

СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ

Диссертационный совет: 24.2.327.03

Соискатель: Горо Секу

Тема диссертации: Разработка алгоритмов повышения точности бортовых измерений в целях идентификации параметров моделей движения самолетов

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

Решение диссертационного совета по результатам защиты диссертации:

На заседании «25» декабря 2025 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 Горо Секу 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, А.И. Болкунов, Л.В. Вишнякова, В.А. Воронцов, В.Н. Евдокименков, А.В. Ефремов, К.А. Занин, Д.А. Козорез, М.С. Константинов, А.В. Ненарокомов, С.Н. Падалко, В.Г. Петухов, В.В. Родченко, К.И. Сыпало, Ю.В. Тюменцев.

Ученый секретарь диссертационного совета

24.2.327.03, д.т.н., доцент

Старков Александр Владимирович

Проректор по научной работе, д.т.н., доцент

Иванов Андрей Владимирович



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 25.12.2025 г., протокол № 33

О присуждении **Горо Секу**, гражданину Республики Мали, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Разработка алгоритмов повышения точности бортовых измерений в целях идентификации параметров моделей движения самолетов» по специальности 2.5.16. Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов (технические науки) принята к защите «23» октября 2025 г., протокол № 25, 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, Горо Секу, 22 декабря 1995 года рождения. В 2021 году Горо Секу окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» по направлению подготовки 24.04.04 «Авиастроение» (диплом магистра с отличием № 107718 1243547, регистрационный номер 2021/10-307Д от 09 июля 2021 года). В 2021 году Горо Секу поступил и в 2025 году окончил очную аспирантуру федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» по специальности 2.5.16. Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов. Диплом об окончании аспирантуры (номер 107718 1413858, регистрационный номер 2025/10-507Д) с присвоением квалификации «Исследователь. Преподаватель-исследователь» по направлению подготовки 24.06.01 «Авиационная и ракетно-космическая техника» выдан 07.07.2025 года в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)».

В период подготовки диссертации соискатель Горо Секу проходил обучение в очной аспирантуре федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» на кафедре 101 «Проектирование и сертификация авиационной техники» Института №1 «Авиационная техника».

Диссертация выполнена в МАИ на кафедре 101 «Проектирование и сертификация авиационной техники» Института №1 «Авиационная техника».

Научный руководитель - Корсун Олег Николаевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры 101 «Проектирование и сертификация авиационной техники» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)».

Официальные оппоненты:

1. Селезнева Мария Сергеевна – гражданка Российской Федерации, доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии приборостроения» МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва.

2. Ткаченко Олег Иванович – гражданин Российской Федерации, кандидат технических наук, начальник отдела НИО-15 НИЦ БП ФАУ «ЦАГИ», г. Жуковский.

Ведущая организация АО «Летно-исследовательский институт имени М.М. Громова», г. Жуковский, Московская область.

Все оппоненты и ведущая организация дали положительные отзывы о диссертации.

По теме диссертации опубликованы 12 печатных работ, 4 из которых в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, из них 3 работы по специальности 2.5.16., 1 статья – в журнале, индексируемом в базе данных Scopus, 1 статья в материалах конференций, индексируемых в базе данных Scopus, а также 6 работ в сборниках тезисов международных и всероссийских конференций. Наиболее значимыми научными работами по теме диссертации являются:

Научные статьи в рецензируемых научных журналах, входящих в Перечень Высшей аттестационной комиссии Российской Федерации по специальности 2.5.16

1. Korsun O.N., Om M.H., Goro S. Analysis of the Effects of Numerical Differentiation Methods on the Estimation of Longitudinal Stability and Control Derivatives of the Aircraft Mathematical Model // RUDN Journal of Engineering Research. - 2024. - Vol. 25. - № 3. - P. 203-215.

DOI: 10.22363/2312-8143-2024-25-3-203-215. (категория K2, 3 с. авт., № 702, перечень ВАК от 25.05.2022 г.).

Личный вклад автора заключается в программной реализации сравнительного анализа численных методов дифференцирования (конечных разностей и метода Поплавского); вычислении производных устойчивости и управления.

