

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.107.01, СОЗДАННОГО
НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТА ПРОБЛЕМ УПРАВЛЕНИЯ ИМ. В.А.
ТРАПЕЗНИКОВА РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК, ПО ДИССЕРТАЦИИ
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 24.06.2024 г. № 4

О присуждении **Гаракоеву Амиру Мусаевичу**, гражданину
Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Разработка математического и алгоритмического обеспечения системы информационной поддержки пилота в процессе аэрогеофизической съемки» по специальности 2.3.1. «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика» принята к защите 8 апреля 2024 г. (протокол заседания № 2) диссертационным советом 24.1.107.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук (117997, Москва, ул. Профсоюзная, д. 65, утвержденным приказом ВАК № 1223-в от 29.12.2000 г., перерегистрирован 11.04.2012 г., приказ №105/нк, приказ №561/нк от 03.06.2021 г., приказ № 2153/нк от 27.11.2023 г.).

Соискатель Гаракоев Амир Мусаевич, рожденный 7 апреля 1993, в 2015 году окончил бакалавриат факультета фундаментальных наук (ФН-2) Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана; в 2017 году окончил магистратуру факультета фундаментальных наук (ФН-12) Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана; в 2021 году окончил аспирантуру Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук. В настоящее время работает научным сотрудником в лаборатории № 1 «Динамических информационно-управляющих систем им. Б.Н. Петрова» Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук.

Диссертация выполнена в лаборатории № 1 «Динамических информационно-управляющих систем им. Б.Н. Петрова» Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук.

Научный руководитель – доктор технических наук, доцент Гладышев Анатолий Иванович, профессор кафедры Информационных технологий и естественнонаучных дисциплин Автономной некоммерческой организации высшего образования «Российский новый университет».

Официальные оппоненты:

Лемак Степан Степанович, доктор физико-математических наук, профессор кафедры прикладной механики и управления Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»;

Шелагурова Марина Сергеевна, кандидат технических наук, начальник сектора по индикации и картографии Акционерного общества «Раменское приборостроительное конструкторское бюро», дали **положительные отзывы** на диссертацию.

Ведущая организация – **Акционерное общество «Геофизическое научно-производственное предприятие «Аэрогеофизика» (г. Москва)** в своем положительном отзыве, подписанном начальником отдела геолого-геофизического моделирования Акционерного общества «Геофизическое научно-производственное предприятие «Аэрогеофизика» **Трусовым Алексеем Андреевичем**, исполнительным директором Акционерного общества «Геофизическое научно-производственное предприятие «Аэрогеофизика» **Контаровичем Олегом Рафаиловичем**, и утвержденном директором Акционерного общества «Геофизическое научно-производственное предприятие «Аэрогеофизика» **Контаровичем Рафаилом Самуиловичем**, указала, что диссертация является завершенной научно-квалификационной работой, в которой научно обосновано разработанное математическое и алгоритмическое обеспечение системы информационной поддержки пилота, значительно повышающее эффективность аэрогеофизических комплексов применительно к решению геолого-геофизических задач. Результаты, полученные в диссертации, могут быть использованы: на производственных предприятиях, выполняющих аэрогеофизические исследования; при проектировании новых информационно-управляющих систем обеспечения точности работы пилота и штурманов-съемщиков; в образовательном процессе вузов.

Заключение ведущей организации имеет следующие замечания:

1. В разделах 1.2 – 1.3 приведен обзор существующих систем навигационной поддержки, однако не приведена оценка эффективности их применения, недостаточно полно рассмотрены особенности применительно к задачам аэрогеофизической съемки.

2. Отсутствуют ясное обоснование выбора вида передаточной функции в формуле (3.1). Не понятно, почему выбран именно второй порядок знаменателя.

3. На стр. 68 изложены причины большой разницы в коэффициентах модели для самолетов и вертолетов, однако они определенно являются гипотезой автора, в тексте нет четкого обоснования полученного расхождения.

4. В главе 4 исследована возможность предоставления пилоту дополнительной управляющей информации, сформированной на основе баланса энергий, однако никак не рассмотрен вопрос оценки эффективности применения

данного метода без учета изменчивости во времени базовых характеристик летательного аппарата: массы, момента инерции, а также условий полета: скорости и направления ветра, температуры и плотности воздуха и т.п.

