

## СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ

**Диссертационный совет:** 24.2.327.03

**Соискатель:** Ефремов Евгений Владимирович

**Тема диссертации:** Улучшение пилотажных характеристик летательных аппаратов путем использования перспективных подходов к разработке алгоритмов элементов технической части системы самолет-летчик

**Специальность:** 2.5.16. Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов (технические науки)

**Решение диссертационного совета по результатам защиты диссертации:**

На заседании 15 июня 2023 года диссертационный совет пришел к выводу о том, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, соответствующую критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, установленным Положением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842, и принял решение присудить Ефремову Евгению Владимировичу ученую степень кандидата технических наук.

**Присутствовали:** председатель диссертационного совета В.В. Малышев, заместитель председателя диссертационного совета М.Н. Красильщиков, ученый секретарь диссертационного совета А.В. Старков, члены диссертационного совета: В.Т. Бобронников, В.А. Воронцов, В.Н. Евдокименков, А.В. Ефремов, С.Ю. Желтов, К.А. Занин, А.И. Кибзун, М.С. Константинов, С.Н. Падалко, В.В. Пасынков, В.Г. Петухов, В.Н. Почукаев, В.В. Родченко, Г.Г. Себряков, Ю.В. Тюменцев.

Ученый секретарь диссертационного совета

24.2.327.03, д.т.н., доцент

Начальник  
Т.А. Аникин



А.В. Старков

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.327.03**

созданного на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»  
Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
(МАИ)

**по диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук**

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 15.06.2023 г., протокол № 10

О присуждении **Ефремову Евгению Владимировичу**, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Улучшение пилотажных характеристик летательных аппаратов путем использования перспективных подходов к разработке алгоритмов элементов технической части системы самолет-летчик» по специальности 2.5.16. Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов (технические науки) принята к защите «б» апреля 2023 г., протокол № 5, диссертационным советом 24.2.327.03 на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» (МАИ, Московский авиационный институт), 125993, Москва, Волоколамское шоссе, 4, приказ о создании совета № 105/нк от 11.04.2012 г.

**Соискатель**, Ефремов Евгений Владимирович, «01» февраля 1995 года рождения. В 2019 г. окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» (МАИ), (магистр по направлению 24.04.03 «Баллистика и гидроаэродинамика»). В 2023 году окончил обучение в аспирантуре (справка о сдаче кандидатских экзаменов №117 выдана 29 декабря 2022 г.).

В период подготовки диссертации соискатель Ефремов Евгений Владимирович работал в МАИ на кафедре 106 «Динамика и управление летательных аппаратов» в должности ассистента, в научно исследовательской лаборатории «Пилотажные стенды и система самолет-летчик» в должности инженера, в Национальном Центре Международного Уровня «Сверхзвук» в должности младшего научного сотрудника. В настоящее время соискатель работает в МАИ на кафедре 106 «Динамика и управление летательных аппаратов» в должности ассистента, в научно исследовательской лаборатории «Пилотажные

стенды и система самолет-летчик» в должности инженера, в Национальном Центре Международного Уровня «Сверхзвук» в должности младшего научного сотрудника.

Диссертация выполнена в МАИ на кафедре «Динамика и управление летательных аппаратов» института №1 «Авиационная техника».

**Научный руководитель** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Динамика и управление летательных аппаратов» МАИ, Ефремов Александр Викторович.

**Официальные оппоненты:**

1. Гребёнкин Александр Витальевич – гражданин Российской Федерации, доктор технических наук, начальник отдела 901 Публичного акционерного общества «Московский институт электромеханики и автоматики»

2. Зайчик Лариса Евгеньевна – гражданка Российской Федерации, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник НИЦ БП федерального автономного учреждения «Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского»

Все оппоненты дали положительные отзывы о диссертации.

