



Государственный научный центр Российской Федерации
Федеральное автономное учреждение

**ЦЕНТРАЛЬНЫЙ
АЭРОГИДРОДИНАМИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
имени профессора Н.Е. Жуковского
ФАУ «ЦАГИ»**

Жуковского ул., д. 1, г. Жуковский, Московская область, 140180
тел.: +7 495 556-4303, факс: +7 495 777-6332, www.tsagi.ru
ОГРН 1225000018803, ИНН 5040177331, КПП 504001001, ОКПО 50205960

№ _____

На № _____ от _____

«УТВЕРЖДАЮ»

Первый заместитель
генерального директора
ФАУ «Центральный
аэрогидродинамический институт
имени профессора Н.Е. Жуковского»

д.ф.м.н., профессор РАН,

А.Л. Медведский

2026 г.



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

**на диссертацию Щербакова Александра Игоревича на тему
«Разработка адаптивной системы управления с идентификацией
математической модели летательного аппарата в реальном
масштабе времени», представленную на соискание ученой степени
кандидата технических наук по специальности 2.5.16. – «Динамика,
баллистика, управление движением летательных аппаратов
(технические науки)»**

Повышение безопасности полетов является важнейшей задачей при проектировании авиационной техники. Традиционно такая задача решается путем синтеза алгоритмов системы управления, которые должны обеспечивать наивысший уровень пилотажных характеристик в условиях неопределенностей, таких как неточное знание свойств летательного аппарата как объекта управления и резкое изменение этих свойств в результате возникновения отказов. Кроме того, ограниченные возможности исполнительных устройств систем управления ЛА могут привести к развитию неустойчивых процессов при выполнении задач пилотирования. Поэтому задача синтеза алгоритмов управления, которые могут устранить такие недостатки, безусловно является **актуальной**.

ОТДЕЛ КОРРЕСПОНДЕНЦИИ
И КОНТРОЛЯ ИСПОЛНЕНИЯ
ДОКУМЕНТОВ МАИ

«01» 09 2026 г.

В диссертационной работе А.И. Щербакова для достижения требуемых пилотажных характеристик автором предлагается использование адаптивных алгоритмов управления, базирующихся на принципе обратной динамики. Адаптивные свойства системы управления обеспечиваются путем использования алгоритмов идентификации математической модели динамики ЛА в реальном масштабе времени. Отдельной задачей диссертационной работы является разработка алгоритма функционирования нелинейного префильтра, позволяющего не допустить возникновения так называемого явления раскачки самолета летчиком путем уменьшения потребных скоростей отклонения управляющих поверхностей.

Научная новизна и теоретическая значимость диссертационного исследования заключаются в:

- Алгоритме онлайн-идентификации параметров модели движения ЛА, использующим обновляемый буфер данных, который обеспечивает получение достоверных параметров линеаризованной математической модели в режиме реального времени, а также учитывает проверку условий идентифицируемости;

- Законах управления регулятора, базирующегося на принципе обратной динамики, сформированных с использованием упрощенных моделей движения ЛА;

- Алгоритме функционирования нелинейного префильтра-гасителя колебаний, позволяющего обеспечивать работу приводов рулей в линейной области, и не вводящего дополнительного фазового запаздывания.

Практическая значимость диссертационного исследования заключается в том, что разработанные алгоритмы позволяют обеспечить желаемую динамику объекта управления, а также имеют адаптивные свойства за счет определения параметров линеаризованной модели движения ЛА. Применение нелинейного префильтра позволяет не допустить возникновения раскачки самолета летчиком. Эффективность предложенного адаптивного регулятора и префильтра по сравнению с традиционными методами

построения законов управления подтверждена путем проведения экспериментальных исследований на пилотажном стенде для ряда математических моделей ЛА различных классов (самолетного и вертолетного типов).

Основные результаты исследования достаточно полно отражены в 8 публикациях, 4 из которых в изданиях, **рекомендованных ВАК**; 4 – в журналах **Scopus** (в т.ч. 2 статьи в журналах **Q1**). Щербаковым А.И. сделано 14 докладов на конференциях различного уровня. Получен 1 патент на изобретение.

Диссертационная работа Щербакова А.И. состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы.

Введение содержит обоснование актуальности темы исследования, цели и задачи, обоснование научной новизны и практической значимости полученных результатов, положения диссертационной работы, выносимые на защиту, сведения об апробации результатов диссертационной работы.

