



АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«ДОЛГОПРУДНЕНСКОЕ КОНСТРУКТОРСКОЕ
БЮРО АВТОМАТИКИ» (АО «ДКБА»)
ПРЕДПРИЯТИЕ КОНЦЕРНА «ВЕГА»

ул. Летная, д. 1, г. Долгопрудный,
Московская область, 141700
Тел.: +7(495) 408-75-11; Факс: +7(495) 408-89-09
E-mail: dkba@dkba.ru; Web: www.dkba.ru

30.03.2022 № 30/1122
На № 010/1084 в от 14.03.2022

И.о. проректора по научной работе
Федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего
образования «Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)»
д.т.н, профессору Ю.А. Равиковичу

125993, г. Москва, А-80, ГСП-3,
Волоколамское шоссе, д. 4

Уважаемый Юрий Александрович!

В ответ на ваше письмо (Исх. № 010/1084в от 14.03.2022) высылаю Вам отзыв ведущей организации на диссертационную работу Редькина Андрея Владимировича «Разработка методики проектирования высотного дирижабля длительного барражирования, оснащенного гибридной энергоустановкой с использованием солнечной энергии», представленную к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.02 – Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов.

Приложение: отзыв ведущей организации на 8 л. в 2 экз.

Генеральный директор
АО «ДКБА»
доктор военных наук



Ю.В. Кузнецов

Отдел документационного
обеспечения МАИ

«04» 04 20 22



АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«ДОЛГОПРУДНЕНСКОЕ КОНСТРУКТОРСКОЕ
БЮРО АВТОМАТИКИ» (АО «ДКБА»)
ПРЕДПРИЯТИЕ КОНЦЕРНА «ВЕГА»

ул. Летная, д. 1, г. Долгопрудный,
Московская область, 141700
Тел.: +7(495) 408-75-11; Факс: +7(495) 408-89-09
E-mail: dkba@dkba.ru; Web: www.dkba.ru

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор

АО «ДКБА»

доктор военных наук

Ю. В. Кузнецов

2022 г

М.П.



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Акционерного общества «Долгопрудненское конструкторское бюро автоматики» на диссертационную работу Редькина Андрея Владимировича «Разработка методики проектирования высотного дирижабля длительного барражирования, оснащенного гибридной энергоустановкой с использованием солнечной энергии», представленную к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.02 – Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов.

Актуальность темы диссертационной работы подтверждается значительным интересом, проявляемым как в нашей стране, так и в зарубежных экономически развитых странах, к разработке многоцелевой стратосферной платформы, способной длительно, от одного до нескольких месяцев, находиться в атмосфере Земли над заданной географической точкой. Такая платформа способна выполнять функцию ретранслятора радиосигнала, обеспечивая сотовой связью, интернет-траффиком и телерадиовещанием районы нашей страны, где установка сети стационарных ретрансляционных вышек затруднена, следовательно, имеет хорошие перспективы коммерческого применения и потенциальные преимущества в стоимости обеспечения связи по сравнению со спутниковыми системами. Кроме того, размещение на такой платформе специального оборудования позволит решать задачи обнаружения наземных и воздушных низколетящих объектов, что делает её эффективным средством контроля воздушного пространства и охраны границ.

Отдел документационного
обеспечения МАИ

04. 04 20 22

Задачей создания стратосферной платформы или, высотного дирижабля, занимались ведущие оборонные концерны и научно-исследовательские организации США, Японии, Южной Кореи, Европы и России. Был изготовлен и испытан ряд дирижаблей-демонстраторов технологий, но в результате всех проведенных работ - серийный образец, годный для практического использования, так и не был создан, так как ряд важных технических проблем для такого аппарата остались нерешенными. Большинство экспериментальных аппаратов, как правило, были оснащены энергоустановкой на солнечной энергии. Однако, как показывают расчеты, инсоляция не всегда способна обеспечить энергией дирижабль в полном объеме, особенно на северных широтах.

В связи с обозначенной выше научно-технической проблематикой в создании такого летательного аппарата сформулирована **цель диссертационной работы** Редькина А.В. - разработка методики проектирования беспилотного высотного дирижабля и его гибридной энергоустановки, использующей солнечную энергию и химическую энергию топлива, в конкретных метеорологических, сезонных и широтных условиях для выбора рациональных геометрических, весовых характеристик аппарата и соотношения масс основных компонентов энергоустановки, позволяющей достигнуть максимальную продолжительность полета при фиксированном значении взлетной массы в заданном географическом районе Земли.

