.2026.

Ученому секретарю
диссертационного
совета 24.2.327.03,
доктору технических
наук, доценту

А. В. СТАРКОВУ

125993, г. Москва, Волоколамское
шоссе, д. 4, МАИ, Отдел подготовки
кадров высшей квалификации

Уважаемый Александр Владимирович!

Направляю Вам отзыв на автореферат диссертационной работы Воронина Александра Юрьевича «Разработка реконфигурируемых алгоритмов электродистанционной системы управления вертолета», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.5.16. Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов (технические науки).

Приложение – Отзыв на автореферат Воронина А.Ю. на 4 л., в 2-х экз.

Первый заместитель директора
филиала – управляющий директор
ОКБ ОТА – директор «ОКБ Сухого»,
кандидат технических наук

М.Ю. Стрелец

Исп. Тарасов А.З.
Т. (495) 945-89-22

ОТДЕЛ КОРРЕСПОНДЕНЦИИ
И КОНТРОЛЯ ИСПОЛНЕНИЯ
ДОКУМЕНТОВ МАИ

11.06.2026

Первый заместитель директора
филиала - управляющий директор
ОКБ ОТА - директор ОКБ Сухого,
кандидат технических наук

М. Ю. Стрелец
2026г.



ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы
Воронина Александра Юрьевича на тему «Разработка
реконфигурируемых алгоритмов электродистанционной системы
управления вертолёт», представленной на соискание ученой степени
кандидата технических наук по специальности 2.5.16. Динамика,
баллистика, управление движением летательных аппаратов
(технические науки)

Диссертационная работа Воронина А. Ю. (далее Автор) посвящена исследованию и разработке алгоритмов электродистанционной системы управления (ЭДСУ) вертолёт, позволяющей выполнить современные требования к характеристикам устойчивости и управляемости вертолёт и повысить безопасность полёт. Традиционные способы реализации ручного управления полетом вертолетов исчерпали возможности дальнейшего развития в части повышения точности управления и безопасности полета, особенно в связи с расширением диапазона режимов полета перспективных вертолетов, в первую очередь по скорости, а также в связи с расширением использования вертолетов с новыми схемами организации управления. Кроме того, применение на вертолете ЭДСУ позволяет снизить массу системы управления при обеспечении высокой эксплуатационной надежности и, главное, обеспечить улучшение пилотажных характеристик ручного управления. Поэтому конструкторы вертолетов всё чаще рассматривают на перспективных проектах применение ЭДСУ. Следует отметить, что внедрение ЭДСУ на вертолетах отстает от самолетов, где такие системы внедряются уже давно, а соответствующие методы разработки и эксплуатации ЭДСУ развиты и широко используются. Это делает тему диссертационной работы Автора безусловно **актуальной**, повышает её **научную новизну**, техническую и **практическую значимость** полученных результатов диссертационной работы.

Диссертационная работа состоит из введения, в которой обосновывается актуальность темы диссертации и четырёх глав.

В первой главе Автор выполняет анализ имеющегося отечественного и зарубежного опыта в области разработки вертолёт с ЭДСУ, актуальных требований к пилотажным характеристикам перспективных вертолёт и сложившихся подходов к созданию их математических моделей, используемых для разработки алгоритмов ЭДСУ в соответствии с этими требованиями.

Синтез и отработка эффективных алгоритмов ЭДСУ невозможны без использования физически корректной математической модели объекта

ОТДЕЛ КОРРЕСПОНДЕНЦИИ
И КОНТРОЛЯ ИСПОЛНЕНИЯ
ДОКУМЕНТОВ МАИ

11.06.2026г.

управления – вертолета – описывающей значимые особенности его динамики. У вертолета, в отличие от самолета, такой характерной особенностью является сложная динамическая структура создаваемых несущим винтом сил и моментов, в которой основной вклад вносит маховое движение лопастей. В результате вертолет, как объект управления, в отличие от самолета обладает в области частот твердого тела дополнительным запаздыванием с характерным значением, зависящим от параметров винта и имеющим порядок около 0.1 сек, которое добавляется к запаздыванию от приводов системы управления, фильтров упругих колебаний, цифровой ЭДСУ и др. Автор на основании проведенного анализа показывает, что учет этого эффекта является обязательным при синтезе законов управления вертолетной ЭДСУ, а непринятие этого запаздывания в расчет приведет к некорректным результатам.

В качестве требований к характеристикам устойчивости и управляемости вертолета с ЭДСУ Автор предлагает использовать стандарт ADS-33, так как отечественные требования НЛГ-27 и НЛГ-29, к сожалению, не содержат необходимых технических требований. В частности, при синтезе законов управления предлагается использовать формы движения и типы реакции вертолета по управляемой переменной (Rate, RC, RCAN, ACAN, TRC) при ручном управлении, предлагаемые в ADS-33, а также использовать классические запасы устойчивости по амплитуде (в 2 раза) и по фазе (45 градусов).

Основываясь на рассматриваемых формах движения и на особенностях решаемых задач пилотирования, характеризующихся параметром UCE (Usable Cue Environment – используемая информационная среда), Автор делает вывод о необходимости реализации законов управления ЭДСУ в виде реконфигурируемых алгоритмов, которые автоматически или по желанию летчика выбирают наиболее подходящий в данной ситуации тип динамической реакции. Это является дополнительным аргументом в пользу использования ЭДСУ.

Во второй главе Автор рассматривает вопросы разработки реконфигурируемого алгоритма ЭДСУ вертолетов для реализации различных видов требуемой динамической реакции.