5. Выводы к рисунку 5.11 на стр. 102 не являются столь очевидными, как утверждает автор. В аэрогеофизической практике достаточно много случаев, когда при одинаковом наборе навигационного оборудования на одном и том же воздушном судне разные пилоты обеспечивали существенно разное качество съемки. Зачастую это связано с опытом пилота, накопленным при выполнении съемки.

Отмечено, что приведенные замечания не снижают высокой оценки диссертационной работы Гаракоева А.М.

В отзывах оппонентов имеются замечания.

В отзыве С.С. Лемака:

1. В главе 2 изложена методика упрощения уравнений движения ЛА (система уравнений (2.1)) выделения малого параметра и разделения движений. Однако, сами уравнения (2.1) представляют смесь кинематических уравнений движения центра масс ЛА (медленное движение) и уже нормализованных динамических уравнений движения ЛА вокруг центра масс (быстрое движение). Эти уравнения приведены без всяких ссылок. Следовало бы аккуратно провести переход от уравнений движения ЛА в плоскости к уравнениям (2.1).

2. Для обоснования оптимального решения задачи быстродействия для упрощенной модели ЛА используется принцип максимума Л.С. Понтрягина. Такое обоснование проведено не совсем аккуратно, поскольку в этой задаче имеется так называемый «особый» режим, где принцип максимума напрямую не позволяет найти оптимальное решение. Надо использовать необходимые условия оптимальности особого режима (условия Келли), что в работе отсутствует. Тем не менее оптимальные траектории центра масс ЛА в работе найдены правильно.

3. Оптимальные траектории полета ЛА получены в предположении плоской Земли. При больших территориях съемки такое предположение выполняется приближенно. В работе отсутствуют оценки точности такой постановки задачи.

В отзыве М.С. Шелагуровой:

1. Все рассуждения в Главе 2 выполняются в предположении плоской Земли. Однако, при достаточно больших территориях съемки такое предположение уже некорректно. Традиционно в авиации применяется понятие об ортодромиях (геодезических), которые являются кратчайшим расстоянием между парой точек. Однако, данное понятие появляется только в главе 5.

2. В разделе 3.3.2 не вполне понятно объяснение разной величины радиуса разворота Cessna-172 и Ан-3. Автор говорит об ограничениях на максимально допустимый крен самолета Cessna, но не приводит его величины. Как не

приводит указанных ограничений для Ан-3, которые наверняка тоже существуют.

3. Уравнения баланса полной энергии в разделе 4.1 предполагают наличие информации о воздушной скорости ЛА. В тоже время в разделе 4.3 приводятся графики путевой скорости, полученные по данным спутниковой навигационной системы. Следовало отметить данное несоответствие и оценить последствия для предложенного алгоритма, возникающие из-за отсутствия учета скорости ветра.

Сделанные замечания во многом носят характер рекомендаций и не ставят под сомнение результаты работы.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается широкой известностью своими достижениями в данной отрасли науки, наличием публикаций в соответствующей сфере исследований и способностью определить научную и практическую ценность диссертации, а также их согласием.

Соискатель имеет 14 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 13 работ, из них – четыре статьи в рецензируемых научных журналах (в том числе 3 статьи категории К1, из них две статьи по специальности 2.3.1 (технические науки)), 2 публикации в сборниках, индексируемых Web of Science/Scopus, 7 работ в сборниках трудов и тезисов конференций. Недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах отсутствуют.

Наиболее значимые публикации из числа рецензируемых изданий:

Гаракоев А.М., Гладышев А.И. Формирование программных траекторий движения летательного аппарата при аэрогеофизической съемке // Проблемы управления. 2023. № 4. С. 38–47.

Гаракоев А.М., Гладышев А.И. Идентификация динамической системы "летательный аппарат + пилот" при выполнении аэрогеофизической съёмки // Управление большими системами. 2023. Вып. 103. С. 190–202.

Волковицкий А.К., Гаракоев А.М., Гладышев А.И., Каршаков Е.В. Программный комплекс для информационной поддержки пилота при аэрогеофизической съемке // Датчики и Системы. 2023. № 5. С. 35–42.

На диссертацию и автореферат поступило 5 отзывов.