**Ведущая организация** Публичное акционерное общество «Объединенная авиастроительная корпорация» «ОКБ Сухого», г. Москва, в своем положительном отзыве, обсужденном на заседании научно-технического совета предприятия (протокол №5 от 11.05.2023 г.), подписанным главным конструктором по аэродинамике, кандидатом технических наук, старшим научным сотрудником А.З. Тарасовым, главным специалистом, доктором технических наук, профессором А.Н. Акимовым и утвержденным первым заместителем генерального директора – директором ОКБ Сухого М.Ю Стрельцом, указала, что тема диссертации Ефремова Е.В. соответствует паспорту специальности 2.5.16. Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов (технические науки). Диссертация Ефремова Е.В. представляет собой самостоятельную законченную научно-квалификационную работу, удовлетворяет п.п. 9-14 Положения о порядке присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (ред. От 01.10.2018г.), а также удовлетворяет требованиям Высшей аттестационной комиссии при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук. Автор диссертации, Ефремов Евгений Владимирович, заслуживает ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.16. Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов (технические науки).

Соискатель имеет 12 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 12 работ, включающих 3 статьи опубликованных в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень рецензируемых научных изданий ВАК Минобрнауки РФ, 9 работ в изданиях, индексируемых в международных реферативных базах данных SCOPUS, Web of Science. Наиболее значимыми научными работами по теме диссертации являются:

**Статьи в рецензируемых журналах перечня ВАК:**

1. Ефремов А.В., Ефремов Е.В. Модификация структурной модели управляющих действий летчика и ее приложение к задаче выбора характеристик и типа рычага управления // Вестник Московского авиационного института. – 2023. – Т. 30, №1. – с. 30 – 42. (7 с. авт., №451, перечень ВАК от 1.02.2022 г.).

Приведена модифицированная модель управляющих действий летчика, проведено математическое и полунатурное моделирование системы самолет-летчик

2. 2. Ефремов А.В., Тяглик М.С., Иргалеев И.Х., Ефремов Е.В., Воронка Т.В. Методика оценки рисков человеческого фактора из-за ошибок летчика в процессе пилотирования авиационной техники // Авиационная техника. Известия вузов. – 2020. – №2. – с. 63 – 69. (1.5 с. авт., №218, перечень МБД от 30.03.2020).

Представлена систематизация и анализ летных происшествий, позволивших выявить, что наибольший процент происшествий происходит на этапе посадки в режиме ручного пилотирования.

3. 3. Ефремов А.В., Тяглик М.С., Иргалеев И.Х., Ефремов Е.В. Интеграция системы управления и прогнозного дисплея для повышения безопасности пилотирования современного высокоавтоматизированного самолета // Общероссийский научно-технический журнал «ПОЛЕТ». – 2017. – № 9 – 10. – с. 49 – 55. (3 с. авт., №1988, перечень ВАК от 26.07.2017 г.).

Описан синтез алгоритмов системы управления, проведены экспериментальные исследования

**Статьи в журналах, индексируемых в иностранных библиографических и реферативных базах данных (SCOPUS, Web Of Science):**

1. Efremov A. V., Aleksandrov V. V., Efremov E. V., Vukolov M. V. The influence of different types of inceptors and their characteristics on pilot-aircraft system // 2nd IFAC Conference on Cyber-Physical & Human Systems, Maimi, Florida, USA. – 2018. – Vol. 51, No. 34. (3 с. авт. Scopus, Web of Science)

