

## ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора технических наук, доцента, ведущего научного сотрудника Научно-исследовательского института робототехники и процессов управления Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южный федеральный университет» Медведева Михаила Юрьевича на диссертацию Редькина Андрея Владимировича «Разработка методики проектирования высотного дирижабля длительного барражирования, оснащенного гибридной энергоустановкой с использованием солнечной энергии», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.07.02 – Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов.

### 1. Актуальность

Беспилотные высотные дирижабли способны зависать в заданном районе, выполняя роль недорогих, по сравнению с космическими аппаратами, низкоорбитальных спутников. При этом дирижабль способен нести нагрузку до нескольких тонн, что позволяет размещать на нем телекоммуникационное или радиолокационное оборудование. В этой связи в последние 20 лет в России и в мире ведутся интенсивные исследования, направленные на создание таких стратосферных воздухоплавательных платформ. Такие исследования ведутся в рамках программ Европейской Комиссии, Хунаньским агентством ближнего космоса, компанией Lockheed Martin. К настоящему времени создано несколько прототипов такой воздухоплавательной платформы, однако создание полноразмерной платформы затруднено рядом нерешенных проблем, к которым относится проблема энергообеспечения, прямо влияющая на облик высотного дирижабля.

В этой связи тема диссертации затрагивает ряд актуальных научных проблем, связанных с проектированием облика и энергосистемы высотного дирижабля длительного барражирования.

### 2. Научная новизна исследования и полученных результатов

Научная новизна исследования, представленного в диссертации А.В. Редькина, заключается в следующем:

1) Разработан метод расчета мощности и энергии при заданном времени полета, отличающийся статистическим подходом, позволяющим обеспечить заданную вероятность непревышения потребной энергии;

2) Разработан метод расчета оптимального соотношения массы составных компонентов системы солнечного электроснабжения и массы топлива, отличающийся двухэтапной процедурой и предложенным интегральным

преобразованием потребной суточной энергии в монотонную функцию, что позволяет оптимизировать указанное соотношение масс по времени барражирования высотного дирижабля;

3) Разработана процедура расчета эффективности использования инсоляции в заданном географическом районе, отличающиеся применением удельной мощности солнечной энергосистемы ЛА в качестве основного параметра;

4) Предложена новая концепция ассиметричной бортовой компоновки батареи солнечных элементов вследствие определенного по статистике преимущественного направления ветрового потока.

### **3. Анализ содержания диссертации**

**Введение** отражает актуальность диссертационного исследования, сформулированы цель и основные задачи исследования, научная новизна, методы исследования, практическая значимость работы, излагается краткое содержание глав диссертации.

**Первая глава** посвящена анализу разработок, проводимых в России и в мире в области создания высотных дирижаблей длительного барражирования. Отдельно проведен анализ систем длительного энергоснабжения летательных аппаратов. На основе проведенного анализа сделан вывод о перспективах проектирования высотных дирижаблей с гибридными силовыми установками, использующими солнечные элементы и расходуемое топливо.

**Вторая глава** описывает методы проектирования высотных дирижаблей. Рассмотрены основные технические требования к высотным дирижаблям, описана общая последовательность проектирования.

В разделе 2.3 представлен метод расчета потребной мощности и энергии высотного дирижабля.

Рассмотрена расчетная модель дирижабля классической формы, для которой приведены соотношения, позволяющие рассчитать аэродинамические силы и потребную мощность при барражировании дирижабля на заданной высоте при заданной скорости ветра. На основе базы данных ERA5 «Коперник» проведен статистический расчет значений скоростей ветра в зависимости от высоты и географических координат. На основе данного расчета предложен метод определения мощности и энергии, обеспечивающий заданную длительность полета и вероятность непревышения потребных значений мощности и энергии.

