

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ОБЪЕДИНЕННОГО ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА  
Д 999.055.04 НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ «КОМСОМОЛЬСКИЙ-НА-АМУРЕ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ», ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО  
УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО  
ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК, ФЕДЕРАЛЬНОГО  
ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТ  
МАШИНОВЕДЕНИЯ И МЕТАЛЛУРГИИ ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО  
ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК, ФЕДЕРАЛЬНОГО  
ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО  
УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «АМУРСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ» ПО ДИССЕРТАЦИИ НА  
СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

Аттестационное дело № \_\_\_\_\_

**Решение**

диссертационного совета от 16 марта 2020 года № 2 о присуждении Зау Хтет Наинг, гражданину Республики Союз Мьянма, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Математическая модель, алгоритмы и программный комплекс для предотвращения столкновений беспилотных летательных аппаратов гражданского назначения» по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ (технические науки) принята к защите 16 января 2020 г., протокол № 4 объединенным диссертационным советом Д 999.055.04 (приказ о создании диссертационного совета Д 999.055.04 № 1483/нк от 27 ноября 2015 года) на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Комсомольский-на-Амуре государственный университет», Федерального государственного бюджетного учреждения науки Вычислительный центр Дальневосточного отделения Российской академии наук, Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт машиноведения и металлургии Дальневосточного отделения Российской академии наук, Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Амурский государственный университет» (почтовый адрес диссертационного совета: Россия, 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27).

Соискатель Зау Хтет Наинг, 1991 года рождения, в 2010 году окончил «Янгонский технологический университет» с присуждением степени бакалавра по направлению «Инженерная математика». В 2015 году с отличием окончил ФГБОУ ВПО «Московский физико-технический институт» по направлению «Прикладные математика и физика». В 2019 году окончил аспирантуру по очной форме обучения по направлению подготовки 09.06.01 – «Информатика и

вычислительная техника» и направленности подготовки 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» в ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре государственный университет».

Диссертация выполнена на кафедре «Прикладная математика и информатика» ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре государственный университет».

**Научный руководитель – Бердонос Виктор Дмитриевич**, кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры «Математическое обеспечение и применение ЭВМ» ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре государственный университет», г. Комсомольск-на-Амуре.

**Официальные оппоненты:**

– **Карпов Александр Иванович**, доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории физико-химической механики ФГБУН «Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», г. Ижевск.

– **Доррер Георгий Алексеевич**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры информационно-управляющих систем Института информатики и телекоммуникаций Сибирского государственного университета науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева, г. Красноярск.

дали положительные отзывы на диссертацию.

**Ведущая организация** – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский государственный авиационный технический университет», г. Уфа в своем положительном заключении, подписанном Ясовеевым Васихом Хаматовичем, доктором технических наук, профессором, заведующим кафедрой информационно-измерительной техники, и утвержденном проректором по научной работе Еникеевым Рустэмом Далиловичем, указали, что в соответствии с формулой научной специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ в диссертации отражены оригинальные результаты одновременно из трех областей: математического моделирования, численных методов и комплексов программ. Результаты относятся к областям исследований по пунктам 1, 2 и 4 паспорта специальности:

п.1 Разработка новых математических методов моделирования объектов и явлений;

п.2 Развитие качественных и приближенных аналитических методов исследования математических моделей;

п.4 Реализация эффективных численных методов и алгоритмов в виде комплексов проблемно-ориентированных программ для проведения вычислительного эксперимента.

Автореферат достаточно полно и объективно отражает основные результаты, полученные в работе.

**Отзыв на диссертацию ведущей организации включает замечания**  
1. Недостаточно обоснованно сделан выбор метода Монте-Карло в качестве численного метода для нахождения границ зоны взаимодействия. 2. В

диссертации нет пояснений относительно того, как повлияет на ситуацию размещение на «чужих» БПЛА программного продукта, аналогичного разработанного автором. 3. В диссертации недостаточно полно рассмотрен вопрос о поведении БПЛА, если «чужой» расположен в «мёртвой» зоне. 4. При моделировании автор использует условные единицы, поэтому не совсем ясно, как происходит реализация основных алгоритмов при использовании реальных параметров БПЛА. 5. Многие выводы по главам носят характер не логических или аналитических выводов, а отчёта о проделанной работе. 6. Для обозначения различных величин в разных частях работы использованы одни и те же символы ( $L$ ,  $\alpha$ ); в результате неясно, как именно динамика БПЛА учитывается при моделировании.