2. Efremov A. V., Tiaglik M. S., Efremov E. V. Some Results in Flying Qualities Criteria Developed at PVL // AIAA SciTech Forum and Exposition, San Diego, California, USA. – 2019. – p. 1– 16. (5 с. авт., Scopus)
3. Efremov A.V., Efremov E.V., MbiKayi Z., Irgaleev I.Kh. Influence of Inceptors on Pilot-Aircraft System Characteristics and Flying Qualities // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – Vol. 476, No. 1. – p. 1–8. (2.5 с. авт., Scopus, Web of Science)
4. Efremov A.V., Efremov E.V., Mbikayi Z., Esaulov S.Yu., Ivchin V.A., Myasnikov M.I. Synthesis of a helicopter control system using inverse dynamics and its upgrade with the use of a sidestick controller // // 46th European Rotorcraft Forum, ERF 2020. – 2020. – p. 9–17. (3 с. авт. Scopus)
5. Efremov A.V., Efremov E.V., MbiKayi Z. Integration of the inverse dynamics with a reference model technique, and its application for the improvement of the helicopter flying qualities // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – Vol. 868, No. 1. – p. 1 – 9. (3 с. авт. Scopus)
6. Efremov A. V., Tiaglik M. S., Efremov E. V. Advancements in Predictions of Flying Qualities, Pilot-Induced Oscillation Tendencies, and Flight Safety // Journal of Guidance, Control, and Dynamics. – Vol. 43, No. 1. – 2020. – p. 4–14. (3 с. авт. Scopus 1 квартиль, Web of Science)
7. Efremov A. V., Efremov E.V., MbiKayi Z. Comparative Study of Different Algorithms for a Flight Control System Design and the Potentiality of Their Integration with a Sidestick // MDPI Aerospace. – 2021. – Vol. 8, No. 10. – p. 1 – 17. (5.5 с. авт. Scopus 2-я квартиль, Web of Science)
8. Efremov A.V., Efremov E.V., Tiaglik M.S., Irgaleev I. Kh, Shcherbakov A.I., Mbikayi Z. Adaptive flight control system for flight safety improvement in reentry and other high-velocity vehicles // Acta Astronautica. – 2022. – Vol. 204. – p. 900 – 911. (2 с. авт. Scopus 1-я квартиль)
9. Efremov A.V., Tiaglik M.S., Irgaleev I.Kh., Efremov E.V. Predictive display design for the vehicles with time delay in dynamic response // IOP Conference

Series: Materials Science and Engineering. – 2018. – Vol. 312, No. 1. – p. 1 – 4. (1 с. авт. Scopus, Web of Science)

**В диссертационной работе отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах, в которых изложены основные научные результаты, представленные в диссертации.**

**На диссертацию и автореферат поступили следующие отзывы:**

**1) Публичное акционерное общество «Объединенная авиастроительная корпорация» «ОКБ Сухого», ведущая организация. Отзыв положительный.**

В качестве замечаний необходимо отметить следующее:

1. В тексте диссертации и автореферата присутствуют технические жаргонизмы, имеются некоторые неточности и отклонения от ГОСТ Р 2.105 в оформлении. Так, передаточные функции по тексту иногда называются «динамикой», производная усилия по скорости перемещения «демпфированием» (стр. 28). В некоторых формулах не приводится описание применяемых обозначений, например, в формулах (1.3), (1.4).

Из рисунка 3.1.6 не ясно, каким образом формируется желаемая угловая скорость тангажа, а на рисунке 3.7 она обозначена как  $\omega_x$ .

В уравнениях 3.1, 3.2 фигурирует производная момента тангажа по углу тангажа, которая, как известно, не имеет физического смысла, при этом никаких пояснений не приводится. В то же время в уравнениях отсутствуют инерционные моменты, что не оговаривается.

Рисунки 3.12, 4.3, 4.4, 4.9 выполнены чрезвычайно мелко и неудобочитаемы.

На рисунке 3.4. показан переходный процесс по крену с достижением величины 60 градусов, однако у вертолета Ми-8 максимальное допустимое значение крена составляет 45 градусов.

В заключении пункты перечисления не согласованы с обобщающим словом.

2 Недостаточно полно описана методика выполнения экспериментов, в частности, не приводятся данные по количеству выполненных экспериментов, отсутствуют подробные сведения об операторах и летчиках, участвовавших в экспериментах, статистические данные о выполненных экспериментах.

3 Очень часто автор под термином «точность пилотирования» подразумевает дисперсию сигнала ошибки, хотя по ГОСТу точность – это среднеквадратичное отклонение.