2. Корсун О.Н., Горо С., Ом М.Х. Метод оценивания углового ускорения по тангажу на основе анализа измерений угла и угловой скорости тангажа // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. - 2024. - Т.23. - № 3. - С. 58-68. - DOI: 10.18287/2541-7533-2024-23-3-58-68. (категория K1, 8 с. авт., №737, перечень ВАК от 01.02.2022 г.).

Личный вклад автора заключается в разработке алгоритма оценивания углового ускорения, основанного на комплексировании измерений угла тангажа и угловой скорости с использованием, модифицированного алгоритма сплайна Эрмита; проведении экспериментов для оценки точности и устойчивости к шумам предложенного метода в сравнении с традиционными подходами численного дифференцирования.

3. Корсун О.Н., Горо С., Ом М.Х. Сравнение подходов фильтрации Калмана при оценивании параметра движения самолета // Мехатроника, автоматизация, управление - 2023. - № 24(11). - С. 590-597. - URL: <https://doi.org/10.17587/mau.24.590-597> . (категория K1, 5 с. авт., №1754, перечень ВАК от 01.02.2022 г.).

Личный вклад автора заключается в разработке алгоритма и методики сравнительного анализа расширенного (EKF) и сигма-точечного (UKF) фильтров Калмана для задачи оценивания параметров продольного движения летательного аппарата; проведении цикла вычислительных экспериментов для анализа точности и вычислительной эффективности данных подходов при различных уровнях погрешностей.

Научные статьи в рецензируемых научных журналах, включенных в международные системы цитирования (Scopus) и приравниваемых к перечню ВАК категории K1

4. Korsun O.N, Goro S., Om M.H. Comparison between filtering approach and spline approximation method in smoothing flight data// Aerospace systems. - 2023.- № 6. - P. 473-480. - URL: <https://doi.org/10.1007/s42401-023-00201-0>. (5 с. авт., Scopus Q2).

Личный вклад автора заключается в разработке методики сравнительного анализа фильтрационного подхода (на основе фильтра Калмана) и метода сплайн-аппроксимации для сглаживания данных полета; проведении вычислительных экспериментов для оценки эффективности и точности каждого метода при оценивании и восстановлении зашумленных траекторных измерений; анализе

полученных результатов и формулировке выводов о применимости методов в задачах обработки полетной информации. а также в интерпретации полученных результатов и формулировке практических рекомендаций по выбору оптимального метода обработки в зависимости от характеристик полетных данных.

Статьи в материалах международных конференций - в изданиях, включенных в международные системы цитирования (Web of Science, Scopus)

5. Dhiman Gaurav, Goro Sekou and Moung Htang Om- Synthesis of Control Law Based on Nonlinear Dynamic Inversion for Supersonic Aircraft in Presence of Noise and Uncertainties// E3S Web of Conferences. - 2023. - № 06005(446). - URL: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202344606005> (6 с. авт. , Scopus).

Личный вклад автора заключался в проведении математического моделирования для анализа устойчивости и робастности синтезированной системы управления в условиях действия случайных и систематических погрешностей в модели; а также в сравнительном анализе эффективности предложенного метода с традиционными подходами.

Статьи в других рецензируемых изданиях Перечня ВАК

6. Бейсеев С.А., Наукенова А.С., Корсун О.Н., Ивахнюк г.К., Тулекбаева А.К, С. Горо. Совершенствование организации метрологического обеспечения на основе методов исследования операций // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение - 2022. № 2 (139). - С. 60-78. (категория К2, 3 с. авт., №574, перечень ВАК от 01.02.2022 г.).

Личный вклад автора заключается в реализации алгоритмического обеспечения для применения методов исследования операций (в частности, методов оптимизации) при решении задачи планирования и управления метрологическим обеспечением; проведении экспериментов по моделированию для оценки эффективности предложенных алгоритмов в сравнении с традиционными подходами.

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) Акционерное общество «Летно-исследовательский институт имени М.М. Громова», ведущая организация. Отзыв положительный.