1. Отзыв на автореферат доктора технических наук, старшего научного сотрудника, начальника научно-технического отделения Акционерного общества «Центральный научно-исследовательский институт автоматики и гидравлики» (АО «ЦНИИАГ») **Щербинина В.В.** содержит следующие замечания:

- Целью диссертационной работы является «разработка математического и алгоритмического обеспечения системы информационной поддержки пилота, обеспечивающих повышение точности проводки летательного аппарата и эффективности использования летного времени ...». Между тем в автореферате нет статистических данных по ошибке проводки ЛА на различных участках его

траектории полета, а представлен только рис. 6, по которому нельзя получить количественных оценок. По критерию «эффективности использования летного времени» в автореферате дана оценка «потеря летного времени: 1 – 1,5 минуты в режиме захода на маршрут». В связи с этим формально не ясно, насколько достигается цель диссертационной работы.

- В автореферате используется специальный термин «нуль-индикатор», который в тексте автореферата не раскрыт.

- В автореферате используется качественная оценка «наличие такой подсказки поможет приобрести «чувство полной энергии» пилоту...», смысловое содержание которой без специальных пояснений не ясно.

- Из текста автореферата не совсем ясно, применялся ли энергетический подход к управлению движением летательного аппарата в реальном полете.

2. Отзыв на автореферат доктора технических наук, профессора, директора по геофизике Акционерного общества «ЕМ-Разведка» **Тригубовича Г.М.** содержит следующее замечание:

- Из автореферата не вполне ясно, необходимо ли присутствие борт-оператора на борту летательного аппарата или съемкой управляет только пилот.

3. Отзыв на автореферат доктора технических наук, профессора, руководителя научного направления «Потенциальные поля», главного научного сотрудника, заведующего лабораторией гравиинерциальных измерений 601 Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук (ИФЗ РАН) **Конешова В.Н.** содержит следующее замечание:

- В тексте автореферата системно не рассмотрены возможные аэрогеофизические методы и их требования к пилотированию воздушного носителя. Частично это описано только в главе 4, где указано на зависимость качества аэрогравиметрических данных от вертикальных ускорений. Однако при выполнении аэрогравиметрической съемки необходимо учитывать не только безопасность маневрирования воздушного судна, но и постоянные времени чувствительной системы и систем гиросtabilизации, установленных на борту гравиметров. Поэтому следует рассмотреть предлагаемые в работе алгоритмы формирования сигналов нуль-индикатора при заходе на галс и сближении с ним в горизонтальных плоскостях, в том числе и с учетом технических параметров набортного гравиметрического оборудования.

4. Отзыв на автореферат кандидата технических наук, заместителя генерального конструктора – главного конструктора по направлению акционерного общества «Государственный научно-исследовательского института приборостроения» (АО «ГосНИИП») **Жеглова М.А.** содержит следующие замечания:

- Высказывается тезис о невозможности из соображений безопасности использования при аэрогеофизических работах каких-либо средств

автоматического управления ЛА – пилотирование может осуществляться только вручную. Однако современные ЛА оснащаются пилотажно-навигационными комплексами, обеспечивающими как автоматизированный, так и полностью автоматический режим управления полетом. Для исключения противоречия желательно данный тезис обосновать и раскрыть подробнее.

- В тексте автореферата сказано, что управление осуществляется пилотом, например, воздействием на элероны. Данное воздействие приведет к возникновению крена самолета. Анализ воздействия крена самолета на качество проведения аэрогеофизических работ в автореферате отсутствует.

- В тексте автореферата сказано, что масштабный коэффициент S влияет напрямую на время реакции пилота, тем не менее методика оптимизации значения данного коэффициента не приведена.

5. Отзыв на автореферат доктора технических наук по специальностям 05.13.01. Системный анализ, управление и обработка информации и 05.13.05. элементы и устройства вычислительной техники и систем управления, профессора кафедры «Системы автоматического и интеллектуального управления» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный университет)» **Рыбникова С.И.** содержит следующее замечание:

- Некоторые позиции автореферата вызывают вопросы, возможно, связанные с его краткостью. В главе 2 динамика летчика и ЛА как звеньев системы управления сведена лишь к транспортному запаздыванию, чем не исчерпывается ее влияние на точность траекторного управления ЛА. При формировании команд путевого управления не упоминается ветровой снос, с учетом которого обычно оно организуется и исследуется точность управления полным вектором фазовых координат движения ЛА. Понятно, однако, что летчики, согласно наставлениям по производству полетов, учитывают боковой ветер и при необходимости парируют его влияние.