4 Автор не рассматривает статические характеристики управляемости  $P_e^{ny}$  и  $X_e^{ny}$  в то время как эти показатели имеют приоритетное значение при оценке

пилотажных характеристик ЛА и в соответствии с действующими нормативными документами являются критериями характеристик управляемости.

5 При выполнении экспериментальных исследований и при решении задачи синтеза ВАСУ на основе принципов обратной динамики автор ограничивается только задачей компенсаторного слежения по углу тангажа.

6. В Заключении не приводятся рекомендации по перспективам дальнейшей разработки темы, как это рекомендует **ГОСТ Р.7.0.11.2011**.

**2) Гребёнкин Александр Витальевич**, официальный оппонент, доктор технических наук, начальник отдела 901 ПАО «МИЭА». **Отзыв положительный**, заверен ученым секретарем ПАО «МИЭА», к.т.н., с.н.с. О.Б. Кербером.

Вместе с тем необходимо указать на следующие недостатки:

1. Утверждение о том, что управление активной боковой ручкой по усилиям имеет существенные преимущества по сравнению с управлением центральной ручкой и штурвалом (штурвальной колонкой) основано только на результатах оценки характеристик управляемости по тангажу без оценки особенностей управляемости по крену.

2. В описании принципа работы нелинейного ограничителя МАИ отсутствует обоснование выбора значений коэффициента  $K_s$ , а приведённые его значения (0.9...1.1) противоречат утверждению о том, что на исполнительное устройство поступает уменьшенный сигнал.

3. В главе 4 на рис. 4.22 не верно иллюстрируется результат влияния нелинейного ограничителя максимальной скорости перемещения рулевых поверхностей на явление РЮ.

4. В материалах автореферата и диссертации встречаются опечатки и стилистические погрешности.

**3) Зайчик Лариса Евгеньевна**, официальный оппонент, кандидат технических наук, старший научный сотрудник. **Отзыв положительный**, заверен заместителем генерального директора ФАУ «ЦАГИ» В.Ю. Граничем.

Замечания по диссертационной работе.

1. Анализ влияния характеристик загрузки на функционирование системы самолет-летчик и оптимизация этих характеристик в работе приводится 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. Утверждения 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 приведено 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.

**4) Публичное акционерное общество «Авиационный комплекс им. С.В. Ильюшина», отзыв на автореферат. Отзыв положительный,** подписан заместителем главного конструктора ПАО «Ил» по аэродинамике, динамике полёта и системе управления самолетом, к.т.н. О.В. Кругляковой, заверен советником управляющего директора ПАО «Ил» Н.Б. Сурковой, утвержден главным конструктором ПАО «Ил» С.В. Ганиным.

При рассмотрении автореферата обнаружены следующие недостатки.

1. Не описаны задачи, выполняемые операторами при проведении экспериментальных исследований.

2. Автореферат не дает полного представления о традиционном подходе, оптимальном и структурном подходах к моделированию характеристик управляющих действий летчика.

**5) Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет гражданской авиации», отзыв на автореферат. Отзыв положительный,** подписан заместителем заведующим кафедрой «Аэродинамика, конструкция и прочность летательных аппаратов» МГТУ ГА, д.т.н., профессором М.А. Киселевым и доцентом кафедры «Аэродинамика, конструкция и прочность летательных аппаратов» МГТУ ГА, к.т.н. С.Ф. Бородкиным, заверен начальником управления персоналом МГТУ ГА А.В. Буниным.

В качестве замечаний следует отметить:

1. В работе не представлена информация о характеристиках системы измерения пилотажного стенда, используемого для проведения полунатурного моделирования.

2. В работе не уделено достаточное внимание обоснованию необходимых для обеспечения достоверности результатов экспериментальных исследований количества и квалификации операторов.