Ведущая организация в своем положительном отзыве, рассмотренном и одобренном на заседании научно-технического совета предприятия (протокол № 021545 от 08.12.2025 г.), подписанном начальником лаборатории НИО-7, д.т.н, профессором Б.К. Поплавским, начальником НИО-7, к.ф.-м.н А.А. Бардиным, ведущим научным сотрудником НИО-7, к.п.н М.Б. Меликовой и утвержденным первым заместителем генерального директора по науке К.В. Деевом, отметила, что диссертация является самостоятельной научно-квалификационной работой.

Решение поставленной в работе задачи имеет существенное значение для совершенствования методов обработки полетной информации и повышения точности параметрической идентификации моделей движения самолетов. Работа выполнена на высоком научном уровне, а ее автор, Горо Секу, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.16. – «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов».

В отзыве содержатся следующие замечания:

1. В работе рассмотрены только интерполяционные сплайны и не рассмотрено возможное применение среднеквадратических кубических сплайнов.

2. В диссертации предложенный автором метод вычисления производных сравнивается с известными методами численного дифференцирования. Это не вполне корректно, поскольку в формулах дифференцирования, по определению, используется только дифференцируемый сигнал, тогда как автор рассматривает два связанных сигнала – угол тангажа и угловую скорость тангажа.

3. При рассмотрении сигма-точечного (взвешенного) фильтра Калмана следовало бы дать более детальное описание порядка выбора взвешенных коэффициентов, аппроксимирующих нелинейную модель объекта.

4. В рамках оценки свойств алгоритма оптимизации длины скользящего интервала с использованием нейронной сети следовало бы представить оценку минимального объема обучающей выборки.

2) Селезнева Мария Сергеевна, официальный оппонент, доктор технических наук, доцент, профессор. **Отзыв положительный**, заверен МГТУ им. Н.Э. Баумана.

В качестве замечаний по диссертации следует указать:

1. В первой главе в обзор бортовых систем значительная часть материала является избыточной с точки зрения обоснования задач диссертации, и больше соответствует обзорной лекции по бортовому радиоэлектронному оборудованию.

2. При сравнении двух вариантов калмановской фильтрации недостаточно полно представлена процедура определения начальных значений ковариационной матрицы вектора состояния, что может существенно влиять на результаты фильтрации.

3. При изложении алгоритма, компенсирующего погрешности дискретизации, следовало бы более четко указать, что существует простое альтернативное аппаратное решение – увеличение разрядности аналого-цифрового преобразователя.

4. Предложенный автором алгоритм численного дифференцирования, строго говоря, выходит за рамки собственно теории численного дифференцирования, потому что автор использует не только дифференцируемый сигнал, но и другие сигналы, связанные с исходным через модель объекта. Это означает, что автор привлекает дополнительную информацию, содержащуюся в модели объекта, но тем самым ограничивает универсальность своего алгоритма.

3) Ткаченко Олег Иванович, официальный оппонент, кандидат технических наук. **Отзыв положительный**, заверен начальником управления персоналом О.А. Власовой.

При всех достоинствах, диссертационная работа не лишена недостатков.

1. При достаточно разработанном автором математического аппарате идентификации в работе продемонстрирован пример оценки ограниченного числа параметров модели продольной аэродинамики самолета в предположении линейного характера изменения аэродинамических характеристик. В приведенном примере отсутствуют оценки моментных характеристик самолета. Аэродинамические характеристики самолета существенно зависят от угла атаки и числа М. Работа выиграла бы при идентификации нелинейных зависимостей аэродинамических параметров.

2. На стр.148 приведена Таблица 4.5.1.1 сравнения среднеквадратических отклонений для двух параметров, при этом приведено излишне большое число значащих цифр после запятой. Такое представление результата не имеет смысла, а только затрудняет понимание проведенных автором исследований.

3. Вызывает вопрос рисунок 4.1.3 на стр 127. Подпись оси ординат не соответствует физике исследуемого процесса. Сравнение его с рисунком 4.2.1.1 на стр. 131 показывает, что, всей видимости, приведен график изменения тангажа.

