

ЦАГИ



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

16.05.2023 № ВГ21/15-10-4525

На № _____ от _____

И.О. проректора по научной работе

Федерального государственного
бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Московский авиационный институт
(национальный исследовательский
университет)»

Равиковичу Ю.А.

125993, г. Москва, Волоколамское
шоссе, д. 4

Уважаемый Юрий Александрович!

В ответ на Ваше письмо (исх. 010/1698-3 от 19.04.2023), направляю отзыв
Зайчик Ларисы Евгеньевны на диссертационную работу Ефремова Евгения
Владимировича на тему «Улучшение пилотажных характеристик летательных
аппаратов путем использования перспективных подходов к разработке алгоритмов
элементов технической части системы самолет-летчик», представленную к защите на
соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.16. -
«Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов (технические
науки).»

Приложение: отзыв официального оппонента на 7 листах, 2 экз.

С уважением,

Заместитель генерального директора

В.Ю. Гранич

Отдел документационного
обеспечения МАИ

«18» 05 2023

006338

ОТЗЫВ

официального оппонента Зайчик Ларисы Евгеньевны
на диссертацию Ефремова Евгения Владимировича на тему
**«Улучшение пилотажных характеристик летательных аппаратов путем
использования перспективных подходов к разработке алгоритмов
элементов технической части системы самолет-летчик»**,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 2.5.16. – «Динамика, баллистика, управление движением
летательных аппаратов (технические науки)»

Актуальность темы диссертации

Оптимизация характеристик системы самолет-летчик всегда являлась приоритетной задачей, во многом определяющей безопасность полета пилотируемых летательных аппаратов (ЛА). Среди последних достижений в области технической части контура ручного управления ЛА можно отметить следующие, оказывающие наибольшее влияние на функционирование системы самолет-летчик:

- появление высокоавтоматизированных систем управления с возможностью формирования алгоритмов управления различных типов;
- появление новых нетрадиционных рычагов управления (РУ) с активными системами загрузки, существенно расширяющими функциональные возможности РУ.

Эти технические инновации призваны повысить эффективность применения ЛА и обеспечить высокий уровень безопасности полетов. Однако закономерности влияния элементов технической части системы самолет-летчик на характеристики управляемости и функционирования системы самолет-летчик еще недостаточно изучены. Так, несмотря на размещение боковых ручек управления (БРУ) на гражданских самолетах семейства «Эрбас» и Суперджет-100, требования к кинематическим, загрузочным и другим характеристикам БРУ, еще не определены. Отсутствие ясного понимания влияния характеристик БРУ на управляемость не гарантирует

Отдел документационного
обеспечения МАИ

«18» 05 2023

оптимальность выбора этих характеристик и может привести к возникновению аварийных ситуаций в полете.

Появившаяся возможность формирования алгоритмов системы управления практически любой структуры также вызывает много вопросов, связанных с управляемостью ЛА. Так, введение в систему управления регулятора, построенного на принципе обратной динамики, может обеспечить динамику управляемого объекта близкую к интегрирующему звену. Однако в этом подходе существует много проблем, среди которых основными являются обеспечение реализуемости самого регулятора, ограничения отклонения рулевых поверхностей и другие вопросы обеспечения удовлетворительных пилотажных свойств ЛА.

И, наконец, выбор параметров элементов технической части зачастую выполняется без учета их взаимного влияния, что не позволяет оценить влияние инновационных технических решений на характеристики системы самолет-летчик в целом.

В связи с этим, диссертационная работа Ефремова Евгения Владимировича, посвященная вопросу улучшения пилотажных характеристик ЛА с учетом новых решений технической части системы самолет-летчик и их синергетического эффекта на функционирование системы самолет-летчик, является **актуальной и практически ценной**.

Поставленная в работе цель достигается путем решения следующих задач:

- разработка модели управляющих действий летчика, позволяющей учитывать влияние различных типов РУ и типов формирования сигналов управления;

- разработка системы критериев, позволяющих прогнозировать пилотажные характеристики в зависимости не только от динамических характеристик ЛА, но и от характеристик РУ и способа формирования сигнала управления;

- синтез алгоритмов регулятора СУ на принципах обратной динамики, обеспечивающих заданную динамику объекта управления;

- интеграция алгоритмов регулятора СУ с рычагами управления и исполнительными устройствами.

При решении перечисленных задач используется единый подход, основанный на анализе функционирования замкнутой системы самолет-летчик и обобщении свойств летчика как звена в контуре управления, что позволяет оценить синергетический эффект от новых технических решений и делает работу логически выверенной и целостной.

Достоверность и новизна результатов, полученных в диссертационной работе

Основой для создания критериев управляемости в работе послужили экспериментальные данные, которые были получены с участием автора путем полунатурного моделирования различных объектов управления, таких как самолет с различными динамическими конфигурациями, вертолет, сверхзвуковой пассажирский самолет второго поколения и аэрокосмический аппарат, что позволяет обобщить сделанные в работе выводы на широкий круг летательных аппаратов.