Далее, в разделе 2.4 проведен расчет располагаемой энергии, исходя из характеристик рассмотренных двигателей внутреннего сгорания. Расчеты проведены для диапазона высот 10 – 20 км. В этом же разделе проведен расчет основных характеристик системы энергоснабжения на базе солнечной энергии. Приведена процедура определения энергии солнечного излучения, поступающей

на единицу площади солнечных элементов. Представлены расчетные соотношения для определения параметров солнечных элементов и аккумуляторов. Предложенная процедура учитывает форму высотного дирижабля и направление его полета, противоположное направлению ветра. С учетом преимущественного направления ветров для заданного географического района предложена концепция, предполагающая асимметричное расположение солнечных элементов.

В разделе 2.5 представлен метод расчета параметров высотного дирижабля, использующий как топливные элементы, так и солнечные элементы. Предложена процедура оптимизации массы топлива по отношению к массе солнечных элементов, которая максимизирует длительность полета.

**Третья глава** посвящена применению разработанных методов и процедур для формирования облика высотного дирижабля.

Выполнен расчет двух вариантов высотных дирижаблей с длительностью полета 5 и 10 дней соответственно. Определено понятие облика высотного дирижабля и представлена последовательность проектирования указанного облика. Представлена базовая структура гибридной системы энергоснабжения, включающей солнечные элементы и традиционные топливные источники энергии. Далее проводится оценка надежности гибридной силовой установки высотного дирижабля, для чего используется метод структурных схем.

В разделе 3.5 предложены основные конструктивные решения для двух вариантов высотного дирижабля. Отличительной особенностью варианта с длительностью барражирования 10 дней является ассиметричная компоновка солнечных элементов. Для компенсации возникающих статических моментов предлагается использовать ассиметричное расположение аккумуляторных батарей. Для варианта высотного дирижабля с длительностью барражирования 5 дней предложена компоновка с раскладываемыми жесткими элементами конструкции.

Далее предложена методика определения удельной потребной мощности высотного дирижабля и удельной располагаемой мощности его энергоустановки, отнесенные к единице взлетной массы аппарата.

**Заключение** содержит выводы по результатам исследования, которые соответствуют цели и задачам диссертационной работы.

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка сокращений, списка литературы и приложений. Содержит 159 страниц, в том числе 4 приложения, 48 рисунков и 17 таблиц. Список литературы содержит 84 источника.

#### **4. Теоретическая значимость**

Полученные в диссертации результаты являются развитием методов проектирования основных параметров и силовых установок летательных аппаратов. Они могут применяться как для аппаратов легче воздуха, так и тяжелее воздуха.

#### **5. Практическая значимость**

Полученные результаты могут применяться для расчета основных параметров летательных аппаратов длительного барражирования, использующих гибридные силовые установки с солнечными элементами.

Методика оценки удельных характеристик соотношения располагаемой солнечной энергии и потребной энергии в соответствии с ветровой нагрузкой, может быть использована для оценок эффективности и возможности применения солнечной энергии для разных типов ЛА.

#### **6. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций**

Научные положения и выводы, приведенные в диссертационной работе, являются научно обоснованными, что подтверждается корректным формулированием цели и задач диссертации, использованием известных научных методов исследования, обоснованным применением допущений при составлении математических моделей физических процессов. Результаты диссертационного исследования получены с применением методов оптимизации, численного моделирования, геометрических расчетов и вероятностного подхода. Основные выводы диссертации не противоречат опубликованным ранее результатам исследований в независимых источниках по рассматриваемой тематике.

#### **7. Достоверность результатов диссертации**

Достоверность результатов диссертации подтверждается корректным использованием стандартных методов исследований, наличием публикаций в научных изданиях, представлением и обсуждением результатов работы на всероссийских и международных научно-технических конференциях. Сделанные в работе выводы подтверждаются результатами математического моделирования.

Основные положения, структура, выводы и результаты, изложенные в автореферате, соответствуют материалам диссертационной работы.