В заключительной части отзыва ведущей организации на основании детального анализа материалов диссертации соискателя отмечено, что по совокупности представленных в диссертации результатов и с учётом возможностей дальнейшего их использования в системах предотвращения столкновений беспилотных летательных аппаратов, диссертационная работа «Математическая модель, алгоритмы и программный комплекс для предотвращения столкновений беспилотных летательных аппаратов гражданского назначения» соответствует требованиям, предъявляемым ВАК Российской Федерации к кандидатским диссертациям, а её автор, Зау Хтет Наинг, заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается:

1. Компетентностью официальных оппонентов в соответствующей отрасли науки, наличием у них публикаций в соответствующей теме диссертационной работы, сфере исследования, наличием их согласия.

2. Широкой известностью ведущей организации своими достижениями в соответствующей отрасли науки и способностью определить научную и практическую ценность диссертации, наличием её согласия.

Соискатель имеет 10 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 10 работ, опубликованных в рецензируемых научных изданиях 3 работы, одна из которых индексируется в базе Scopus, 1 работа в издании, индексируемом в базах Scopus и Web of Science, 1 работа в издании, рекомендованном ВАК, 2 свидетельства о регистрации программы для ЭВМ.

Общий объём работ по теме диссертации составляет 5,46 печатных листа. Статьи изданы в соавторстве. Вклад автора заключается в непосредственном участии во всех этапах проведённого исследования; разработке модели, метода, алгоритмов, программного обеспечения для решения поставленной задачи, анализе и обобщении результатов, полученных в процессе натуральных и полунатурных экспериментов.

Наиболее значительные работы:

1. Бердонос В. Д., Журавлёв Д. О., Зау Хтет Наинг Разработка алгоритма и программного обеспечения интеллектуальной подсистемы предотвращения столкновений БПЛА // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного

университета. Науки о природе и технике. – 2019. – № III-3(39) стр. 38-47. (БАК).

2. Berdonosov, V. D., Zhivotova, A. A., **Zaw Htet Naing**, Zhuravlev, D. O. Speed Approach for UAV Collision Avoidance // Journal of Physics: Conference Series. – 2018. – 22 May (volume 1015). (Scopus).

3. Berdonosov, V. D., Zhivotova, A. A., Zhuravlev, D. O., **Zaw Htet Naing** Implementation of the Speed Approach for UAV Collision Avoidance in Dynamic Environment // Published in: 2018 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon-2018). – 2018. - 3-4 October. (Web of Science).

На диссертацию и автореферат поступили отзывы. Все отзывы положительные (с указанием замечаний).

**Отзыв на диссертацию официального оппонента** Карпова Александра Ивановича, доктора физико-математических наук, профессора, главного научного сотрудника лаборатории физико-химической механики ФГБУН «Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», г. Ижевск, имеет замечания: 1. Исходная формулировка уравнений движения (уравнения (2.1) на стр.47 и (2.2) на стр. 49 диссертации и, соответственно, (1)-(2) на стр. 8 автореферата) представляет собой трехмерную постановку. Далее, при решении задачи о возможном столкновении, рассматривается двухмерная задача в плоскости ХОУ (уравнения (2.10)-(2.11) на стр. 54 диссертации и (3)-(4) на стр.9 автореферата). Далее в п.2.5.2 диссертации (уравнения (2.13) на стр.57 диссертации и (5) на стр.9 автореферата) дополнительно решается задача в вертикальной плоскости ХОZ. Что в таком случае является препятствием для единого рассмотрения задачи в пространственной (трехмерной) постановке, учитывая высокую маневренность современных БПЛА по вертикальной координате, что, прежде всего, касается устройств вертолетного типа. 2. Поскольку результатом работы является разработка программного комплекса, с практической точки зрения выглядело бы продуктивным получение оценок аппаратных вычислительных затрат на применение предложенных численных алгоритмов и их программной реализации при использовании в режиме реального времени бортовыми системами БПЛА, весьма ограниченными по ресурсам CPU/RAM. 3. Одной из задач работы обозначена разработка математической модели обнаружения потенциально опасных объектов, однако ее решение не нашло описания в содержании.