4. В главе 2 на стр.107 автор высказывает замечание, что среднюю абсолютную процентную ошибку (MAPE-Mean Absolute percentage Error) не рекомендуется использовать при наличии нулевых или близких к нулю значений в данных. Тем не менее в главе 4 во многих местах используется мера MAPE для сравнения методов идентификации. Возникают вопросы по результатам, приведенным, в частности, в таблице 4.5.2 на стр.151. Возможно, целесообразнее было бы использовать другие меры для сравнения результатов расчетов.

5. В автореферате автор практически не уделил места для описания главы 4. При этом часть материалов этого раздела диссертации оказалось в описании других глав.

4) Публичное акционерное общество «Московский институт электромеханики и автоматики», отзыв на автореферат.

Отзыв положительный, подписан начальником отдела 901 ПАО «МИЭА», доктором технических наук А.В Гребенкиным, утвержден ученым секретарем диссертационного совета, к.т.н, с.н.с. О.Б. Кербер.

1. Обучение нейронной сети для выбора оптимального окна производилось на смоделированных данных. В работе, согласно автореферату, недостаточно освещена устойчивость данной методики к расхождениям между моделью и реальным объектом, а также практические аспекты ее настройки и дообучения в процессе эксплуатации.

2. В автореферате основное внимание уделено методам обработки данных. В связи с этим представляет интерес вопрос о том, как предлагаемые алгоритмы интегрируются в общий технологический процесс летных испытаний или штатной эксплуатации, например, для коррекции калибровочных характеристик датчиков.

3. В представленных уравнениях пространственного движения самолёта на стр. 8 автореферата отсутствует выражение для ускорения a_z .

4. Проекции вектора скорости в связанной системе координат имеют обозначения, принятые для скоростной системы координат.

5. Из материалов автореферата не ясно, что (какие физические величины) автор оценивает линейными коэффициентами $C_{x0}, C_{y0}, C_{y\alpha}, C_{y\delta}$ и квадратичным коэффициентом $C_{x\alpha^2}$.

5) Акционерное общество Московский научно-производственный комплекс «Авионика» имени О.В. Успенского», отзыв на автореферат

Отзыв положительный, подписан главным конструктором по инновационным проектам ТН-17, кандидатом технических наук, доцентом В.С. Кулабуховом, заверен помощником управляющего директора по кадрам О.Б. Прибыловой.

Отмечая достоинства диссертационной работы Горо Секу, необходимо сделать следующее замечание:

экспериментальная проверка предложенных алгоритмов в автореферате представлена преимущественно результатами стендового моделирования; целесообразно более детально показать их применение на примерах реальных полетных данных с учетом всего комплекса эксплуатационных факторов.

6) Акционерное общество «Уральский завод гражданской авиации» (АО «УЗГА»), отзыв на автореферат

Отзыв положительный, подписан начальником отдела оценки летно-технических характеристик, взлетно-посадочных характеристик, характеристик устойчивости и управляемости, прочности и манёвренности АО «УЗГА», кандидатом технических наук А.В. Семеновом, утвержден начальником летно-испытательного центра АО «УЗГА» В.Н. Соколенко.

По тексту автореферата имеются следующие замечания:

1. Имеют место некоторые редакционные погрешности и стилистические шероховатости в тексте (например, на стр. 13, 15).

2. На стр. 10, в таблице 1, заголовок столбца «Матема.ожидание» следовало бы заменить на «Математическое ожидание», как это сделано в пояснительном тексте.

3. На стр. 11, в описании этапов алгоритма, переход между этапами 1 и 2 описан слишком схематично; отсутствует четкое описание критерия перехода к этапу сглаживания.

7) Федеральное государственное бюджетное учреждение «Главный научный метрологический центр» Министерства обороны Российской Федерации, отзыв на автореферат

Отзыв положительный, подписан начальником лаборатории ФГБУ «ГНМЦ» минобороны России, кандидатом технических наук П.А. Мотlichem. Отзыв заверен начальником отделения кадров и строевого Л.С. Ставинской.

