

ОТЗЫВ

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

Диссертационная работа Щербакова Александра Игоревича направлена на повышение безопасности полета и улучшение пилотажных свойств летательных аппаратов (ЛА) различных типов. Для достижения поставленной цели исследований автором поставлена и решена **актуальная техническая задача** синтеза адаптивных робастных систем управления летательных аппаратов, обеспечивающих желаемый уровень пилотажных свойств ЛА независимо от точности знания параметров объекта управления, а также функционирующих в условиях наличия ограничений, связанных с добротностью рулевых приводов. Рассматриваемая система управления основана на применении принципа обратной динамики с использованием метода параметрической идентификации линеаризованной модели движения ЛА в режиме реального времени. Функционирование предлагаемой адаптивной системы управления рассматривается с учётом предотвращения явления РЮ (раскачки самолёта лётчиком), путём разработки префильтра-гасителя колебаний, позволяющего снизить требуемые скорости отклонения рулей вплоть до исключения выхода рулевого привода на предельную скорость.

Эффективность предложенных алгоритмов подтверждена путем выполнения комплекса исследований, включающих математическое моделирование и проведение экспериментальных исследований на пилотажных стендах.

ОТДЕЛ КОРРЕСПОНДЕНЦИИ
И КОНТРОЛЯ ИСПОЛНЕНИЯ
ДОКУМЕНТОВ МАИ
24.08.2026г.

Научная новизна результатов исследований представлена разработанным автором *новым алгоритмом онлайн-идентификации параметров модели движения ЛА*, обеспечивающим получение достоверных параметров линеаризованной математической модели в режиме реального времени, а также *новым алгоритмом функционирования нелинейного префильтра-гасителя колебаний*, позволяющего обеспечивать работу приводов рулей в линейной области, исключаяющей явление РЮ, и не вводящий дополнительного фазового запаздывания.

Практическая значимость работы заключается в реализации возможности обеспечения *адаптивных свойств регулятора с учетом действия неопределенностей* и исключение возникновения явления раскачки ЛА летчиком путем снижения требуемых скоростей отклонения рулевых поверхностей без дополнительного фазового запаздывания.

Достоверность работы подтверждается результатами расчётных и стендовых исследований для ряда математических моделей ЛА различных классов (самолетного и вертолетного типов), а также оценкой адекватности полученных алгоритмов онлайн-идентификации путем выполнения математического моделирования с использованием линейных и нелинейных моделей движения ЛА различных типов.

Работа прошла достаточную апробацию, результаты диссертационной работы представлялись, обсуждались и получили положительную оценку на различных конференциях, в том числе международных (14 докладов). Результаты по теме диссертации опубликованы в 8 научных изданиях, из которых:

- **4 статьи** в изданиях, рекомендованных ВАК (в том числе 2 статьи, англоязычные версии которых индексируются в Scopus);
- **4 статьи** в журналах, индексируемых в базе данных Scopus, (в том числе 2 статьи по материалам конференций в издании, индексируемом в Scopus).

По теме диссертации получен патент на изобретение.

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 61 наименований.

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи исследования, отмечена научная новизна и практическая значимость полученных результатов, приведены основные положения диссертационной работы, выносимые на защиту, а также сведения об апробации результатов диссертационной работы.

В первой главе выполнен обзор и анализ в направлении известных способов синтеза закона управления на базе обратной динамики, среди которых выделяются:

- введение фильтра обратной динамики;
- нелинейная обратная динамика (NDI);
- инкрементальная нелинейная обратная динамика (INDI).

По результатам выполненного анализа автор диссертационной работы вполне обоснованно делает вывод о том, что наиболее целесообразным для использования на борту ЛА по совокупности факторов является NDI-регулятор.

Во второй главе приводится описание алгоритма онлайн-идентификации, позволяющего определять коэффициенты линеаризованной модели движения летательного аппарата в режиме реального времени и использовать их для настройки параметров регулятора.

При непрерывном изменении параметров движения в диссертационной работе предлагается оригинальный метод, основанный на использовании *обновляемого* буфера (массива) данных с обоснованием допустимого минимального его размера. Применение обновляемого буфера данных делает возможным аппроксимировать параметры нестационарных динамических систем в постоянном режиме, а также проводить линеаризацию нелинейных систем на конечном интервале времени. Достаточную точность такой онлайн-аппроксимации показывают результаты математического моделирования с использованием полной нелинейной модели движения ЛА.

Приводится описание соответствующих адаптивных регуляторов в продольном и боковом каналах управления на базе принципа обратной динамики с онлайн-идентификацией.

Для повышения качества управления приводится описание влияния шумовых составляющих сигналов датчиков на процесс идентификации линеаризованной модели движения ЛА в режиме реального времени в заданных каналах.

В третьей главе решается задача создания альтернативного варианта префильтра, который должен обеспечивать подавление явления раскачки самолета летчиком путем снижения потребных скоростей работы привода.

Показано, что введение префильтра в контур управления позволяет существенно уменьшить потребные скорости отклонения органов управления и полностью исключить явление РЮ. Кроме этого, снижение потребных скоростей перемещения выходного звена привода приводит к снижению его потребной мощности, что позволяет уменьшить его габариты и массу.

В четвертой главе приводятся результаты экспериментальных исследований по оценке эффективности предложенных новых алгоритмов управления. Экспериментальные исследования представлены решением задач ручного пилотирования на пилотажных стендах в различных условиях, включая различные отказы и действия атмосферной турбулентности. Исследования выполнялись с использованием предложенного автором адаптивного регулятора на базе обратной динамики, реализованной путём обратных связей, с оценкой влияния динамики исполнительных механизмов. В качестве объектов управления рассматривались:

- сверхзвуковой пассажирский самолёт, статически неустойчивый на дозвуковых скоростях,
- региональный самолёт, оснащённый комплексной системой штурвального управления,

- летательный аппарат вертолётного типа (использовалась математическая модель в виде «чёрного ящика»).

В приведённых результатах сравнительного анализа показаны очевидные преимущества предлагаемого автором диссертационной работы адаптивного регулятора на базе обратной динамики, применительно к рассмотренным типам летательных аппаратов.

В заключении приводится перечень основных результатов, полученных в диссертационной работе.

Автореферат соответствует основным положениям диссертации, даёт полное и целостное представление о содержании и результатах работы.

В качестве замечаний можно отметить следующее:

1. В описании модели гидравлических рулевых приводов отсутствует неизбежное наличие зоны нечувствительности и оценка её влияния на качество управляющих воздействий при реализации предлагаемых законов управления.
2. В предоставленных материалах диссертации отсутствуют выводы по главам;
3. В нумерации рисунков встречаются ошибки.

Указанные замечания не снижают общего высокого научного уровня и ценности результатов рассматриваемой диссертационной работы.

Диссертационная работа Щербакова Александра Игоревича на тему «Разработка адаптивной системы управления с идентификацией математической модели летательного аппарата в реальном масштабе времени» представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, содержащую решение актуальной научной задачи, имеющей важное научное и практическое значение.

Работа соответствует паспорту специальности 2.5.16. «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов (технические науки)».

По актуальности темы, новизне и практической значимости полученных научных результатов, содержанию и оформлению, рассматриваемая диссертационная работа соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор Щербаков Александр Игоревич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.16. «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов (технические науки)».

Доктор технических наук,
начальник отдела 901 ПАО «МИЭА» _____  Гребенкин А.В.

« 10 » _____ 08 _____ 2026 г.

Публичное акционерное общество «Московский институт электромеханики и автоматики»

Адрес: 125167, город Москва, Авиационный переулок, 5

Тел.: +7 (499) 152-48-74

E-mail: inbox@aomiea.ru

Официальный сайт: <https://aomiea.ru/>

Подпись Гребенкина Александра Витальевича удостоверяю

Учёный секретарь к.т.н., с.н.с.

(должность)



Кербер О.Б.

(Фамилия И.О.)

С отзывом ознакомлен  Щербаков А.И.
24.08.2026