Все отзывы положительные. С основными замечаниями соискатель согласился.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- **предложены** требования к структуре системы информационной поддержки пилота при аэрогеофизической съемке;

- **разработаны** алгоритмы информационной поддержки пилота при управлении движением в горизонтальной плоскости на основе принципа максимума Понтрягина с использованием траекторий Дубинса;

- **обоснованы** варианты синтеза оптимальных по быстродействию программных траекторий и управлений, реализующих эти траектории, для двух режимов работы в процессе съемки: захода на маршрут и стабилизации на нем;

- **разработан** алгоритм формирования допустимых программных траекторий в режиме сближения с текущим маршрутом, для которых удовлетворяются требования технического задания в части точности следования заданной линии пути. Данный подход позволяет уменьшить нагрузку на пилота при выполнении требований технического задания;

- **предложен** способ оценки динамических характеристик, необходимых для алгоритма управления нуль-индикатором пилота, на основе которого разработан алгоритм настройки. Работа алгоритма позволяет формировать программные траектории, отвечающие поведению конкретного пилота и динамике конкретного летательного аппарата;

- **разработан** алгоритм информационной поддержки пилота при управлении движением в вертикальной плоскости, в основе которого лежит метод баланса полной энергии. Работа алгоритма помогает пилоту избежать влияния излишних перегрузок при выполнении аэрогравиметрической съемки;

- **разработан** программный комплекс информационной поддержки пилота на режимах аэрогеофизической съемки для видов самолетов и вертолетов, выполняющих эти работы.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- **формализована** постановка и получено решение задачи Дубинса для одной пространственной и одной угловой координаты;

- **разработано** математическое и алгоритмическое обеспечение системы информационной поддержки пилота при аэрогеофизической съемке, позволяющее получить требуемую точность следования заданной линии пути и эффективное использование летного времени. Результаты разработки алгоритмов синтеза текущего фрагмента программной траектории, а также расчетного значения параметра отклонения от текущих параметров движения летательного аппарата являются развитием решения задачи быстрогодействия на основе принципа максимума Понтрягина.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что **разработанные алгоритмы** составляют основу программного комплекса NAVDAT, который обеспечивает навигационную поддержку пилота в процессе аэрогеофизической съемки и решение сопутствующих задач. Программное обеспечение может работать как на одном, так и на нескольких компьютерах по бортовой локальной сети. Предусмотрена возможность представления информации по отдельности для всех членов экипажа (пилота, борт-инженера, борт-оператора, штурмана). Обеспечены среднеквадратичное значение ошибки бокового отклонения на уровне 2 – 3 м; затраты летного времени в среднем около минуты в режиме перехода с маршрута на маршрут, что подтверждается актами о внедрении полученных результатов в ООО «Геотехнологии», ФГУП НФ «ВСЕГЕИ», ООО «АвиаМай».

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

- **теория**, лежащая в основе разработанных алгоритмов, основывается на строгом применении используемого математического аппарата. Полученные в работе результаты являются обоснованными. Приведены необходимые выкладки, демонстрирующие правильность результатов, даны ссылки на предшествующие работы по рассматриваемой тематике. Результаты работы в достаточной мере публиковались и обсуждались на различных научных конференциях. Все полученные алгоритмы опробованы на модельных и экспериментальных данных, продемонстрирована их эффективность;

- **установлено**, что научные результаты, представленные в диссертации, не противоречат общепринятым концепциям и положениям, научные положения и выводы подтверждены результатами математического и компьютерного моделирования.

Все исследования, представленные в диссертационной работе, проведены **лично соискателем** в процессе научной деятельности. Из совместных публикаций в диссертацию включен тот материал, который непосредственно принадлежит соискателю.

В ходе защиты диссертации критических замечаний высказано не было. Соискатель Гаракоев А.М. достаточно полно ответил на задаваемые ему вопросы.

На заседании 24 июня 2024 г. диссертационный совет принял решение за новое научно обоснованное решение по разработке математического и алгоритмического обеспечения системы информационной поддержки пилота, имеющее существенное значение для совершенствования аэрогеофизических работ, присудить Гаракоеву А.М. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования по вопросу о присуждении Гаракоеву Амиру Мусаевичу ученой степени кандидата технических наук, из 24 человек, входящих в состав совета, присутствовали и голосовали 21 член диссертационного совета, из них 8 докторов наук по научной специальности рассматриваемой диссертации. Результаты голосования: за – 18, против – 3, недействительных бюллетеней – 0.

Зам. директора по научной работе
к.ф.-м.н.



Барабанов И.Н.

Председатель диссертационного
совета 24.1.107.01, д.т.н.

Краснова С.А.

Ученый секретарь диссертационного
совета 24.1.107.01, д.т.н.

Глущенко А.И.

24 июня 2024 года