При минимальном уровне автоматизации для реакций вида RC предлагается использовать только обратные связи по угловым скоростям и перегрузкам.

Для реализации более сложных реакций (RCAN, ACAN, TRC) Автор предлагает многоконтурный алгоритм ЭДСУ с переключениями контуров от летчика или автоматически в зависимости от условий полета.

Для анализа характеристик устойчивости и управляемости предлагаемой ЭДСУ Автор применяет разработанную им методику, опирающуюся на использование упрощенных эквивалентных моделей динамики вертолётa с ЭДСУ, при которой вертолет описывается по регулируемой фазовой переменной эквивалентным звеном 1-го или 2-го порядка с дополнительным запаздыванием. Это позволяет в достаточно общем виде учесть влияние ключевых особенностей динамики неавтоматизированного вертолётa на выбор параметров алгоритмов ЭДСУ и получить оценки основных нормируемых пилотажных характеристик. При таком описании классы вертолетов – легкие (в т.ч. с бесшарнирным винтом),

средние, тяжелые – могут быть разделены по характерной величине безразмерной производной M^0 (абсолютная величина уменьшается в ряду «легкий с бесшарнирным винтом-легкий-средний-тяжелый») в канале управления. В результате выполненного анализа Автор показывает, что при использовании во внутреннем контуре алгоритма ЭДСУ обычного пропорционально-интегрального закона заданные характеристики могут быть получены, главным образом, на средних и тяжёлых вертолётах.

В третьей главе Автор предлагает модификацию внутреннего контура алгоритма ЭДСУ, которая позволяет использовать его на вертолетах всех классов. Для этого Автор рассматривает для внутреннего контура интегральный закон управления с эталонной моделью, служащей для формирования управляющего сигнала интегральной части алгоритма. В качестве эталонной модели используется колебательное звено с чистым запаздыванием, параметры которого определяются частотными методами. С использованием той же методики, что и в предыдущей главе, Автор показывает, что в таком модифицированном виде реконфигурируемый алгоритм может быть использован на вертолётах всех классов, в т.ч. лёгких с бесшарнирным несущим винтом.

В четвертой главе для подтверждения результатов, полученных с помощью эквивалентных моделей, Автор провел синтез алгоритмов предложенной им структуры для трёх вертолётов различной весовой категории. Синтез проводится в постановке, максимально близкой к принятой в авиационной промышленности: с учётом влияния нелинейностей математической модели как самого вертолёта, так и системы управления, запаздывания от фильтров сигналов прямых и обратных связей, необходимых для повышения помехозащищённости системы управления и ослабления вибраций, вызванных несущим винтом, цифровой реализации ЭДСУ. Отличие результатов по основным нормируемым показателям пилотажных характеристик от полученных в главах 2 и 3, составило в большинстве случаев не более 10 %, что является приемлемой точностью.

Достоверность результатов диссертации подтверждается использованием корректных методов математического моделирования динамических систем, подробных и максимально валидированных математических моделей, а также полунатурным моделированием динамики движения вертолёта на пилотажном стенде.

Как указывалось выше, результаты Автора отличаются **научной новизной и практической значимостью**. При этом следует отметить, что результаты могут быть использованы с небольшими изменениями не только для классического вертолета, но и для аппаратов типа конвертоплан, а также для летательных аппаратов с бесшарнирными винтами, в частности для многовинтовых беспилотных аппаратов, интерес к которым многократно вырос в последнее время.

В целом диссертационная работа Воронина А.Ю. выполнена на высоком уровне и может быть рассмотрена как законченная квалификационная работа.

В качестве недостатков рассматриваемой диссертационной работы можно указать следующие:

- Автор указывает, что реконфигурация законов управления предложенного многоконтурного алгоритма управления ЭДСУ может производиться либо

летчиком, либо автоматически, однако не описывает никаких способов автоматического включения/переключения контуров и выбора типа реакции из набора (Rate, RC, RCAN, ACAN, TRC);

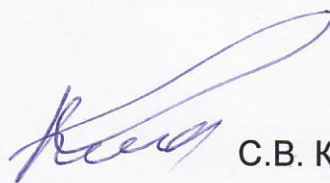
- на рис. 2 и 4 на блок-схемах изображены скалярные передаточные функции, имеющие два независимых входных сигнала;
- при построении эталонной модели используется квадратичный критерий в виде суммы квадратов разностей амплитуд и фаз с весовым множителем, выбор величины которого (0.02) не поясняется.

Указанные недостатки не снижают качества представленной работы соискателя, которая заслуживает положительной оценки.

Работа прошла необходимую **апробацию** в печатных работах и на конференциях.

В целом, диссертационная работа Воронина Александра Юрьевича на тему «Разработка реконфигурируемых алгоритмов электродистанционной системы управления вертолѐта» удовлетворяет всем требованиям «Положения о присуждении научных степеней», а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.16. Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов (технические науки).

Главный конструктор по системам
управления ЛА, доктор технических
наук, профессор



С.В. Константинов

Главный конструктор по аэродинамике,
кандидат технических наук,
старший научный сотрудник



А.З. Тарасов

Публичное акционерное общество «Объединенная
авиастроительная корпорация» (ПАО «ОАК»),
Филиал «Оперативно-тактическая авиация» (ОТА),
Опытно-конструкторское бюро Сухого (ОКБ Сухого)
125284, г. Москва, ул. Поликарпова, д. 23А,
Тел. 8(495)945-66-06
e-mail: info@sukhoi.org

С изданием ознакомлен  Воронин А. Ю.
11.06.2026г.