**6) Акционерное общество «Летно-исследовательский институт им. М.М. Громова»**, отзыв на автореферат. **Отзыв положительный**, подписан начальником лаборатории ГНЦ РФ АО «ЛИИ имени М.М. Громова», д.т.н., профессором Б.К. Поплавским и начальником сектора ГНЦ РФ АО «ЛИИ имени М.М. Громова» к.псх.н. М.Б. Меликовой, заверен начальником управления персоналом МГТУ ГА А.В. Буниным, утвержден первым заместителем генерального директора АО «ЛИИ им. М.М. Громова» по науке – начальником НИЦ К.В. Деевым.

К недостаткам можно отнести тот факт, что из автореферата не ясно, что из себя представляют базы данных динамических конфигураций Have PIO, LANOS, Neal-Smith и почему именно они используются при разработке критериев оценки пилотажных характеристик.

**7) Федеральное автономное учреждение «Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем»**, отзыв на автореферат. **Отзыв положительный**, подписан руководителем научно-образовательного центра ФАУ «ГосНИИАС», д.т.н., профессором О.Н. Корсуном, заверен ученым секретарем ФАУ «ГосНИИАС», д.т.н., профессором С.М. Мужичком.

По реферату необходимо высказать замечание:

Автор не проводит анализа влияния погрешностей априорной информации об аэродинамических характеристиках объекта на точность закона управления, сформированного по методу обратных задач динамики.

**8) Военный учебно-научный центр военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»**, отзыв на автореферат. **Отзыв положительный**, подписан доцентом 72 кафедры авиационных комплексов и конструкции летательных аппаратов ВУНЦ ВВС «ВВА», к.т.н. И.К. Макаровым и начальником 72 кафедры авиационных комплексов и конструкции летательных аппаратов ВУНЦ ВВС «ВВА», к.т.н., доцентом Д.В. Верещиковым, утвержден заместителем начальника ВУНЦ ВВС «ВВА» по учебной и научной работе, к.т.н., доцентом В. Казаковым.

Результаты анализа материалов, представленных в реферате, позволяют отметить следующие недостатки:

1. Из материалов, представленных в автореферате не ясно каким образом регулятор, построенный с использованием схемы, изображенной на рисунке 7, способен «подавить взаимосвязь продольного и бокового движений, характерную для вертолетов».

2. Автор отмечает, что в «Приложении Г приведены аэродинамические производные для используемой в работе линеаризованной модели вертолета Ми-8 на околонулевых скоростях». При этом не ясно насколько оправдано распространять выводы о применимости полученного в работе синергетического

эффекта на весь эксплуатационный диапазон скоростей тем более, что фактически математическая модель динамики вертолета является существенно нелинейной.

**9) Федеральное государственное унитарное предприятие «Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации», отзыв на автореферат. Отзыв положительный, подписан начальником 341 отдела ГосНИИГА, д.т.н. Г.Е. Масленниковой, заверен ученым секретарем ФГУП ГосНИИГА И.Н. Шестаковым.**

Автореферат написан простым и понятным языком, дает полное представление о выполненной работе, но в то же время содержит некоторые моменты, указывающие на направление продолжения исследовательских работ, в частности:

- в автореферате не приведено сравнения использования нормирования параметров системы «самолет-летчик» по «критерию МАИ», который не всегда коррелирует с субъективной оценкой летчика и по «новому критерию МАИ», разработанному автором ;

- выводы о преимуществах использования бокового рычага управления по сравнению с центральным базируются на исследованиях продольного канала управления, поэтому данный вывод требует дополнительных исследовательских работ.

**10) Филиал Публичного акционерного общества «Научно-производственная корпорация «Иркут» «Региональные самолеты» (Филиал ПАО «Корпорация «Иркут», отзыв на автореферат. Отзыв положительный, подписан начальником департамента механики полета Филиала «Региональные самолеты» ПАО «Корпорация «Иркут» С.А. Алексеевым, заверен руководителем направления по работе с филиалами и ДЗО департамента по персоналу и организационному развитию И.В. Сеницыным, утвержден заместителем генерального директора по разработке Филиала «Региональные самолеты» ПАО «Корпорация «Иркут» А.В. Долотовским.**

Также имеются определенные недостатки, а именно:

1. В автореферате присутствует ряд опечаток, что затрудняет правильное прочтение.

