

ОТЗЫВ

официального оппонента по диссертации Хоанг Ван Хынг на тему «**Автоматизация выбора схемы и параметров беспилотных летательных аппаратов самолётного типа с использованием многодисциплинарной оптимизации**», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.13. Проектирование, конструкция, производство, испытания и эксплуатация летательных аппаратов

Диссертационная работа Хоанг Ван Хынга посвящена разработке методов и программного обеспечения для автоматизации ранних стадий проектирования БПЛА самолётного типа. Наряду с БПЛА роторного типа, ЛА самолётного типа в настоящее время проектируются, строятся и используются для решения самых различных задач. Фундаментальная разница между этими двумя типами состоит в том, что самолётный аэродинамический полёт затрагивает в единицу времени на поддержание в воздухе одинаковой полезной нагрузки на порядок меньшее количество энергии. Аппараты роторного типа имеют свои неоспоримые достоинства: вертикальный взлёт и посадка, маневренность и лёгкость миниатюризации. Однако, дальний длительный полёт и возможность создания ЛА для доставки крупных грузов имеют только аппараты, реализующие аэродинамический полёт. Оба типа ЛА имеют свои области возможного и целесообразного использования.

В обосновании выбора темы диссертант также справедливо отмечает на основании анализа литературных источников, что количество успешных и реализованных на мировом рынке проектов БПЛА самолётного типа значительно меньше, чем роторного. Диссертант, опираясь на историю самолётостроения, объясняет это положение тем, что для достижения эффективного аэродинамического полёта необходимо иметь компромиссное решение между высоким аэродинамическим и весовым совершенством конструкции.

Поэтому цель работы – создание автоматизированной системы для поддержки этапа концептуального проектирования БПЛА самолётного типа с ориентацией на длительные полёты с использованием многодисциплинарной оптимизации представляется безусловно актуальной.

По тексту диссертации можно высказать следующие оценки.

В первой главе (объёмом 27 стр.) в шести разделах последовательно обосновывается выбор темы, формулируются цели работы и задачи. Обсуждаются известные и возможные подходы к их решению. В качестве методологической базы выбирается формулировка проектных задач в терминах нелинейного математического программирования (НМП) и проектная технология «точного попадания». Обосновывается выбор

Входящий №	206-38/1
Дата	14 МАЙ 2025
Самарский университет	

математических моделей достаточно высокого уровня для целей концептуального проектирования, таких как AVL (метод дискретных вихрей), МКЭ в приложении к весовым расчётам через критерий «силовой фактор». Глава свидетельствует о хорошем знании соискателем как русскоязычной, так и англоязычной литературы по проектированию самолётов и основных тенденций в этой области.

Вторая глава является в диссертации основной. В ней рассматривается адаптированный к задачам проектирования БПЛА алгоритм и программная реализация одного из современных оптимизационных методов, получившего в англоязычной литературе название «дифференциальной эволюции». Данный алгоритм имеет генетическую природу. Может работать с дискретными проектными переменными различной размерности, не требует вычисления производных и имеет ряд других удобств для решения оптимизационных задач, характерных для начальных стадий проектирования. Однако известно, что генетические алгоритмы остро чувствительны к числу проектных переменных. Поэтому в первой части главы (разделы 2.1-2.6) решаются задачи ускорения работы выбранного алгоритма, а во второй части (разделы 2.7-2.9) – решаются вопросы повышения практической полезности решения оптимизационной задачи путём извлечения большого объёма дополнительной информации в цифровом, табличном и графическом виде, помимо ограниченного набора значений проектных переменных. Это аэродинамическое качество, АДХ, относительные массы агрегатов и топлива и др.

Для описания разработанного оптимизационного алгоритма выбрана своеобразная форма. Изложение ведётся в достаточно общем виде, но сопровождается в этой главе и далее по диссертации специально подобранными по опубликованным данным двумя прототипами БП-1 и БП-2 с взлётными массами ~ 1000 кг и ~ 2000 кг и временем беспосадочного полёта 35 и 24 часа соответственно (стр. 79, таблица 3).

Общий алгоритм автоматизированной системы поддержки концептуального проектирования ЛА самолётного типа, названный в работе АСП_КП, рисунок 18, стр.61, достаточно сложен, но далее он понятно объясняется по отдельным модулям и внутренним циклам.

Предлагаемый подход к оптимизации облика и параметров ЛА на ранних стадиях проектирования отличается от общепринятой традиционной последовательности решения таких задач тем, что сразу ставится и решается задача выбора значительно большего количества проектных переменных с одновременным учётом требований аэродинамики, динамики полёта и весового совершенства как задача нелинейного математического программирования.

В предлагаемой методике можно выделить ряд инноваций, обладающих научной новизной и эффективностью.

1. Предложено компактное пространство размерных и безразмерных проектных переменных, (таблица 1, стр. 45), особенность которого состоит в том, что в качестве проектных переменных вводятся соотношение площадей «переднего» и «заднего» крыла» и относительное расстояние между ними. В работе показано, что различным величинам этих переменных соответствует множество аэродинамических схем от «нормальной» до схемы «утка»

2. При вычислении взлётной массы каждой особи, т.е. каждого проекта, введён учёт продольной балансировки (рисунок 8, стр.47). Вычислительным экспериментом и анализом показано, что при кажущемся небольшом уточнении взлётной массы это уточнение сокращает время оптимизационного процесса на 33% (на 2 часа из 6 часов без этой новации) за счёт уменьшения числа проектных переменных, так как исключается необходимость введения угла заклинения «заднего» крыла.

