

ОТЗЫВ

научного руководителя Шелюхина Юрия Федоровича на диссертационную работу Терехова Романа Игоревича на тему «Обеспечение требований к управляемости пассажирских самолётов при отказах в силовой части систем управления», представленной к защите на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.16. Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов (технические науки)

Р.И. Терехов окончил Московский авиационный институт в 2010 г. по специальности «Испытание летательных аппаратов». В течение нескольких лет он занимался анализом последствий отказных ситуаций в силовой части систем управления и обеспечением требований к управляемости современных пассажирских самолётов с электродистанционными системами управления (ЭДСУ) в отказных ситуациях.

Для управления современным пассажирским самолётом с ЭДСУ необходимо на протяжении всего полёта обеспечивать бесперебойную подачу энергии к вычислительной и исполнительной частям системы управления. Отказы в системе управления и взаимодействующих с ней системах (например, гидравлической системы или силовой установки) могут привести к возникновению особых (нештатных) ситуаций в процессе полёта, ухудшению характеристик управляемости, увеличению посадочной дистанции. Надёжность и отказобезопасность бортовых систем самолёта определяются их архитектурным построением, уровнем резервирования и надёжности элементов. При этом внесение изменений в конструкцию самолёта (а именно, структуру силовой части системы управления и взаимосвязанные системы энергоснабжения) значительно усложняется на поздних стадиях проектирования и сопровождается дополнительным увеличением финансовых затрат. Поэтому актуальной темой является разработка 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.

Целью диссертационной работы Терехова Р.И. является разработка подходов к повышению безопасности полётов и сокращению затрат при проектировании систем управления перспективных пассажирских самолётов. Для достижения поставленной цели автором разрабатывается методика формирования структуры силовой системы управления на ранних этапах проектирования, обеспечивающей выполнение требований к характеристикам управляемости и посадочным характеристикам самолёта в отказных ситуациях, а также инновационная структура системы управления в концепции «более электрический самолёт» с аварийным электродистанционным сервоуправлением, обеспечивающая разнородное резервирование силовой части системы управления.

Терехов Р.И. проанализировал и выделил численные критерии к характеристикам управляемости самолёта для обеспечения безопасного продолжения и завершения полёта на основании действующих нормативных документов и рекомендательных циркуляров. Данные критерии позволяют использовать расчётные исследования и моделирование для подтверждения соответствия требованиям безопасности в широком диапазоне режимов полёта и конфигураций самолёта. Проведение таких исследований обуславливает дополнительные требования к построению математических моделей в части аэродинамических характеристик самолёта, характеристик двигательной установки и шасси, элементов исполнительной части системы управления. Структура полной математической модели самолёта с системой управления, необходимой для проведения расчётных и стендовых исследований по оценке влияния отказов на характеристики устойчивости и управляемости самолёта на всех режимах и этапах полёта, также представлена автором в работе.

Тереховым Р.И. разработана методика формирования структурного построения системы управления для применения в том числе на ранних этапах проектирования, которая позволит обеспечить выполнение нормативных требований к управляемости и системе управления самолёта в отказных

ситуациях. Данная методика использует разработанное ранее в МАИ понятие критериальных параметров подсистем, т.е. таких параметров, которые наиболее полно отражают функциональные возможности подсистем, для оценки управляемости и посадочных характеристик самолёта. В ходе реализации разработанной методики поставлена и решена задача целочисленного программирования с использованием суррогатной оптимизации для выбора распределения потребителей системы управления по энергосистемам. Применение разработанной методики призвано помочь избежать необходимости внесения изменений в конструкцию самолёта (а именно, структуру силовой системы управления и взаимосвязанные системы энергоснабжения) на поздних стадиях проектирования и сопутствующего увеличения финансовых затрат.

Тереховым Р.И. разработан 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. По сравнению с существующими схемами сервоуправления с механической связью, предлагаемая структура не требует механического резерва и может быть реализована на перспективном самолёте транспортной категории с ЭДСУ. Для проведения математического моделирования динамики самолёта в режиме сервоуправления, Тереховым Р.И. разработаны и реализованы в среде программирования MATLAB/Simulink нелинейные модели движения рулевой поверхности под действием шарнирного момента с учётом особенностей, вызываемых силами трения и демпфирования от электрогидравлических рулевых приводов, а также аэродинамического демпфирования рулевой поверхности.

Разработанные математические модели движения рулевой поверхности были включены в состав полной математической модели динамики самолёта с ЭДСУ для проведения расчётных и стендовых исследований.

Терехов Р.И. провел широкий спектр расчётных исследований по обоснованию структуры и выбору параметров алгоритмической части контура аварийного сервоуправления, а также обоснованию требований к коэффициенту демпфирования рулевых приводов. Для обеспечения безопасного перехода на режим сервоуправления после отказа двух гидросистем автором предложены способы реализации автоматического отклонения серворуля в основном режиме управления для компенсации шарнирного момента на основной рулевой поверхности. Для уменьшения фазового запаздывания, возникающего в режиме сервоуправления, автором рекомендовано применение форсирующих префильтров во всех каналах управления, выбор параметров которых обосновывается по результатам математического моделирования.

Для подтверждения правильности результатов расчётных исследований автором были проведены стендовые исследования на пилотажном стенде ЦАГИ с участием лётного состава. По результатам стендовых исследований, управляемость самолёта в режиме аварийного сервоуправления с учётом разработанных и настроенных автором алгоритмов управления на этапе захода на посадку получила лётную оценку $PR=4.5\dots 5$ по шкале Купера-Харпера, что подтверждает возможность безопасного завершения полёта в режиме аварийного сервоуправления

Дальнейшее развитие направлений исследований, которым посвящена диссертационная работа Терехова Р.И., представляется весьма актуальным и перспективным вследствие перехода на новые варианты структурного построения систем управления пассажирских самолётов с повышением уровня электрификации ЛА при неизменной необходимости выполнения нормативных требований к обеспечению безопасности полётов.

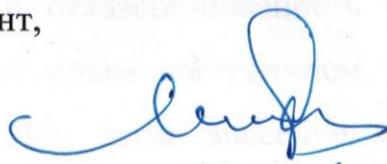
Результаты, полученные Тереховым Р.И. в ходе выполнения диссертационной работы, с достаточной полнотой описаны и представлены. Диссертационная работа имеет хорошую апробацию. Материалы работы

докладывались и обсуждались на всероссийских и международных конференциях и семинарах.

В целом диссертационная работа представляет несомненный научный и практический интерес, содержит обоснование и решение актуальной комплексной научно-технической задачи разработки структуры, моделей и алгоритмов системы управления для повышения безопасности полётов перспективных пассажирских самолётов, а также методики формирования структурного построения системы управления для снижения затрат на разработку сложных авиационных систем. Работа выполнена на высоком научном уровне, содержит новые теоретические и практические результаты и полностью соответствует требованиям ВАК РФ, предъявляемым к диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.16. Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов (технические науки).

Считаю, что автор работы – Терехов Роман Игоревич продемонстрировал способность самостоятельно формулировать и решать научно-технические задачи, и заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.16. Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов (технические науки).

Научный руководитель,
кандидат технических наук, доцент,
научный руководитель НИО-15,
ФАУ «ЦАГИ»



09.09.2025

Ю.Ф. Шелюхин

Подпись Шелюхина Юрия Федоровича удостоверяю.

Начальник управления персоналом



О.А. Власова