Основываясь на материалах автореферата, можно сделать следующее замечание:

В автореферате подробно представлены количественные характеристики эффективности предложенных алгоритмов, полученные в результате математического моделирования. Представляет интерес вопрос о планируемых путях практической применения этих алгоритмов для обработки результатов реальных бортовых измерений в ходе летных экспериментов.

8) Акционерное общество «Государственное машиностроительное конструкторское бюро “Вымпел” имени И.И. Торопова», отзыв на автореферат

Отзыв положительный, подписан главным специалистом НИК, д.т.н М.Н. Правидло и начальником бригады, к.т.н П.А. Бирюковым. Отзыв утвержден заместителем генерального директора по НИОКР, к.т.н А.Н. Беляевом.

По работе следует отметить недостатки:

1. Из автореферата неясно, проводился ли анализ влияния частоты дискретизации и длины разрядной сетки при выводе алгоритма коррекции погрешностей дискретизации бортовых измерений.

2. Автором не представлены аргументы в пользу выбора Эрмитовых кубических сплайнов, то есть сплайнов дефекта 2, тогда как на практике обычно применяются интерполяционные сплайны дефекта 1, обладающие лучшими свойствами гладкости.

3. Избыточная информация приведена на рисунке 3 (страница 14), что затрудняет восприятие результатов, особенно учитывая мелкий масштаб графиков.

4. По тексту реферата имеются некоторые редакционные погрешности и повторы.

9) Общество с ограниченной ответственностью «Научно-производственное объединение НаукаСофт», отзыв на автореферат

Отзыв положительный, подписан главным научным сотрудником отдела навигации и управления, д.т.н, доцентом Черенодаровом Александром Владимировичем. Отзыв утверждён генеральным директором, д.т.н, доцентом П.С. Горшковым.

Судя по автореферату, можно отметить следующее замечание:

в предложенных автором алгоритмах, основанных на применении фильтра Калмана и метода максимума правдоподобия, предполагается, что шумы

измерений являются независимыми гауссовскими с известными статистиками. однако на практике, особенно применительно к динамике беспилотных ЛА, погрешности измерений могут иметь произвольный характер и быть коррелированными с собственными частотами колебаний конструкции ЛА.

10) Публичное акционерное общество «Авиационный комплекс им. С.В. Ильюшина» (ПАО «Ил»), отзыв на автореферат

Отзыв положительный, подписан руководителем проектов по комплексированию БРЭО ПАО «ИЛ» М.С. Сергеевом.

Работа не лишена недостатков, среди которых можно отметить:

1. Порядок применения нейронной сети для выбора участка идентификации изложен недостаточно подробно, не представлена оценка влияния на результат ограничений на объем обучающей выборки.

2. Из автореферата неясно, проводился ли при разработке метода коррекции погрешностей дискретизации анализ влияния частоты дискретизации и длины разрядной сетки.

3. Много избыточной информации приведено на рисунке 3 (страница 14), что затрудняет восприятие результатов.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается наличием публикаций в соответствующей сфере исследования, компетентностью, имеющимся у них большим опытом проведения лётных испытаний, идентификации аэродинамических характеристик и практического применения алгоритмов обработки бортовых измерений для различных типов летательных аппаратов, в том числе, в области, соответствующей паспорту специальности 2.5.16. Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов (технические науки) и способностью определить научную новизну и практическую ценность диссертации.

Акционерное общество «Лётно-исследовательский институт имени М. М. Громова» (АО «ЛИИ им. М. М. Громова») является государственным научным центром Российской Федерации и одной из ведущих организаций в области лётных исследований и испытаний авиационной техники. Институт специализируется на проведении комплексных лётных экспериментов, включая испытания экспериментальных летательных аппаратов, их силовых установок и бортового оборудования, а также на разработке методов обеспечения безопасности, надёжности и эксплуатационной технологичности с использованием летающих лабораторий. Проводит фундаментальные и прикладные научные исследования в области динамики полёта, идентификации характеристик, статистического оценивания и повышения точности бортовых измерений, включая разработку алгоритмов и программного обеспечения для обработки результатов лётных испытаний. Компания выполняет полный цикл работ от проектирования эксперимента до технического сопровождения. Заключение по диссертационной

