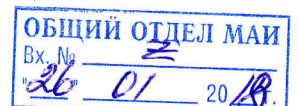


## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию **Чинь Ван Минь** на тему «Планирование маршрута полета легкого беспилотного летательного аппарата с учетом действия ветра», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01 - Системный анализ, управление и обработка информации (авиационная и ракетно-космическая техника)

**1. Актуальность избранной темы** исследования обусловлена необходимостью совершенствования методов и инструментальных средств оптимальной маршрутизации полета легких беспилотных летательных аппаратов (БЛА). Решение задачи предполетной маршрутизации является важным этапом подготовки полета беспилотных летательных аппаратов, непосредственно влияющим на эффективность их целевого применения. Кроме того, разработка алгоритмов предполетной маршрутизации играет существенную роль в повышении уровня автоматизации управления целевым функционированием БЛА, ведущего, в конечном итоге, к повышению надежности беспилотного информационного комплекса за счет уменьшения влияния «человеческого фактора». Разработка методик, а также создание программно-алгоритмического обеспечения, реализующего указанные методики и алгоритмы, позволит в перспективе создать прототип программного комплекса, потребляющий аппаратные ресурсы, доступные в компактной, переносной реализации, позволяющего повысить эффективность работы оператора БЛА. К настоящему времени, несмотря на определенные успехи, достигнутые в решении задач маршрутизации, остаются нерешенными ряд проблем. Это, в частности, вопросы, связанные: с исследованием свойств разомкнутых маршрутов полета легких БЛА; с построением оптимальных маршрутов облета заданных своим положением точек с возможностью учета ограничения на время полета (возможны, неравноценности точек, связываемых маршрутом, наличие ветра в зоне полета); с разработкой вычислительных процедур и программного обеспечения, позволяющего устойчиво получать точные решения задач маршрутизации с высокой размерностью. Автором предлагается достаточно перспективный подход к планированию маршрута полета легкого БЛА, основанный на использовании современных вычислительных методов и технологий программирования. Этот подход позволил разработать ряд относительно простых и в тоже время претендующих на оптимальность методик, позволяющих повысить



эффективность целевого функционирования легкого БЛА путем априорного планирования маршрута оптимального облета набора точек, местоположение которых задано, с учетом их возможной неравноценности и ограничения на время полета с учетом действия ветра в зоне полета.

**2. Степень обоснованности и достоверности научных положений и выводов, сформулированных в диссертации** определяется корректным применением методов системного анализа, исследования операций, целочисленного математического программирования и многокритериальной оптимизации, а также четкой формулировкой допущений и условий, в рамках которых проводились расчеты и были получены основные результаты. Полученные автором результаты прошли апробацию на международных конференциях. Основные результаты диссертационной работы опубликованы в четырех статьях в журналах, входящих в рекомендованный ВАКом Минобрнауки России перечень изданий. Таким образом, тщательно проведенное исследование, внимательный анализ и сформулированные выводы позволяют считать полученные результаты диссертации достаточно достоверными и обоснованными.

**3. Новизна научных положений и выводов, сформулированных в диссертации** заключается в следующем:

- Проведен сравнительный анализ свойств замкнутых и разомкнутых маршрутов облета легким БЛА группы точек в условиях воздействия на летательный аппарат постоянного по направлению и скорости ветра. Выявлены свойства разомкнутых маршрутов облета точек в поле постоянного ветра. Указанные свойства позволяют понять «физику» влияния постоянного ветра на результаты решения задач построения разомкнутых маршрутов.

- Рассмотрен ряд новых постановок задач маршрутизации, предусматривающих использование разомкнутых маршрутов полета БЛА. Предложено использовать эффективную в вычислительном плане процедуру решения задач маршрутизации как задач линейного булева программирования с использованием итеративного исключения «подциклов».

- Предложена методика, позволяющая с учетом действия постоянного ветра в зоне полета находить множество маршрутов легкого БЛА, каждый из которых связывает максимально возможное количество известным образом расположенных равноценных точек, с учетом ограничения на продолжительность полета, а также принадлежащий этому множеству наискорейший маршрут.



Методика предусматривает последовательное решение двух определенным образом составленных, связанных между собой задач булева линейного программирования.