Научная новизна исследований и результатов, полученных в процессе достижения поставленной в диссертационной работе цели, заключается в следующем:

- Метод определения потребной мощности и энергии основан на *анализе массива метеорологических данных* за значительный промежуток времени (5 лет) с большим охватом территории (30° - 180° в.д., 60° - 80° с.ш.), при этом учитываются и определяются *показатели вероятности значения потребной энергии*;

- Исследован вопрос влияния *направления ветра* на суммарное значение *поступающей солнечной энергии на поверхность батареи солнечных элементов*, определено преимущественное направление ветра и статистический коэффициент, учитывающий изменения курса дирижабля, на основании анализа сделан вывод о *рациональности асимметричной компоновки батареи* на оболочке аппарата;

- Для расчета массы *энергосистемы на солнечной энергии* введен и использован *относительный показатель удельной мощности*, определена его зависимость от дня года (сезона) и географической широты положения, размеров и массы аппарата;

- Разработанная методика расчета позволяет определить *оптимальное соотношение масс компонентов энергосистемы*, использующей два источника энергии (солнечную и расходуемое топливо) для получения максимальной продолжительности полета при условии адаптации к реальным колебаниям скорости и направления ветра.

Ценность проведенных исследований и их теоретическая значимость заключается в том, что применительно к высотному дирижаблю рассмотрены преимущественные стороны использования разных источников энергии и вариантов энергоустановки, выбрано их наиболее рациональное сочетание для вариантов с высоким уровнем готовности технологий, разработана методика расчета основных проектных параметров летательного аппарата и его энергоустановки.

Солнечная инсоляция как источник, характерна тем, что в течение длительного промежутка времени (5 суток и более) количество поступающей энергии значительно превосходит располагаемую энергию эквивалентного по массе запаса химического топлива на борту летательного аппарата.

Однако, в случае значительного повышения потребной мощности из-за кратковременного усиления ветра, среднесуточной мощности энергосистемы на солнечной инсоляции становится недостаточно. В данном случае, для решения задачи длительного энергообеспечения высотного дирижабля только за счет инсоляции, посредством прямого увеличения относительной массы такой системы приведет к значительному росту взлетной массы аппарата в целом, а в некоторых случаях для районов с высокой ветровой нагрузкой весовое уравнение не будет иметь решение. При этом, в случае «завышения» массы солнечной энергоустановки на случай усиления ветра, её энергия при ветре средней силы не будет использоваться и не может быть запасена вследствие низкой удельной энергоёмкости систем хранения электроэнергии.

Вследствие вышеизложенного, Редькиным А.В. предложено в *дополнение к солнечной энергосистеме использовать традиционное топливо и высотный поршневого двигателя* с более высокой удельной мощностью (0,4 – 0,6 кВт/кг), позволяющий компенсировать нехватку мощности и энергии при усилениях ветра в течение 1-3 суток.

В диссертационной работе Редькина А.В. статистика изменения интенсивности ветровой нагрузки исследована посредством преобразования данных в монотонную функцию, анализ графика которой позволил определить характер и относительный энергетический вклад «всплесков» потребной энергии при усилениях ветра. Полученные графики и их аппроксимирующие уравнения позволили определить соотношение одной части энергии, которая в течение заданного промежутка времени должна «покрываться» за счет инсоляции, и

другой части, которая должна быть компенсирована запасом топлива для традиционного поршневого двигателя.

С применением графика потребной среднесуточной энергии для исследуемого статистического массива данных в диссертации получены расчетные значения коэффициента использования солнечной энергии, позволяющего решить уравнение баланса энергии для заданного промежутка времени барражирования (дни года) и широты. Разработанная в диссертации Редькина А.В. методика расчета энергосистемы с двумя источниками энергии (возобновляемым и невозобновляемым) позволяет *определить продолжительность полета* при заданном дне старта и географической широте, либо найти *возможный день старта (дата)* для обеспечения заданной продолжительности полета.

Проведенное в диссертации исследование полученных значений продолжительности полета при разных соотношениях компонентов энергосистемы (с возобновляемым и невозобновляемым источником энергии) показало наличие *оптимального соотношения* для каждого расчетного случая. Максимальное значение продолжительности полета для оптимального соотношения компонентов энергосистемы по приведенным в диссертации результатам в 1,5-2 раза превышает значения продолжительности, которую можно получить, используя только расходуемое топливо.

Практическая значимость результатов диссертационной работы Редькина А.В. состоит в возможности применения разработанной методики для проектирования аэростатических и динамических (самолетов) летательных аппаратов длительного барражирования, оснащенных гибридными силовыми установками, использующих инсоляцию и другие возможные источники энергии.

Разработанная методика может служить инструментом для оптимизации элементов гибридной силовой установки, компонентов солнечной энергосистемы, выбора рациональной размерности летательного аппарата.