работе обсуждено и подписано учёными, которые непосредственно занимаются вопросами лётных испытаний, идентификации аэродинамических характеристик и обработки данных бортовых измерений. В частности, в институте активно ведутся работы, отражённые в публикациях по тематике диссертации, таких как исследования методов параметрической идентификации систематических погрешностей бортовых измерений (С.Г. Пушкин и др.); Б.К. Поплавский, автор более 100 научных работ в области комплексной обработки информации и разработки методов идентификации аэродинамических характеристик ЛА по данным лётных испытаний. Е. Г. Харин, автор более 94 научных работ в области испытания и разработки методов оценивания лётно-технических характеристик летательных аппаратов.

Селезнева Мария Сергеевна – доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии приборостроения» МГТУ им. Н.Э. Баумана, автор более 50 научных работ. Под руководством М.С. Селезневой проводятся фундаментальные и прикладные исследования в области анализа, синтеза и алгоритмического обеспечения интегрированных навигационных систем для различных типов летательных аппаратов. Основное научное направление включает разработку и исследование адаптивных алгоритмов коррекции и комплексирования (включая самоорганизующиеся структуры и модификации фильтра Калмана), методов оценки наблюдаемости и идентифицируемости для повышения точности и автономности навигационных комплексов, а также создание высокоточных алгоритмов обработки информации инерциальных систем. Полученные результаты непосредственно применимы к проблематике диссертации, связанной с повышением точности бортовых измерений и идентификацией параметров моделей движения.

Ткаченко Олег Иванович – кандидат технических наук, начальник отдела НЦО-15 НИЦ Бортового оборудования ФАУ «ЦАГИ», автор более 60 научных работ. Научная и практическая деятельность О.И. Ткаченко охватывает фундаментальные и прикладные исследования в области динамики полета, систем управления, а также разработку методик и алгоритмов для моделирования, идентификации характеристик и обеспечения безопасности полетов летательных аппаратов в сложных условиях. Под его руководством и при непосредственном участии проводятся работы по созданию законов управления, систем информационно-интеллектуальной поддержки экипажа, полунатурному моделированию воздушного боя и посадки, в том числе с использованием технологий прогнозирования и машинного зрения. Его экспертиза в области анализа динамики продольного движения, оценки пилотажных свойств самолетов и разработки алгоритмического обеспечения для обработки данных напрямую связана с проблематикой диссертации, посвященной повышению точности бортовых измерений и идентификации параметров моделей движения.

В дискуссии приняли участие:

Фамилия, имя, отчество	Ученая степень, шифр специальности в совете
Евдокименков Вениамин Николаевич	д.т.н., проф., 2.3.1.
Малышев Вениамин Васильевич	д.т.н., проф., 2.5.16.
Ненарокомов Алексей Владимирович	д.т.н., проф., 1.2.2.
Бобронников Владимир Тимофеевич	д.т.н., проф., 2.3.1.
Константинов Михаил Сергеевич	д.т.н., проф., 2.5.16.
Вишнякова Лариса Владимировна	д.т.н., проф., 1.2.2.
Ефремов Александр Викторович	д.т.н., проф., 2.5.16.

Диссертационный совет отмечает, что диссертация написана автором самостоятельно, обладает внутренним единством, соответствует паспорту специальности 2.5.16. Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов (технические науки), а **наиболее существенные научные результаты, полученные лично соискателем**, могут быть сформулированы следующим образом:

1. Разработан метод оценивания систематических погрешностей измерения параметров полёта, основанный на сочетании уравнений динамики полёта и параметрической идентификации.

2. Разработан алгоритм коррекции погрешностей дискретизации бортовых измерений, обусловленных ограниченностью разрядной сетки.

3. Разработан алгоритм на основе расширенного фильтра Калмана с перекрывающимся скользящим окном, обеспечивающий совместную оценку состояния и аэродинамических параметров движения самолета.