#### **8. Замечания и вопросы**

1. Экспертная оценка вариантов реализации силовой установки высотного дирижабля (табл. 1.10) дана путем простого суммирования оценок по отдельным показателям, что соответствует одинаковым весовым коэффициентам. Однако

обычно проводят ранжирование частных показателей. Также следовало нормировать весовые коэффициенты таким образом, чтобы их сумма равнялась нулю.

2. В таблице 2.1 диссертации введено понятие вероятности выполнения задачи, однако от чего она зависит не раскрыто.

3. На стр. 62 диссертации потребная мощность вычисляется из условия обеспечения барражирования на заданной высоте в установившемся режиме. Однако в динамических режимах, в процессе подъема и спуска возможны более высокие требования к потребной мощности.

4. При расчетах в разделе 2.4 диссертации принято, что направление полета высотного дирижабля противоположно направлению ветра. Однако, барражирование высотного дирижабля, как следует из рис. 2.25, представляет собой движение по окружности, что несколько противоречит принятому ранее предположению.

5. На стр. 131 диссертации утверждение, что предложенная конфигурация силовой установки обеспечивает заданную вероятность выполнения полетного задания, не подтверждено расчетами.

6. Имеется ряд неточностей и опечаток в тексте диссертации. В частности, на рис. 1.9 (стр. 51) и 3.5 (стр. 128) представлены не принципиальные, а структурные схемы. Расчет и выбор электрических силовых кабелей осуществляется не только по номинальному напряжению и току (стр. 37), но и проверяются по допустимым потерям напряжения и термической стойкости. В тексте диссертации длина дирижабля обозначается как  $L_D$  и  $L_{Об}$ .

Указанные замечания и вопросы не снижают значимости научно-практических результатов исследования.

## **9. Заключение**

Работа выполнена и оформлена на высоком научно-техническом уровне и не содержит недобросовестных заимствований. Представленные результаты являются оригинальными и обоснованными.

Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой решена актуальная задача разработки методик проектирования высотного дирижабля длительного барражирования, оснащенного гибридной энергоустановкой с использованием солнечной энергии.

Основные научные результаты диссертации опубликованы в рецензируемых научных изданиях, рекомендуемых ВАК (3 публикации), всего по теме диссертации опубликовано 17 работ. Полученные результаты апробированы на научно-практических конференциях. Автореферат отражает содержание диссертации.

Считаю, что диссертация Редькина Андрея Владимировича соответствует паспорту специальности 05.07.02 – Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов. Диссертация охватывает следующие области исследования:


- п. 1. Разработка методов проектирования и конструирования, математического и программно-алгоритмического обеспечения для выбора оптимальных облика и параметров, компоновки и конструктивно-силовой схемы, агрегатов и систем ЛА с учетом особенностей технологии изготовления и отработки, механического и теплового нагружения, характеристик наземного комплекса и неопределенности реализации проектных решений;

- п. 3. Разработка методов поиска оптимальных конструкторско-технологических решений на ранних стадиях проектирования ЛА;

- п. 5. Создание и отработка принципиально новых конструктивных решений выполнения узлов, систем и ЛА в целом. Исследование их характеристик и оценка перспектив применения.

Диссертационная работа соответствует критериям "Положения о присуждении ученых степеней", утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г., а ее автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.07.02 – Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов.

Официальный оппонент,  
доктор технических наук, доцент,  
ведущий научный сотрудник НИИ  
робототехники и процессов  
управления, ФГАОУ ВО «Южный  
федеральный университет»

  
М.Ю. Медведев  
28.03.2022

Подпись д.т.н. М.Ю. Медведева заверяю:  
Директор НИИ робототехники  
и процессов управления ЮФУ  
Д.т.н, профессор

  
М.П. В.Х. Пшихопов

Контактная информация:

Почтовый адрес: Россия, 347900, г. Таганрог, ул. Шевченко, 2, К-201

Телефон: +7-8634-37-16-94

Электронная почта: [medvmihal@sfnu.ru](mailto:medvmihal@sfnu.ru), официальный сайт: <http://rirpc.sfnu.ru/>