2. В автореферате не приведены условия проведения экспериментов.

3. В автореферате упоминается, что «...для вертолета Ми-8 использование регулятора на базе обратной динамики позволяет подавить взаимосвязь продольного и бокового движений», что никак не подтверждается материалами

**11) Публичное акционерное общество «Объединенная авиастроительная корпорация» «ОКБ имени А.И. Микояна», отзыв на автореферат. Отзыв положительный,** подписан заместителем генерального конструктора по системам управления «ОКБ имени А.И. Микояна» ПАО «ОАК», заслуженным машиностроителем РФ, д.т.н., профессором Ю.Г. Оболенским, утвержден начальником инженерного центра ОКБ имени А.И. Микояна ПАО «ОАК» А.В. Терпуговым.

Вместе с тем, необходимо сделать ряд замечаний по работе:

1. В автореферате автором не раскрыт термин «в соответствии с принципами обратных задач динамики». Как известно, принципы обратных задач динамики базируются на точном знании аэродинамики летательного аппарата, поэтому при практическом проектировании они могут применяться лишь с большими допущениями, вследствие недостаточного знания аэродинамических коэффициентов во всех области режимов полёта. Может быть, автор предполагал использование инверсных идеальных моделей, формируемых в цепи обратных связей, которыми широко пользуются при синтезе контуров управления летательными аппаратами.

2. Модель рычага управления, рассматриваемая автором, является линейной в виде колебательного звена, на самом деле её следует дополнить присущими ему люфтами и сухим трением.

3. В автореферате не указано число операторов, принимавших участие в экспериментальных исследованиях, а также их квалификация.

**12) Публичное акционерное общество «Научно-производственная корпорация «Иркут», отзыв на автореферат. Отзыв положительный,** подписан директором инженерного центра ПАО «Корпорация «Иркут», к.т.н. К.Ф. Поповичем и заместителем начальника отделения систем управления С.В. Байковым, заверен врио директора по персоналу и организационному развитию ПАО «Корпорация «Иркут» Н.А. Шопаровым, утвержден заместителем генерального директора – исполнительным директором ПАО «Корпорация «Иркут», к.т.н. В.Б. Прутковским.

В качестве недостатков представленной работы можно отметить, что в автореферате не описано по каким параметрам движения самолета и в каких каналах управления осуществляется оценка характеристик. Так же, описание алгоритмов и принципов управления приведено только в общем виде.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается наличием публикаций в соответствующей сфере исследования, компетентностью, имеющимся у них большим опытом в решении задач динамики и управления полетом, исследованиях системы самолет-летчик, математического и полунатурного моделирования, в том числе, в области соответствующей паспорту

специальности 2.5.16. Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов (технические науки) и способностью определить научную и практическую ценность диссертации.

ПАО «ОАК» «ОКБ Сухого» является ведущей организацией авиационной промышленности по созданию авиационной техники, синтезу систем управления, решению задач динамики и управления полетом летательных аппаратов, фундаментальных научных исследований. Заключение по диссертационной работе обсуждено и подписано учеными, которые непосредственно занимаются вопросами, связанными с безопасностью полетов, синтезом систем управления, задачами динамики и управления полетом летательных аппаратов.

Гребёнкин Александр Витальевич – автор более 100 научных работ, имеет патенты на изобретение. Под руководством А.В. Гребёнкина проводятся исследования по динамике полета, комплексному математическому моделированию динамики управляемого движения летательных аппаратов, ведется разработка способов и методов управления самолетами транспортной категории как в полете, так и при движении по взлетно-посадочной полосе, средств прогнозирования движения летательных аппаратов.

Зайчик Лариса Евгеньевна – автор более 120 научных работ, имеет 8 патентов на изобретение. Под руководством Л.Е. Зайчик проводятся исследования по динамике полета, математическому и полунатурному моделированию движения летательных аппаратов, исследования, связанные с изучением функционирования системы самолет-летчик с целью выявления закономерностей влияния характеристик загрузки рычагов управления и статических характеристик управляемости на пилотажные свойства самолетов.