Разработанная методика посредством расчета удельных характеристик потребной и располагаемой мощности позволяет оценить эффективность и целесообразность использования солнечной энергии для энергообеспечения летательных аппаратов на всей территории Земли, в соответствие с известными метеоданными по скорости и направлению ветра в атмосфере.

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций диссертационной работы подтверждаются применением проверенных на практике научных подходов и принципов, важнейшим из которых является обеспечение баланса потребной и располагаемой энергии в течение заданного промежутка времени при изменении инсоляционных и ветровых условий. Результаты исследований получены с применением методов оптимизации, 3D моделирования

и вероятностного подхода. Полученные в работе выводы и научные результаты не противоречат ранее опубликованным в открытых источниках результатам аналогичных исследований по данной тематике.

Достоверность полученных результатов диссертационной работы и расчетные характеристики высотного дирижабля подтверждаются сравнением с результатами аналогичных работ в России и за рубежом. Значения поступающей солнечной энергии, полученные с использованием метода 3D моделирования, подтверждаются опубликованными данными по инсоляции. Для определения потребной энергии, необходимой для удержания аппарата над заданной точкой, использован значительный объем метеоданных по скорости и направлению ветра, полученных посредством международного портала ERA5 «Коперник». Результаты работы содержат наглядный графический материал, включающий графики, аппроксимирующие уравнения, показывающие реальные соотношения интегральных значений потребной и располагаемой энергии.

Рецензируемая диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка сокращений, списка литературы и 3-х приложений. Текст диссертации содержит 159 страниц, 48 рисунков и 17 таблиц. Список литературы содержит 84 источника.

Введение посвящено обоснованию актуальности темы, рассмотрены основные перспективные области применения высотного дирижабля, показана важность проекта для решения государственных задач в России. Во введении сделан анализ литературы по теме диссертационной работы, показана история развития идеи, основные достижения и технические проблемы при создании и проектировании такого летательного аппарата.

В первой главе выполнен подробный анализ 11-ти возможных вариантов концепций беспилотных летательных аппаратов длительного барражирования с различными типами энергоустановок и источников энергии, приведены их подробные характеристики и описание, рассмотрены основные достоинства и недостатки. В результате сравнения методом экспертной оценки выбраны наиболее перспективные концептуальные варианты для дальнейшего формирования облика аппарата с гибридной силовой установкой (ГСУ):
1) поршневой двигатель с использованием традиционного химического топлива;
2) система энергоснабжения с использованием солнечной энергии.

Во второй главе подробно описан процесс разработки методики проектирования высотного дирижабля с ГСУ, показан процесс разработки методики расчета потребной и располагаемой мощности и энергии при длительном барражировании. В главе приведены исходные требования для 2-х вариантов концепции – максимального и минимального. Построение методики расчета располагаемой мощности выполнено для двух основных компонентов

ГСУ: энергосистемы на солнечной энергии (ЭССЭ) и традиционной силовой установки с высотным поршневым двигателем, использующим химическое топливо. Для ЭССЭ рассмотрено решение внутренней и внешней задачи определения располагаемой энергии, учтено влияния ветра и ракурса положения высотного дирижабля относительно солнца. Внешняя задача решена с применением методов 3D моделирования, внутренняя на основании баланса энергии при реализации суточного цикла. Для расчета поступающей инсоляции учтено влияния ветра и курсового угла аппарата относительно солнца, а также влияние альбедо Земли, восходящей, нисходящей и рассеянной радиации на суммарное значение поступающей энергии.

Во второй главе приведены решения весового уравнения дирижабля при условии баланса потребной и располагаемой энергии за время барражирования с учетом требуемой вероятности выполнения полетного задания, когда используется только поршневой двигатель на химическом топливе. Для случая комбинированного использования двух источников энергии разработан метод определения продолжительности барражирования с учетом статистики распределения интенсивности ветра, а также метод определения оптимального соотношения массы топлива и энергосистемы на солнечной энергии для достижения максимального времени барражирования.

В третьей главе приведены результаты расчета для двух типоразмеров ВД в соответствии с разработанной методикой по исходным требованиям. Приведены результирующие весовые, геометрические и летно-технические характеристики дирижаблей. В случае использования двух источников энергии для варианта с максимальным уровнем технических требований определено оптимальное соотношение массы топлива и массы ЭССЭ, а также результаты расчета времени барражирования для различных дат старта аппарата и широты.

В главе 3 рассмотрен и описан процесс формирования облика высотного дирижабля. В качестве подтверждения реализуемости проекта высотного дирижабля показана разработанная автором конструкция высотного дирижабля, с интегрированными в неё элементами ГСУ, которая защищена патентом РФ.