**Отзыв на диссертацию официального оппонента** Доррер Георгия Алексеевича, доктора технических наук, профессора, профессора кафедры информационно-управляющих систем Института информатики и телекоммуникаций Сибирского государственного университета науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева, г. Красноярск, имеет замечания: 1. Автор при анализе проблемы безопасного движения беспилотных воздушных судов (глава 1 диссертации) не ссылается на Воздушный кодекс РФ (статьи 24-1, 28 и др.). Такой анализ позволил бы, на наш взгляд, уточнить постановку задач диссертации. 2. В работе отсутствует определение термина «скоростной подход» к решению поставленных задач, который автор считает важной особенностью работы, и не говорится о возможных альтернативных подходах и их

эффективности. 3. Автор демонстрирует свое знание исследуемой области, приведя обширный обзор зарубежных публикаций по взаимодействию между БПЛА. Ссылки на отечественные исследования также имеются, но их сравнительно мало. В частности, не упомянута классическая монография Н. Н. Красовского «Игровые задачи о встрече движений» (М.: Наука, 1970 – 420 с.); не рассмотрены материалы проекта рабочей группы АЭРОНЕТ, выполняемого в рамках Национальной стратегической инициативы. 4. В работе использовано выражение «счетное множество БПЛА» (глава 2, с. 54). Счетное множество содержит бесконечное количество элементов, а беспилотников в любом случае – конечное множество. 5. Следует отметить, что автор уверенно владеет математическим аппаратом и программным обеспечением в избранной области исследований. Однако небольшие замечания все же можно сделать: например, номер формулы (2.4) повторен дважды, выражение (2.7) можно записать проще, в формулы (3.1), (3.2) вставлен текст, имеются и другие мелкие погрешности.

**Отзыв на автореферат** Корнеева Юрия Алексеевича, кандидата технических наук, старшего научного сотрудника, доцента кафедры «Радиотехнические системы», ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения», г. Санкт-Петербург. Не содержит замечаний.

**Отзыв на автореферат** Тюкова Антона Павловича, кандидата технических наук, доцента кафедры «САПР и ПК» ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный университет», г. Волгоград. Несмотря на общую положительную оценку, в работе отмечены следующие недостатки: 1. Не совсем ясны контексты и границы применимости разрабатываемых алгоритмов. Возможно, следовало бы проанализировать задачи, в которых для БПЛА необходима координация движения, сфокусироваться на ограниченном наборе с определенной конкретной спецификой. 2. Неясно сформулирована полная совокупность стратегий поведения БПЛА в зависимости от контекста и взаимного положения объектов и их целей. 3. Не совсем ясны ключевые отличительные свойства «своих» и «чужих» БПЛА (например, подчиняются из одного центра, отправляют сигнал о направлении движения, открывает протокол для обмена траекториями), не рассмотрена возможность изменения окраса БПЛА со «своего» на «чужого». Непонятно ограниченное количество сценариев «чужого» БПЛА относительно своего. Входит ли сценарий для чужого беспилотника специально идти на столкновение? 4. Рецензенту не совсем понятно, разработал ли автор самостоятельно или использовал известный протокол правил взаимодействия, регламентирующий взаимное поведение БПЛА между собой, стандартизирующий правила поведения БПЛА в воздушном пространстве? 5. В автореферате показано статистическое подтверждение эффективности разработанных алгоритмов, которые в совокупности сценариев понижают вероятность столкновения БПЛА между собой.

**Отзыв на автореферат** Крупского Романа Фаддеевича, кандидата технических наук, главного научного сотрудника, начальника НПБ УТР филиала публичного акционерного общества «Авиационная холдинговая компания «Сухой» «Комсомольский-на-Амуре завод имени Ю.А. Гагарина», г. Комсомольск-на-Амуре. В

качестве замечаний отметил отсутствие моделирования на компьютерных симуляторах (например, таких, как Gazebo) или реальных аппаратах.

**Отзыв на автореферат** Ханова Владимира Андреевича, кандидата технических наук, руководителя проекта по реализации ФЦП ПАО «Амурский судостроительный завод», г. Комсомольск-на-Амуре. Несмотря на общую положительную оценку, в работе отмечены следующие недостатки: 1. Отсутствует аппарат определения коэффициентов границы ближней зоны взаимодействия; вряд ли стоит говорить о программе, которая будет использовать метод Монте-Карло каждый раз, когда будет возникать угроза столкновения. Это будет противоречить идее создания наиболее простой программы для избегания столкновений БПЛА друг с другом, которой придерживается автор. 2. Другое замечание относится к отсутствию в работе выражений для определения дальней границы зоны взаимодействия и апробации результатов моделирования с использованием этих выражений. 3. В автореферате указывается, что в четвертой главе работы описывается интеллектуальная система, однако не разъясняется архитектура компонентов системы, их специфика с точки зрения общих понятий предметной области интеллектуальных систем.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

**разработан** новый научный подход определения диапазона критических скоростей беспилотного летательного аппарата на основе анализа данных системы АЗН-В, позволяющий при низких вычислительных затратах предотвращать столкновения беспилотных летательных аппаратов;

**предложена** новая математическая модель динамически меняющегося взаиморасположения беспилотных летательных аппаратов, дающая возможность оценить параметры, применение которых позволяет предотвращать столкновения беспилотных летательных аппаратов;

**доказана** целесообразность и перспективность использования разработанного соискателем алгоритмического и программного обеспечения для решения задач предотвращения столкновений беспилотных летательных аппаратов гражданского назначения.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:**

**доказано** положение о возможности использования для решения задачи определения границ критических скоростей беспилотных летательных аппаратов метода Монте-Карло, расширяющие границы применимости этого метода;

**применительно к проблематике диссертации результативно использован** комплекс базовых методов математической статистики, компьютерного моделирование и экспериментальных исследований, а также теории решения изобретательских задач (ТРИЗ);

**изложены** доказательства возможности использования информации системы АЗН-В для построения алгоритмов предотвращения столкновения беспилотных летательных аппаратов гражданского назначения;

**раскрыты** недостатки и проблемы существующих математических моделей систем предотвращения столкновений, вызванные противоречивыми требованиями к ним;

**изучены** факторы ограничивающие быстродействие при выработки воздействий на автопилоты беспилотных летательных аппаратов;

**проведена модернизация** алгоритма реализации численного метода Монте-Карло, обеспечивающая повышение эффективности этого метода.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:**

**разработаны и внедрены** модули программного комплекса для проверки идентичности, полученных аналитическими и численными методами, результатов оценки параметров, применение которых позволяет исключать столкновения беспилотных летательных аппаратов без учёта, так и с учётом ограниченности их ресурсов.

**определены** перспективы практического использования разработанных алгоритмов при создании современных систем предотвращения столкновений беспилотных летательных аппаратов;

**создано** математическое, алгоритмическое и программное обеспечение, которое может быть использовано проектными, научно-исследовательскими организациями и промышленными предприятиями, занимающимися разработкой систем предотвращения столкновений беспилотных летательных аппаратов;

**представлены** методические рекомендации по определению параметров «мёртвых» зон, в которых теряет работоспособность скоростной маневр.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

**для экспериментальных работ** использованы общедоступные базы данных, получены воспроизводимые результаты в различных условиях, не противоречащие существующим данным, которые изложены в современных отечественных и зарубежных работах исследуемой области;

**теория** построена на известных результатах и моделях по цифровой обработке данных, методов компьютерного моделирования, применения алгоритмов и согласуется с опубликованными данными по теме диссертации;

**использовано** сравнение авторских данных и данных, полученных ранее по определению возможности столкновений при разных расстояниях, углах и скоростях;

**установлено** совпадение авторских результатов с результатами, представленными в независимых источниках по данной тематике;

**использованы** современные передовые методики сбора, математической обработки и анализа данных для реализации алгоритмов предотвращения столкновений.

Все результаты, полученные автором диссертации, являются новыми.

**Личный вклад соискателя состоит** в непосредственном участии во всех этапах проведённого исследования: разработке модели, метода и алгоритмов предотвращения столкновений беспилотных летательных аппаратов гражданского назначения; обработке и оценке полученных данных; разработке программного обеспечения; непосредственном участии в подготовке и проведении компьютерного эксперимента; обработке и интерпретации результатов моделирования; участии и подготовке научных публикаций по тематике исследования и апробации результатов исследования.

Диссертационным советом сделан вывод о том, что диссертация Зау Хтет Наинг представляет собой самостоятельную законченную научно-квалификационную работу и отвечает требованиям, установленным п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней» (утвержденное постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. №842) и соответствует паспорту специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ по п. 1, 2, 4.

На заседании 16 марта 2020 года диссертационный совет принял решение **присудить** Зау Хтет Наинг ученую степень кандидата технических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ (технические науки) за разработку математических моделей, алгоритмов и программного комплекса по определению границ диапазона критических скоростей, позволяющих смоделировать и рассчитать параметры автопилотирования беспилотных летательных аппаратов, предотвращающих их столкновения и имеющих важное значение в области математического моделирования безаварийных полетов.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 4 доктора наук по профилю рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 24 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 14 , против 1 , недействительных бюллетеней 1 .

Зам. председателя  
диссертационного совета  
Д 999.055.04,  
д.ф.-м.н., профессор,  
член-корр. РАН



Буренин Анатолий Александрович

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
Д 999.055.04,  
к.ф.-м.н., доцент

Егорова Юлия Георгиевна

16 марта 2020 года