**В дискуссии приняли участие:**

Фамилия, имя, отчество	Ученая степень, шифр специальности в совете
Ефремов А.В.	д.т.н, 2.5.16.
Красильщиков М.Н.	д.т.н., 2.3.1.
Евдокименков В.Н.	д.т.н., 2.3.1.
Малышев В.В.	д.т.н, 2.5.16.
Себряков Г.Г.	д.т.н., 2.3.1.
Тихонов В.Н.	к.т.н., главный специалист отдела аэродинамики ПАО «ОАК» ОКБ Сухого
Оболенский Ю.Г.	д.т.н. заместитель главного конструктора по системам управления ПАО «ОАК» ОКБ им. А.И. Микояна
Мясников М.И.	Руководитель управления НТПШ и ВНО АО «НЦВ Миль и Камов»

Диссертационный совет отмечает, что диссертация написана автором самостоятельно, обладает внутренним единством, а **наиболее существенные научные результаты, полученные лично соискателем**, могут быть сформулированы следующим образом:

- 1) Предложена модификация структурной модели управляющих действий летчика, основанная на структурном подходе;
- 2) Выполнена модификация нескольких критериев оценки пилотажных характеристик и наличия или отсутствия тенденции к явлению раскачки, позволившая повысить их прогностические свойства;
- 3) Разработаны два критерия оценки уровня пилотажных характеристик, основанные на нормировании параметров системы самолет-летчик;
- 4) Сформулированы условия реализуемости системы управления на базе обратной (инверсной) динамики и выполнена оценка ее эффективности на нескольких летательных аппаратах;
- 5) Предложен алгоритм функционирования нелинейного ограничителя скорости потребных скоростей отклонения рулевых поверхностей.

**Новизна полученных результатов** заключается в том, что:

- 1) Выявлены новые закономерности характеристик системы самолет-летчик при управлении различными рычагами управления.
- 2) Получена модификация структурной модели управляющих действий летчика, учитывающая выявленные закономерности и позволяющая оценивать характеристики новых рычагов управления.
- 3) Предложен подход к выбору динамических конфигураций, используемых при разработке критериев оценки пилотажных характеристик, позволивший модифицировать ряд критериев с улучшенными прогностическими свойствами
- 4) Создано два новых критерия, основанные на нормировании параметров системы самолет-летчик.
- 5) Разработан алгоритм нелинейного ограничителя максимальных скоростей отклонения рулевых поверхностей, позволяющий реализовать принцип обратной динамики и исключить возможность возникновения раскачки самолета летчиком (так называемое явление PIO).

**Теоретическая значимость** заключается в том, что:

- 1) Разработанная математическая модель управляющих действий летчика позволяет оценивать влияние на характеристики системы самолет-летчик параметров и типа управляющего сигнала как для бокового, так и центрального рычага управления.
- 2) Разработанные критерии оценки пилотажных характеристик отличаются

высокими прогностическими свойствами.

3) Критерий, нормирующий мощность усилий, прикладываемых летчиком к рычагу управления при выполнении задачи пилотирования, является показателем, оценивающим физическую нагрузку летчика при выполнении задачи пилотирования.

4) Обоснована необходимость введения ограничителей скорости отклонения рулевых поверхностей при реализации принципов обратной динамики в системе управления.

#### **Практическая значимость:**

1) Полученная в работе система критериев, в частности, «Новый критерий МАИ», который позволяет оценить влияние параметров и типов рычагов управления на уровень пилотажных характеристик различных летательных аппаратов.

2) Разработанный алгоритм функционирования ограничителя скорости отклонения рулевых поверхностей обеспечивает подавление раскачки самолета летчиком, существенно уменьшает требуемые скорости отклонения приводом управляющих поверхностей при сохранении точности пилотирования.