- Предложена методика, позволяющая с учетом действия постоянного ветра в зоне полета находить множество маршрутов легкого БЛА, каждый из которых с учетом ограничения на продолжительность полета связывает такое подмножество известным образом расположенных неравноценных точек, что эффект от их включения в маршрут является максимальным. Методика также предусматривает сужения найденного множества оптимальных решений путем нахождения парето-оптимального множества маршрутов. При этом в качестве дополнительных показателей эффективности используется фактическое время полета по маршруту и количество точек в него входящих.

- Проведен анализ нескольких разработанных авторами вариантов программно-алгоритмического обеспечения оптимальной маршрутизации полета легкого беспилотного летательного аппарата в поле постоянного ветра. На основе анализа полученных оценок быстродействия, требуемого объема оперативной памяти и предельных размеров устойчиво решаемых задач выявлено преимущество программно-алгоритмического обеспечения, в котором используются процедура последовательного исключения подциклов и функция `crplexbilp` пакета CPLEX.

- Предложены принципы построения, а также соответствующий им программный комплекс решения задач маршрутизации полета легких БЛА. Особенностью разработанного прикладного программного обеспечения является его открытая архитектура, а также наличие быстродействующего программного ядра, использующего функцию `crplexbilp` пакета CPLEX, и специализированного периферийного программного обеспечения, обеспечивающего работу ядра.

**4. Внутреннее единство** содержания работы подтверждается тем, что **первая глава** диссертации посвящена содержательному анализу проблематики маршрутизации полета легких БЛА в контексте передовых результатов, опубликованных в мировой научной литературе. Приведена обобщенная постановка задачи маршрутизации. Сформулированы основные допущения, вытекающие из особенностей легких БЛА и специфики их целевого применения. **Вторая глава** диссертации вполне закономерно посвящена описанию методик планирования маршрута полета легкого беспилотного летательного аппарата по разомкнутому маршруту с учетом действия ветра, основанного на использовании эффективной в вычислительном плане процедуре решения задачи маршрутизации как задачи

линейного булева программирования с использованием итеративного исключения «подциклов». Проведен сравнительный анализ свойств замкнутых и разомкнутых маршрутов облета легким БЛА группы точек в условиях воздействия на летательный аппарат постоянного по направлению и скорости ветра. **В третьей главе** предложены методики оптимальной маршрутизации облета точек с известным местоположением, находящихся в поле постоянного ветра, с учетом ограничения на продолжительность полета, для случая равноценных и неравноценных точек. Вполне логично диссертацию завершает **четвертая глава**, в которой на базе разработанных методик предлагается программный комплекс «UAVROUTING» для оптимального планирования маршрута полета легкого беспилотного летательного аппарата, реализованный в среде MATLAB. Для иллюстрации работоспособности программно-алгоритмического обеспечения приведены примеры расчетов маршрутов облета БЛА при различном количестве точек, координаты которых случайным образом задаются в зоне полета размером 50 x 50 километров.

## **5. Практическая значимость**

Результаты, полученные в диссертационной работе, могут быть востребованы как при создании перспективных образцов легких БЛА, так и при эксплуатации таких аппаратов. В частности, разработанные методики и программно-алгоритмическое обеспечение могут использоваться для:

- моделирования оптимального маршрутного полета с учетом действия постоянного ветра, ограничения на время полета и неравноценности маршрутных точек для замкнутых и разомкнутых маршрутов в интересах оценки эффективности целевого функционирования существующих и перспективных БЛА;
- разработки макета программного комплекса оптимального оперативного управления маршрутным полетом легкого БЛА;
- предполетного планирования оптимальных маршрутов облета заданных своим положением точек с учетом действия постоянного ветра в зоне полета, что обеспечит экономию энергетических ресурсов аппарата и повысит оперативность решения целевой задачи в том числе с учетом ограничений на время полета и возможной неравноценностью включения различных точек в маршрут.

Результаты работы могут быть использованы не только в учебном процессе кафедр МАИ, но и деятельности ЦАГИ, ГосНИИГА, а также других организациях, предприятиях транспорта и авиационной промышленности, занимающихся исследованиями в области развития технологий создания беспилотной авиационной



техники и анализа эффективности ее применения в различного вида авиационных работах при решении хозяйственных задач, обеспечении безопасности и правопорядка.

#### **6. Недостатки и замечания по диссертации**

Несмотря на достаточно обстоятельную разработку заявленной темы исследования по работе следует высказать ряд замечаний:

- В работе указано, что «решение задачи предполетной маршрутизации является важным этапом подготовки полета беспилотных летательных аппаратов, непосредственно влияющим на эффективность их целевого применения» (стр.8). Однако автором не рассмотрены какие-либо виды применения легких БПЛА, классы решаемых ими задач. От этого набор отобранных и решенных задач предполетной маршрутизации выглядит несколько академично.