В работе применяется накопленный в МАИ опыт использования задачи компенсаторного слежения для получения объективных показателей качества пилотирования и оптимизации характеристик системы самолет-летчик, а также опыт математического моделирования с использованием моделей летчика. Такой подход широко применяется при выявлении закономерностей влияния различных параметров и условий полета на характеристики системы самолет-летчик и при разработке критериев управляемости. Использование автором в работе такого подхода, результатов летных экспериментов, представленных в литературе, и полунатурного моделирования, проведенного в данной работе, определяет **достоверность получаемых результатов.**

В работе автором получен ряд результатов, имеющих самостоятельное значение и отражающих **новизну и теоретическую значимость работы**:

- выявлены некоторые закономерности влияния характеристик загрузки различных типов РУ и различных типов управляющих сигналов на характеристики системы самолет-летчик;

- с учетом выявленных закономерностей влияния характеристик загрузки РУ и типа управляющего сигнала проведена модификация структурной модели управляющих действий летчика, которая затем использовалась при разработке и валидации создаваемых в работе критериев управляемости;

- созданы новые критерии управляемости, основанные на нормировании параметров системы самолет-летчик, одним из которых является критерий, нормирующий мощность усилий, как некий обобщенный показатель, определяющий уровень физической загрузки летчика;

- разработан алгоритм нелинейного ограничителя максимальной скорости отклонения рулевых поверхностей, позволяющий предотвратить возможность возникновения раскачки самолета летчиком при реализации принципа обратной динамики.

Практическая значимость работы состоит в создании системы критериев, построенных на использовании созданной математической модели летчика, которые позволяют оценивать влияние параметров и типов рычагов управления на уровень пилотажных характеристик. Выявлены преимущества боковой ручки управления в случае формирования сигнала управления пропорционального прикладываемым летчиком усилий. Предложен нелинейный ограничитель скорости отклонения рулевых поверхностей, позволяющий реализовать принцип обратной динамики. На основе сравнения точностных характеристик пилотирования показано, что интеграция нелинейного ограничителя с боковой ручкой с сигналом по усилиям позволяет повысить точность выполнения задачи пилотирования.

Замечания по диссертационной работе

1. Анализ влияния характеристик загрузки на функционирование системы самолет-летчик и оптимизация этих характеристик в работе проводятся применительно только к линейной загрузке РУ без учета возможных нелинейностей, в частности, предварительного затяга. В дальнейшем автору рекомендуется провести дополнительные исследования с целью оценки влияния этих факторов.
2. Утверждение о том, что управление активной боковой ручкой по усилиям имеет существенные преимущества по сравнению с управлением центральной ручкой и штурвалом основано только на результатах оценки характеристик управляемости по тангажу без оценки особенностей управляемости по крену.
3. Из текста диссертации не ясно, учитывалось ли влияние чувствительности управления при оптимизации характеристик загрузки РУ.
4. В работе не представлено мнение летчиков, подтверждающих оптимальность характеристик загрузки РУ, выбранных на основе экспериментов с операторами.
5. Для иллюстрации точностных характеристик пилотирования (дисперсии сигналов по тангажу, перемещениям ручки и т.д.) выбрана одна и та же единица измерения – сантиметры, что не физично и не дает представления о величине рассматриваемых параметров.
6. В материалах автореферата и диссертации встречаются опечатки и синтаксические погрешности.

Общая характеристика диссертационной работы

Диссертация Ефремова Е.В. представляет собой законченную научно-квалификационную работу, выполненную на актуальную тему, связанную с улучшением пилотажных свойств ЛА за счет синергетического эффекта от элементов технической части системы самолет-летчик.

Диссертационную работу отличает четкая логическая последовательность изложения, способствующая ясному пониманию поставленных научных задач и методов их решения. Широкий обзор литературы, проведенный автором в работе, свидетельствует о глубоком понимании автором проблем, связанных с влиянием новых типов рычагов управления и автоматизации ручного управления на функционирование системы самолет-летчик.

Материалы диссертационной работы прошли апробацию на 17 международных и всероссийских научных конференциях, опубликованы в изданиях, рекомендованных ВАК, и в журналах, индексируемых в международных реферативных базах данных Scopus; получено 2 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Автореферат в полной мере отражает содержание диссертации. Полученные в диссертации результаты обладают научной новизной и практической значимостью.

Заключение

Учитывая актуальность темы работы, научную, теоретическую и практическую значимость полученных результатов, считаю, что представленная диссертационная работа соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», а ее автор Ефремов Евгений Владимирович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.16 – «Динамика, баллистика и управление движением летательных аппаратов (технические науки)».

Официальный оппонент
кандидат технических наук
старший научный сотрудник
ведущий научный сотрудник
ФАУ «ЦАГИ»



(подпись)

Зайчик Лариса Евгеньевна

Адрес: Федеральное автономное учреждение «Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского» (ФАУ «ЦАГИ»), 140180, Россия, г. Жуковский, Московская область, ул. Жуковского, д. 1

Тел. +7(495)556-41-55; E-mail: zaichik@tsagi.ru

Подпись Зайчик Ларисы Евгеньевны удостоверяю.

Заместитель генерального директора
ФАУ «ЦАГИ»

(должность)



(подпись)

В.Ю. Гранич

(Фамилия И.О.)

*С ответом ознакомлен
18.05.2023 г. Ефремов Е.В.*