3) Предложенная интеграция принципа обратной динамики и ограничителя скорости отклонения рулевых поверхностей, а также бокового рычага управления позволяет существенно улучшить точность пилотирования.

4) Выявлены значительные преимущества бокового рычага управления, формирующего управляющий сигнал, пропорциональный прикладываемым к нему усилиям, по сравнению с традиционным центральным рычагом, выходной сигнал которого пропорционален перемещению.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается:**

1. АКТ о внедрении результатов диссертационной работы в деятельность АО «НЦВ Миль и Камов»

2. АКТ о внедрении результатов диссертационной работы в учебный процесс МАИ

3. АКТ о внедрении результатов диссертационной работы в научно-исследовательские работы МАИ

4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2021617377 Программный комплекс для математического моделирования характеристик системы самолет-летчик с варьируемыми характеристиками рычага управления / Ефремов Е.В., Ефремов А.В., Александров В.В. (RU);

правообладатель ФГБОУ ВО МАИ (НИУ) (RU). – Заявка №2021616162 26.04.2021  
зарегистрировано 13.09.2021

5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2022681333 Программный комплекс для математического моделирования характеристик системы самолет-летчик с варьируемыми характеристиками рычага управления / Ефремов Е.В., Ефремов А.В., Александров В.В. (RU); правообладатель ФГБОУ ВО МАИ (НИУ) (RU). – Заявка №2022680964 03.11.2022  
зарегистрировано 11.11.2022

**Результаты диссертационной работы рекомендуются к использованию** в организациях, осуществляющих проектирование и создание авиационной техники, систем управления, таких как предприятия ПАО «ОАК», ФАУ «ЦАГИ», АО «ЛИИ имени М.М. Громова», а также в образовательных учреждениях авиационной направленности.

**Оценка достоверности результатов исследования** выявила, что основные положения диссертации опираются на современный математический аппарат и согласуются с опубликованными экспериментальными данными по теме диссертации. Соискателем разработаны и используются корректные математические модели и алгоритмы. В рамках исследования автором грамотно применены общие и специальные методы разработки алгоритмов управления высокоавтоматизированных ЛА, повышающих безопасность полета, точность управления различных летательных аппаратов, а также обеспечивающих улучшение летно-технических характеристик средствами автоматизации.

**В ходе защиты были высказаны следующие критические замечания:**

1. Не очень понятен смысл критерия оптимальности, так как в нём присутствуют дисперсии сигнала ошибки и усилий, которые имеют разные размерности и непонятно как они суммируются

2. Непонятно на каком основании было принято решение о том, что сигналы распределены по нормальному закону.

Соискатель Ефремов Е.В. ответил на задаваемые вопросы и привел собственную аргументацию:

1. Этот критерий является критерием выбора параметров модели управляющих действий летчика. В нем учтены коэффициенты, приводящие размерности к единому виду


2. Такой вывод был сделан на основании результатов экспериментальных исследований

**В диссертационной работе все заимствованные материалы представлены со ссылкой на автора или источник.** Тем самым работа удовлетворяет п.14 Положения о присуждении ученых степеней.

На заседании 15 июня 2023 г. диссертационный совет пришел к выводу о том, что диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук, и принял решение за **новые научно-обоснованные технические решения**, имеющие существенное значение для развития авиационной отрасли страны в части решения задачи выбора типа и характеристик рычагов управления, разработки новых критериев оценки пилотажных характеристик, алгоритмов системы управления с учетом их реализуемости, присудить Ефремову Евгению Владимировичу ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 6 докторов наук по специальности 2.5.16. Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов (технические науки), участвовавших в заседании, из 27 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 18, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель диссертационного совета  
24.2.327.03, д.т.н., профессор  
Малышев Вениамин Васильевич



---

Ученый секретарь диссертационного совета  
24.2.327.03, д.т.н., доцент  
Старков Александр Владимирович



---

«15» июня 2023 г.

Начальник отдела УДС МАИ  
Т.А. Анжуйская