4. Предложена методика определения оптимального скользящего окна с использованием нейронных сетей, обученных на смоделированных полетных данных, обеспечивающая наименьшую погрешность в задаче идентификации аэродинамических параметров.

5. Разработан метод численного дифференцирования для оценки углового ускорения на основе использования соотношений, определяемых уравнениями Эйлера.

Проведенные исследования являются новыми, выносимые автором на защиту результаты получены впервые, а их новизна заключается в том, что разработанный метод оценивания систематических погрешностей измерения параметров полёта рассматривается с точки зрения совместного решения уравнений динамики полёта и задачи параметрической идентификации, что ранее для такого комплексного подхода не предлагалось. Разработанные алгоритмы коррекции погрешностей дискретизации и совместной оценки состояния и параметров реализуются непосредственно в процессе обработки потока бортовых измерений, Разработанные в совокупности алгоритм на основе расширенного

фильтра Калмана с перекрывающимся скользящим окном, а также методика оптимизации его параметров с применением нейронных сетей, обученных на смоделированных полетных данных, позволяют существенно повысить точность и оперативность идентификации аэродинамических параметров модели движения, что особенно важно для систем с жёсткими ограничениями по вычислительным ресурсам, а предлагаемый метод численного дифференцирования на основе соотношений Эйлера позволяет получать оценку углового ускорения непосредственно по данным летных испытания, что расширяет инструментарий обработки и исключает необходимость установки дополнительных измерителей, обеспечивая как высокую точность, так и компактность решений.

Теоретическая значимость заключается в развитие теории оптимальной фильтрации и идентификации параметров, методов адаптивной обработки данных, численного анализа и коррекции систематических погрешностей за счёт разработки новых алгоритмов на основе различных вариантов фильтра Калмана, нейросетевых технологий, сплайнов Эрмита и других подходов.

Практическая значимость результатов исследования.

На основе проверки предложенных алгоритмов по данным моделирования получены следующие результаты:

- метод оценивания систематических погрешностей параметров полёта обеспечивает идентификацию постоянных погрешностей угловых скоростей и перегрузок с среднеквадратическим отклонением, не превышающим 0,0012 град/с в каналах угловых скоростей и 0,0423 в каналах перегрузок;
- алгоритм коррекции погрешностей дискретизации бортовых измерений восстанавливает сигналы с точностью 93–96% при случайных погрешностях в канале тангажа с среднеквадратическим отклонением 0,3–1°;
- разработанный алгоритм на основе расширенного фильтра Калмана с перекрывающимся скользящим окном повышает точность идентификации параметров ЛА, снижая погрешности оценок аэродинамических коэффициентов на 85% по сравнению со стандартным расширенным фильтром Калмана;
- применение разработанной методики с использованием нейронных сетей для определения длительности скользящего окна обеспечивает минимизацию погрешности идентификации параметров модели ЛА;
- разработанный метод численного дифференцирования на основе использования угла тангажа и угловой скорости повышает точность оценки углового ускорения в условиях шумов на 11,76% по сравнению с традиционными методами численного дифференцирования.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается проведением численного эксперимента, то есть реализацией предложенных алгоритмов в виде программ для ЭВМ и обработки по этим алгоритмам экспериментальных данных, полученных путем стендового

моделирования, сравнением оценок идентификации с известными значениями, принятыми для моделирования, а также сравнением с известными результатами, опубликованными в отечественных и зарубежных источниках.