- Выбор показателей эффективности («фактическое время полета по маршруту и количество входящих в него поворотных точек» (стр.67)) применения легких БПЛА был бы более обоснованным, если бы опирался на особенности целевого применения беспилотного ЛА, параметры и назначение его полезной нагрузки.

- В разделе 2.5 рассмотрен эффект «попутного ветра» для разомкнутых, проявляющийся в разной степени в зависимости от расположения поворотных точек маршрута полета БПЛА. Представляется более целесообразным назвать его эффектом «предпочтительного направления ветра» (с точки зрения затрат времени на полет). Тогда его можно распространить и на замкнутые маршруты. Для разомкнутых маршрутов этот эффект будет приводить к сокращению времени на полет (вследствие «попутного ветра»), а для замкнутых маршрутов время полета БПЛА будет наименьшим при предпочтительном направлении ветра независимо от скорости ветра.

Отмеченные замечания, однако, не снижают существенным образом положительное впечатление о диссертации Чинь Ван Минь как научно-квалификационной работе.

Диссертация соответствует комплексному исследованию, охватывающему ряд областей исследования Паспорта специальности 05.13.01 - Системный анализ, управление и обработка информации (авиационная и ракетно-космическая техника): пункт 2 «Формализация и постановка задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации»; пункт 3 «Разработка критериев и моделей описания и оценки эффективности решения задач системного

анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации»; пункт 4 «Разработка методов и алгоритмов решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации»; пункт 5 «Разработка специального математического и программного обеспечения систем анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации»; пункт 10 «Методы и алгоритмы интеллектуальной поддержки при принятии управленческих решений в технических, экономических, биологических, медицинских и социальных системах».

**7. Заключение о соответствии диссертации установленным критериям в соответствии с требованиями Положения о присуждении ученых степеней (Постановление Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842 «О порядке присуждения ученых степеней»):**

- полученные результаты диссертационного исследования, представленные в диссертации, соответствуют поставленной цели и задачам;

- автореферат диссертации полностью соответствует содержанию диссертации;

- основные результаты диссертации достаточно полно отражены в четырех работах, опубликованных в ведущих научных рецензируемых журналах, определенных Перечнем ВАК Минобрнауки России и в восьми работах в трудах и сборниках материалов научных конференций;

- тема диссертации соответствует заявленной научной специальности.

Автор работы, Чинь Ван Минь, продемонстрировал хорошее знакомство со специальной научно-технической литературой, умение пользоваться современными методами научных исследований, проводить теоретические исследования, а также делать необходимые выводы. Работа оформлена аккуратно, выполнена на высоком уровне и содержит необходимые элементы новизны.

Таким образом, диссертационная работа Чинь Ван Минь «Планирование маршрута полета легкого беспилотного летательного аппарата с учетом действия ветра» является законченной научно - квалификационной работой, содержащей новое решение актуальной научной задачи - разработке методики планирования маршрута полета легкого беспилотного летательного аппарата в поле постоянного ветра с учетом ограничения на продолжительность полета, имеющей существенное значение для развития и применения беспилотной авиационной техники с целью повышения эффективности ее целевого функционирования.



Полагаю, что по актуальности исследования, степени обоснованности научных положений, их научной новизне, теоретической и практической значимости диссертационная работа Чинь Ван Минь соответствует требованиям ВАК РФ, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01 - Системный анализ, управление и обработка информации (авиационная и ракетно-космическая техника).

Официальный оппонент:

Кандидат технических наук, доцент,

заместитель начальника НИО-10 ФГУП «ЦАГИ»

 А.В. Смирнов

Государственный научный центр,

ФГУП «Центральный аэрогидродинамический

институт имени профессора Н.Е.Жуковского» (ФГУП «ЦАГИ»)

140180, г. Жуковский, Московская обл., ул. Жуковского, д. 1

Телефон: +7 (495) 556-44-79

Электронная почта: [smirnov@tsagi.ru](mailto:smirnov@tsagi.ru)

Подпись Смирнова Андрея Валентиновича заверяю.

Заместитель генерального директора  
ФГУП «ЦАГИ» – начальник комплекса  
управления научными проектами,  
доктор технических наук, профессор



И.Е. Ковалев