

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Терехова Романа Игоревича на тему «Обеспечение требований к управляемости пассажирских самолётов при отказах в силовой части систем управления», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.16. Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов (технические науки)

Диссертационная работа посвящена решению **актуальной технической задачи** разработки подходов к повышению безопасности полётов, эффективности лётной эксплуатации и сокращению затрат при проектировании систем управления перспективных пассажирских самолётов на основе предлагаемой *новой методики формирования структурного построения системы управления* для применения на ранних этапах проектирования, которая позволит обеспечить выполнение нормативных требований к характеристикам *управляемости самолёта в отказных ситуациях*.

Научная новизна результатов исследований представлена разработанной автором диссертационной работы новой структурой системы управления самолётом, состоящей из *двух центральных гидросистем с обеспечением аварийного электродистанционного управления посредством серворулей на рулевых поверхностях в каналах управления по тангажу, крену и рысканию*. Предлагаемая структура силовой системы управления с двумя гидросистемами и электрическим резервом может быть реализована при разработке перспективного самолёта транспортной категории в соответствии с концепцией «более электрического самолёта».

Новизна представленных в диссертации материалов также заключается в разработанной *математической модели самолёта с аварийным электродистанционным контуром управления серворулями, учитывающей одновременно особенности динамики серворуля с учётом нелинейных*

эффектов трения и демпфирования, и особенности реализации электродистанционного управления сервоулями.

Предложена новая методика формирования структурного построения системы управления для обеспечения требуемых характеристик управляемости самолёта при отказах в силовой системе управления.

Практическая значимость работы заключается в том, что применение разработанной автором методики формирования структурного построения системы управления при разработке новых самолётов позволит решать задачи по повышению уровня безопасности полётов при различных отказах гидросистем и повысить экономическую эффективность лётной эксплуатации самолётов за счёт снижения массы конструкции системы управления.

Достоверность работы подтверждается результатами расчётных и стендовых исследований, вошедших в отчёты по теме отработки комплексной системы управления самолёта МС-21-300 в отказных ситуациях.

Работа прошла достаточную апробацию, результаты диссертационной работы представлялись, обсуждались и получили положительную оценку на различных конференциях, в том числе международных. Результаты по теме диссертации опубликованы в 13 научных изданиях, из которых 4 – опубликованы в рецензируемых научных изданиях Перечня ВАК РФ.

По теме диссертации получен патент на изобретение.

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 74 наименований. Текст диссертации изложен на 178 страницах, включает 68 рисунков.

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 в направлении проектирования систем управления самолётов с учётом обеспечения сертификационных требований безопасности полётов. Проведен анализ требований отечественных и зарубежных норм лётной годности к системам управления с обязательным резервированием энергоканалов (гидросистем), а также отдельных требований к компонентам системы управления при отказе всех двигателей. Показано, что важное значение имеет выбор *способа распределения потребителей системы управления по энергоканалам при резервировании*.

Во второй главе представлена структура разработанной полной нелинейной математической модели самолёта, позволяющей моделировать различные отказы в силовой части системы управления и выполнять оценки их влияния на характеристики устойчивости и управляемости самолёта на всех режимах и этапах полёта с учётом соответствующих вариантов реконфигурации посекционного отклонения всех органов аэродинамического управления и механизации крыла. *Важной особенностью полной математической модели самолёта является математическая модель рулевых приводов с учётом влияния шарнирных моментов и давления в гидросистеме, сухого трения и демпфирования пассивного рулевого привода на динамику отклонения рулевых поверхностей*.

В третьей главе рассматривается *методика формирования структурного построения силовой системы управления перспективного магистрального самолёта с двумя двигателями*. Рассматривается классическое построение силовой части системы управления с тремя независимыми гидросистемами (ГС1, ГС2, ГС3) и применением электрогидравлических рулевых приводов (ЭГРП) и гидромоторов для перемещения основных рулевых поверхностей.

В соответствии с предлагаемой *методикой* приводятся варианты структурного построения системы управления, которые обеспечивают наименьшую степень ухудшения характеристик управляемости и посадочных характеристик самолёта, а также обеспечивают выполнение требований к

безопасному завершению полёта при всех возможных сочетаниях отказов двух гидросистем.

В четвертой главе рассматривается предлагаемый автором диссертационной работы инновационный *вариант построения силовой части системы управления* регионального самолёта транспортной категории с двумя централизованными гидросистемами и использованием аварийного дистанционного сервоуправления, обеспечивающего безопасное завершение полёта при отказе двух гидросистем.

Большой интерес представляет реализованная автором возможность аварийного электродистанционного сервоуправления применительно к перспективным самолётам транспортной категории. *Учитывая особенности принципа сервоуправления, обеспечивается возможность использовать электромеханический привод (ЭМП) небольшой мощности с малой массой и габаритами.* Кроме этого показано, что электродистанционное сервоуправление может успешно работать в основном режиме управления, снижая нагрузки на ЭГРП при перемещении основных рулевых поверхностей. При этом, учитывая, что сервоуправление характеризуется повышенным запаздыванием на управляющие действия лётчика и низкой эффективностью при малых углах отклонения серворуля, для повышения качества управления автор диссертационной работы предложил ввести в электродистанционный закон управления серворулём форсирующий префильтр с демпфированием в сочетании с возможностью увеличения скорости перемещения серворуля с учётом ограничений по вероятности раскачки самолёта лётчиком (PIO). Рассмотрена возможность повышения эффективности сервоуправления за счёт допустимого по PIO увеличения максимальной скорости перемещения серворуля и увеличения скорости полёта.

Для оценки пилотажных характеристик самолёта и правильности выбора параметров контура аварийного сервоуправления были проведены **стендовые исследования** управляемости самолёта в режиме аварийного сервоуправления

с участием лётчиков-испытателей ЛИИ им. Громова. Исследования проводились на пилотажном стенде ПСПК-102 ЦАГИ с моделированием заходов на посадку с учётом различных скоростей захода на посадку, ветровых возмущений и заданных смещений самолёта относительно глиссады в вертикальной и горизонтальной плоскости. Полученные лётные оценки подтверждают правильность результатов расчётных исследований и возможность безопасного завершения полёта в режиме аварийного сервоуправления.

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.

Замечания по диссертационной работе Терехова Романа Игоревича:

1. В представленной математической модели аэродинамических характеристик секций интерцепторов (таблица 2.2) нет описания логики посекционного формирования соответствующих коэффициентов сил и моментов в общей сборке;
2. Математическая модель силовой установки использует высотно-скоростные характеристики двигателей без учёта влияния температуры атмосферного воздуха на тягу;
3. Математическое описание процесса замещения тяги работающего двигателя тягой авторотации содержит некорректное описание способа учёта относительного изменения силы тяги по времени с момента отказа;
4. Приведённая в диссертации методика расчёта коэффициента аэродинамического демпфирования рулевых поверхностей требует пояснений в части определения коэффициента Ω_4 ;
5. На рис. 4.12 указана не верная размерность X_v ;

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

Диссертационная работа Терехова Романа Игоревича на тему «Обеспечение требований к управляемости пассажирских самолётов при отказах в силовой части систем управления» 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 Терехов Роман 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.

« 11 » _____ 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)



(подпись)

Кербер О.Б.

(Фамилия И.О.)

с отзывом ознакомили
10.03.2026

Терехов Р.И.