Результаты диссертационной работы рекомендуются к использованию в организациях, осуществляющих проектирование, испытания и эксплуатацию летательных аппаратов, обработку данных бортовых измерений, разработку алгоритмов навигации и управления, а также в научно-исследовательских институтах и конструкторских бюро аэрокосмической отрасли, таких как АО «Российские космические системы», АО «ЦНИИмаш», АО «Наука-Софт», ООО «АУРУС-АЭРО», АО «Лётно-исследовательский институт им. М.М. Громова», АО «Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем», а также при проведении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ для перспективных авиационных систем, проекты по созданию высокоточных бортовых измерительных комплексов для пилотируемых и беспилотных летательных аппаратов и разработку алгоритмов обработки полётных данных в рамках испытаний новых образцов авиационной и ракетно-космической техники.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что основные положения диссертации опираются на современный математический аппарат по теории идентификации систем, комплексирования измерений и оптимальной фильтрации и согласуются с опубликованными экспериментальными данными по теме диссертации. Соискателем разработаны и используются корректные математические модели пространственного движения летательного аппарата и алгоритмы обработки бортовых измерений, оценивания и компенсации систематических погрешностей, параметрической идентификации аэродинамических характеристик. В рамках исследования автором грамотно применены общие и специальные методы обработки информации, анализа и синтеза сложных технических систем, в том числе методы математического и полунатурного моделирования, метод расширенного фильтра Калмана с перекрывающимся скользящим окном, методы сплайн-аппроксимации и численного дифференцирования, а также методы машинного обучения для адаптивного определения оптимальных параметров обработки данных и повышения точности идентификации.

В диссертации научно обоснованы новые технические решения, имеющие существенное значение для развития аэрокосмической отрасли в части повышения точности параметрической идентификации, обработки полётных данных и совершенствования бортовых алгоритмов летательных аппаратов, а именно :

1. Метод оценивания систематических погрешностей измерения параметров полёта, основанный на сочетании бортовых измерений, выполненных

на заданных режимах полёта, уравнений динамики полёта и параметрической идентификации.

2. Алгоритм, обеспечивающий коррекцию погрешностей дискретизации, вызванных ограниченной разрядностью сетки.

3. Алгоритм на основе расширенного фильтра Калмана с перекрывающимся скользящим окном, обеспечивающий повышенную точность совместной оценки состояния и аэродинамических параметров модели движения самолёта в реальном времени.

4. Методика применения нейронных сетей для определения наилучшего скользящего интервала, обеспечивающего повышенную точность оценки аэродинамических параметров самолёта.

5. Метод численного дифференцирования на основе использования угла тангажа и угловой скорости, заданных в условиях шумов, позволяющий уменьшить погрешность оценки углового ускорения.

В ходе защиты были высказаны следующие критические замечания:

1. В математической модели движения самолета в методе систематических погрешностей измерения перегрузок и угловых скоростей отсутствуют традиционные входные сигналы в виде отклонений управляющих поверхностей. Неясно, что в вашей модели является вектором входных сигналов и какова его размерность.

2. В используемом методе оптимизации в минимизируемый функционал входят измерения, содержащие случайные погрешности. А в докладе сказано, что Ваши методы дают неслучайные оценки параметров, и в этом усматривается противоречие.

Соискатель Горо Секу ответил на задаваемые вопросы и привел собственную аргументацию:

1. В методе оценивания систематических погрешностей измерений модель движения объекта приведена к специальному виду, удобному для решения поставленной задачи. Входными сигналами являются проекции угловых скоростей и перегрузок на оси связанной системы координат, то есть размерность входного вектора равна шести.

2. Минимизируемый функционал является выборочной оценкой математического ожидания квадрата рассогласований между измерениями и выходными сигналами модели по N измерениям, дисперсия которой уменьшается при увеличении объема выборки. Поэтому оценки параметров, минимизирующие функционал, конечно, являются случайными величинами, но при достаточно большом числе измерений N их дисперсии весьма малы, и ими часто пренебрегают.

Однако Вы правы, для корректности следует указывать значения дисперсии оценок параметров, которые вычисляются в используемом алгоритме, даже если они малы.

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 25 декабря 2025 г. диссертационный совет пришел к выводу о том, что диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, содержащую решение актуальной научно-технической задачи, имеющей существенное значение для развития ракетно-космической и авиационной отрасли в части повышения точности параметрической идентификации, обработки полётных данных и совершенствования алгоритмов обработки летных испытаний. Диссертация соответствует требованиям Положения 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 ее автор Горо Секу заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.16. Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов (технические науки).

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



Проректор по научной работе, д.т.н., доцент
Иванов Андрей Владимирович



«25» декабря 2025 г.