В **первой** главе диссертации Щербаковым А.И. анализируется несколько подходов к синтезу алгоритмов управления, базирующихся на принципе обратной динамики. Выбор принципа построения регулятора обосновывается тем, что он позволяет обеспечить в районе частоты среза динамику объекта управления, соответствующую интегрирующему звену. Как правило, такая динамика обеспечивает наипростейший характер действий летчика при выполнении им целевых задач пилотирования. Кроме того, законы управления на базе принципа обратной динамики уже находят применение в серийных образцах авиационной техники различных классов – как самолеты, так и вертолеты. На основании анализа известных подходов к синтезу такого регулятора с точки зрения условий его реализуемости, сравнения имеющихся достоинств и недостатков, а также путем проведения математического моделирования, для дальнейших исследований был выбран способ построения регулятора на основе принципа нелинейной обратной динамики.

Во **второй главе** диссертации описан алгоритм идентификации линеаризованной модели динамики летательного аппарата в режиме реального времени, использующего в качестве исходной информации так называемый буфер данных. Использование разработанного алгоритма идентификации позволяет обеспечить высокий уровень робастности законов управления на базе принципа обратной динамики, поскольку для их реализации требуется достаточно точное знание параметров объекта управления. В рамках диссертационного исследования Щербаковым А.И. исследуется влияние размерности буфера данных и шумовой составляющей сигналов, используемых в качестве исходной информации, на процесс идентификации, а также показана возможность использовать для синтеза регуляторов упрощенные математические модели движения ЛА, параметры которых за счет применения алгоритма идентификации достаточно точны для их использования в контуре управления.

В **третьей главе** автором приводится описание алгоритма функционирования нелинейного префильтра-гасителя колебаний, который позволяет за счет уменьшения потребных скоростей отклонения рулевых поверхностей избежать возникновения явления раскачки самолета летчиком. Кроме того, в отличие от существующих алгоритмов подавления раскачки, такой вариант не вводит дополнительного фазового запаздывания в контур управления, если потребная скорость отклонения не превышает располагаемую.

Четвертая глава посвящена экспериментальным исследованиям разработанных алгоритмов с использованием различных математических моделей динамики летательных аппаратов. Использовались мат. модели аппаратов как самолетного типа с известными параметрами, так и вертолетного типа. Эксперименты проводились на пилотажных стендах и состояли в выполнении различных задач пилотирования как в штатных условиях, так и при возникновении отказов. К исследованиям привлекались

опытные операторы и летчики. Полученные результаты позволяют сделать вывод о высокой эффективности разработанных алгоритмов.

В заключении перечислены основные результаты, полученные в диссертации.

Достоверность и обоснованность результатов исследования подтверждается путем проведения математического моделирования, а также экспериментальных исследований с использованием различных математических моделей летательных аппаратов как самолетного, так и вертолетного типов.

Материалы диссертации соответствуют паспорту специальности 2.5.16. – «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов (технические науки)». **Автореферат** соответствует тексту диссертации, в достаточно полной мере отражает ее содержание и позволяет получить представление о результатах работы.

Количество публикаций и степень апробации работы являются достаточными для положительной оценки.

Диссертационная работа содержит новые научно-обоснованные технические решения, внедрение которых имеет и вносит значительный вклад в развитие авиационной отрасли страны.

Кроме преимуществ в работе Щербакова А.И. имеется ряд недостатков:

- не описана используемая модель случайной составляющей сигналов с датчиков;
- в работе не рассматривается влияние интенсивной атмосферной турбулентности на процесс онлайн-идентификации;
- в тексте работы имеются досадные опечатки и стилистические погрешности.

Отмеченные недостатки не снижают ценности диссертационного исследования.

Заключение. В целом диссертация Щербакова А.И. представляет собой законченную научно-исследовательскую работу, выполненную

на высоком научно-техническом уровне и имеющую новизну, теоретическую и практическую значимость.

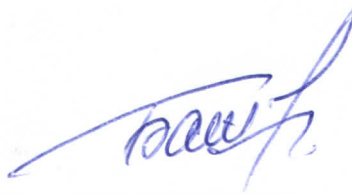
Работа полностью отвечает требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней» ВАК РФ. Автор работы – Щербаков Александр Игоревич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.16. – «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов (технические науки)».

Диссертационная работа Щербакова А.И. и отзыв на работу обсуждены на заседании НТС НИЦ БП ФАУ «ЦАГИ» (протокол № 93 от 2 августа 2026г.).

Отзыв составил:

Начальник НИО-15 НИЦ БП,
доктор технических наук, доцент

(должность, учёная степень, учёное звание)



(число, подпись)

Баженов
Сергей
Георгиевич

(ФИО)

Подпись Баженова Сергея Георгиевича удостоверяю

Заместитель начальника управления
персоналом – начальник отдела кадров
ФАУ «ЦАГИ»



О.А.Шабурова

Название организации: Федеральное автономное учреждение «Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е.Жуковского» (ФАУ «ЦАГИ»).

Адрес организации: 140180, Московская область, г. Жуковский, ул. Жуковского, д. 1

Телефон: +7-495-556-43-03

Адрес электронной почты: info@tsagi.ru

С отзывом ознакомлен  Щербаков А.И.
01.09.2026