В третьей главе также показан метод определения удельных характеристик энергосистемы ВД, отнесенных к его взлетной массе. Полученные удельные характеристики размерного ряда ВД могут быть использованы для оценки соотношения инсоляционной энергии и энергии ветра в предполагаемом районе эксплуатации ВД, использующего солнечную энергию.

В заключении подведены итоги и результаты выполненной работы, показано, что основные задачи, которые необходимо было решить для достижения цели диссертации - решены. Отдельно выделены результаты, обладающие научной новизной.

В приложениях к диссертации приведены 2 патента РФ с участием автора и 2 акта о внедрении и практическом применении результатов работы.

Автореферат диссертации полностью отражает структуру диссертации, основное содержание исследования и его результаты.

Наряду с положительной оценкой диссертационной работы, считаем необходимым указать на ряд **замечаний и недостатков**:

1. Во введении и первой главе диссертационной работы описаны реализованные программы исследования и разработки высотных дирижаблей, однако, в данных разделах отсутствует анализ конкретных достоинств и недостатков реализованных проектов дирижаблей-демонстраторов, принципиальных решений по их системам энергоснабжения, а также не указаны причины, почему эти проекты не были доведены до практического применения.

2. В аналитической части главы 1 автором выполнено описание концептуальных вариантов энергосистем их компонентов, для системы на солнечной энергии не в полной мере раскрыта информация по техническим характеристикам солнечных элементов или фотоэлектрических преобразователей.

3. Расчет потребной мощности в главе 2 (раздел 2.3.2) выполнен для установившегося режима полета с углом атаки $\alpha=0^\circ$, который и принят как основной расчетный, однако, для случаев полета с *изменяющимся углом атаки* $\alpha \neq 0^\circ$ и динамическим затяжением аппарата необходимо дополнить методику расчетными выражениями для определения значений потребной мощности, сопротивления, подъемной силы в зависимости от C_{xa} , C_{ya} полученных расчетным или экспериментальным путем для конкретной формы оболочки и оперения.

4. Анализ интенсивности ветра, потребной мощности и энергии, продолжительности полета сделан только для зимнего сезона, что несомненно, наиболее интересно с точки зрения представления наихудших условий эксплуатации дирижабля. Тем не менее, в работе для *полноты анализа* не хватает *расчетных характеристик* (возможно, более оптимистичных) для такого аппарата при обеспечении мониторинга и связи в течение *весенне-летне-осеннего* периода, когда происходит наиболее активное движение судов по северному морскому пути и другая хозяйственная деятельность в арктическом регионе РФ.

5. Несмотря на хороший и понятный язык изложения диссертационной работы, существуют огрехи в её оформлении, встречаются орфографические ошибки, опечатки и отсутствующие знаки пунктуации.

6. Некоторые графики на рисунках, например, 2.9 и 2.13, имеют мелкий шрифт подписей и трудно читаются.

Указанные замечания и недостатки **не влияют** на общую положительную оценку представленной диссертационной работы А.В. Редькина и являются рекомендациями.

Заключение по диссертационной работе

Рассмотренная диссертация Редькина А.В. является завершенной научно-квалификационной работой, выполненной самостоятельно и на высоком уровне, результаты работы обладают научной новизной и практической значимостью.

Полученные выводы и результаты диссертационной работы Редькина А.В. можно считать существенным вкладом в разработку методов проектирования и конструирования для выбора оптимального облика и параметров, компоновки летательного аппарата, следовательно, она соответствует паспорту специальности 05.07.02 – Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов.

Считаем, что диссертационная работа «Разработка методики проектирования высотного дирижабля длительного барражирования, оснащенного гибридной энергоустановкой с использованием солнечной энергии» соответствует требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а автор работы, Редькин Андрей Владимирович, заслуживает присуждения степени кандидата технических наук по специальности 05.07.02 – Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов.

Отзыв на диссертационную работу Редькина Андрея Владимировича утвержден на заседании научно-технического совета Акционерного общества «Долгопрудненское конструкторское бюро автоматики», протокол № АС-22/2 от 30.03.2022.

Отзыв составили:

Заместитель генерального директора
по государственному оборонному заказу
и научно-техническому развитию
АО «ДКБА», к.т.н.

Директор по научно-техническому
развитию АО «ДКБА», к.т.н.
Сведения о ведущей организации:



Н.С. Колпаков



Ю.Г. Вопшин

Акционерное общество «Долгопрудненское конструкторское бюро автоматики»
Почтовый адрес: 141700, Московская обл., Долгопрудный г., ул. Летная, 1.
Телефон: 8-495-408-75-11

Адрес электронной почты: dkba@dkba.ru

Подписи составивших отзыв Н.С. Колпакова и Ю.Г. Вопшина заверяю:

