

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Зау Хтет Наинг "Математическая модель, алгоритмы и программный комплекс для предотвращения столкновений беспилотных летательных аппаратов гражданского назначения", представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 – "Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ"

Актуальность темы диссертационной работы. Современный уровень развития в области применения беспилотных летательных аппаратов определяется не только постоянным совершенствованием технологий производства и летных характеристик, но и требует новых методов обеспечения безопасности их непосредственной эксплуатации в воздушном пространстве. В отличие от пилотируемой гражданской авиации, стандарты которой можно полагать общепринятыми на основе более чем столетнего развития, функционирование БПЛА практически исключает возможность ручного управления в критических ситуациях диспетчерскими службами и непосредственно пилотом. Таким образом, обеспечение предотвращения столкновений БПЛА предполагает решение данной задачи в полностью автоматизированном режиме, что требует разработки новых моделей и алгоритмов, а также подходов к программной реализации, что и является целью рассматриваемой работы. В целом, актуальность темы исследований не вызывает сомнений.

Общая оценка диссертационной работы. Анализ содержания диссертационной работы производит положительное впечатление последовательно проведенного исследования, включающего все составляющие компоненты, определенные специальностью 05.13.18 – "Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ". Следует отметить представленный **в первой главе** обширный литературный обзор, в котором рассмотрено значительное количество работ, посвященных рассматриваемой проблеме; здесь важным аспектом является тот факт, что базовые принципы систем предотвращения столкновений БПЛА находятся в стадии формирования, что потребовало от автора детального критического

анализа особенностей различных подходов. Материал **второй главы** является основополагающим: здесь представлены уравнения движения, решение которых дает взаимоположение рассматриваемых объектов и формулируются условия возможного пересечения их траекторий, приводятся результаты серий расчетов при различных исходных условиях. **Третья глава** посвящена разработке математических моделей движения БПЛА с учетом технических ограничений на максимально достижимое ускорение при выполнении маневра, что значительно расширяет практическую применимость постановки, разработанной в главе 2. Решение поставленной здесь задачи (в отличие от ранее полученных аналитических соотношений) потребовало использования численных методов решения и формулировки собственных оптимизированных алгоритмов. **В четвертой главе** содержится описание методов программной реализации разработанных алгоритмов и представлена архитектура программного комплекса для моделирования рассматриваемого процесса.

Научная новизна представленных в диссертационной работе положений и результатов характеризуется следующими основными положениями:

- Разработана новая математическая модель динамического взаимоположения БПЛА, сформулированы условия возможного столкновения и проведены аналитические оценки параметров, обеспечивающих предотвращение критической ситуации.
- Разработаны алгоритмы определения параметров движения БПЛА в условиях технических ограничений на достижимое ускорение.
- Предложен численный алгоритм решения задачи управления на основе метода Монте-Карло и сформулированы его новые модификации, позволяющие значительно снизить затраты вычислительных ресурсов.
- Разработан собственный проблемно-ориентированный программный комплекс для моделирования движения БПЛА и определения параметров управления, обеспечивающих предотвращение их столкновения.

Практическая значимость результатов исследований в достаточной степени очевидна и характеризуется высоким потенциалом использования разработанных программных приложений в бортовых управляющих комплексах БПЛА для предотвращения столкновений.

Достоверность результатов, полученных в диссертационной работе, обеспечивается использованием апробированных методов математического моделирования динамических систем, численных методов решения и средств программной реализации.

Автореферат в полной мере отражает содержание диссертации, в нем последовательно раскрыты поставленные цели и задачи исследования, представлены все основные результаты работы, сформулированы положения, выносимые на защиту. Результаты и выводы исследования соответствуют поставленным целям и задачам.

По работе имеется ряд **замечаний**:

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 XOY (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 XOZ . 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.

Отмеченные замечания не противоречат основным положениям и полученным результатам и не снижают общую положительную оценку диссертационной работы.

Заключение. Диссертация Зау Хтет Наинг является завершенной научно-квалификационной работой, ее содержательная часть соответствует пп. 1,2,4,8 паспорта специальности 05.13.18 – "Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ". Диссертация удовлетворяет требованиям пп. 9-11 "Положения о присуждении ученых степеней", предъявляемым к кандидатским диссертациям, а Зау Хтет Наинг заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 – "Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ".

Я, Карпов Александр Иванович, согласен на включение моих персональных данных в аттестационное дело и их дальнейшую автоматизированную обработку.

Главный научный сотрудник
лаборатории физико-химической механики
Удмуртского федерального исследовательского центра
Уральского отделения РАН,
доктор физико-математических наук,
специальность 05.13.18 – "Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ".

 Карпов Александр Иванович

Подпись А.И. Карпова удостоверяю

Начальник отдела кадров УдмФИЦ УрО РАН

О.С.Воронцова

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук»; 426067, г. Ижевск, ул. Т. Барамзиной, 34; тел. (3412) 50-82-00; E-mail: karpov@udman.ru; <http://www.udman.ru/>