3. На основании слабой зависимости ряда относительных масс ЛА в уравнении существования (11) от его абсолютной массы предложено включение в число проектных переменных значения «оценочной массы», вычисляемой по специальному алгоритму на каждой новой генерации популяции. Эта новация дала дополнительное сокращение времени оптимизации на 50% (на 3 часа из 6 часов без новаций).

Совместное применение двух указанных новаций снижает время оптимизации в рассмотренных задачах с 6 до 1 часа, что можно считать большим достижением и позволяет рекомендовать разработанную методику ПО к использованию в практической работе.

Кроме того, оба предложенных способа ускорения вычислений представляют теоретический интерес и заслуживают дополнительных экспериментов и анализа.

В заключительной части второй главы приводятся сведения о заимствованных программных модулях из открытых ресурсов и собственных разработках диссертанта, рисунок 21, стр.73, включая листинги 12 модулей программ в Приложении, написанных лично диссертантом, которые свидетельствуют о высоком уровне его квалификации в области программирования и вычислительной математики.

Третья глава посвящена оценке достоверности и быстродействия разработанных математических моделей функционирования БПЛА рассматриваемого класса.

Результаты работы аэродинамического модуля с использованием программы AVL с корректировкой коэффициента лобового сопротивления при нулевой подъёмной силе по «инженерным» формулам сравнивались с экспериментальными данными, полученными в аэродинамической трубе Самарского университета. Нормализованная средняя абсолютная ошибка по основным аэродинамическим коэффициентам составила менее 10%, что можно считать приемлемым для этапа концептуального проектирования.

Оценка точности предложенного метода обеспечения продольной балансировки, который позволяет определять независимо две дополнительные проектные переменные: угол установки задней поверхности и полётный угол атаки, сравнивалась с результатами использования заимствованного из открытых источников численного метода «SOBYLA». Расхождение по углам составило меньше 5%, но время расчёта для одной особи уменьшилось почти в 20 раз, что существенно для предложенной модификации генетического алгоритма.

Точность весовых моделей проверялась проведением однократных расчётов масс частей двух реальных БПЛА по значениям их проектных переменных, взятых из опубликованных описаний. По этим данным и разработанной программе определялись: взлётная масса, массы двигателей и топлива и масса пустого БПЛА. Далее эти массы сравнивались с опубликованными данными. Расхождение по двум рассмотренным БПЛА составило меньше 5%.

Проверка точности прогнозирования массы топлива по двум методикам – простейшей, не учитывающей выгорание топлива в полёте, и по формуле Бреге, показала, что в длительном полёте первая методика сильно завышает расход по сравнению со средним значением по двум методикам, а по Бреге сильно занижает. В диссертации предложен ступенчатый расчёт, который даёт приемлемое расхождение с максимальной и минимальной оценками соответственно 7,8% и 4,7%.

Таким образом, выполненные в диссертации проверки точности и достоверности используемых математических модулей, позволяет говорить о том, что созданное ПО может рассматриваться как инструмент для реализации технологии «точного проектирования» БПЛА самолётного типа.

В четвёртой главе приводятся результаты исследования основных показателей разработанной системы автоматизации – по точности отыскания экстремума и по быстродействию. С этой целью представлены следующие результаты.

1. По опубликованным исходным данным выполнена оптимизация двух прототипов БП-1 и БП-2. Найдены решения с меньшей взлётной массой соответственно на 10% и 16%. Возможное частичное объяснение этих результатов может состоять в том, что оптимизация проводилась при минимальном наборе функциональных ограничений. Однако полученные результаты связаны, скорее, с тем, что найдены более выгодные аэродинамические конфигурации (рисунок 32, таблица 11). Приведённые примеры подтверждают способность алгоритма и предложенного набора проектных переменных генерировать новые схемные решения. Этот результат диссертационной работы *обладает научной новизной и практической ценностью* как средство для поиска новых конфигураций БПЛА самолётного типа и модификации существующих.

2. Для анализа и осмысления получаемых решений предлагается ряд графических нормализованных представлений: изменение проектных переменных в результате оптимизации, значимость проектных переменных для целевой функции – взлётной массы и частные производные по переменным до и после оптимизации (рисунки 31, 35, таблица 12).

3. Для анализа рельефа целевой функции в многомерной пространстве проектных переменных разработана специальная методика, названная «test-opt», использующая некоторые идеи из методов случайного поиска. Применение этой методики к анализу результатов оптимизации прототипов показало, что экстремум целевой функции находится с высокой точностью.

Совокупность результатов главы показывает, что разработанная автоматизированная система поддержки концептуального проектирования АСП_КП летательных аппаратов самолётного типа *позволяет находить оптимальные решения в короткие сроки и с высокой точностью.*

Таким образом, можно констатировать, что поставленные в диссертации цели и задачи успешно решены. Вместе с этим по представленной работе имеется ряд замечаний.

1. В первой постановочной главе в разделе 1.6 чётко не объясняется, почему оптимизационный алгоритм «дифференциальной эволюции» выбран как основной.

2. Принципы выбора проектных переменных и назначения диапазонов их значений не описаны.

3. Зависимость затрат времени на решение оптимизационных задач от числа проектных переменных исследована только частично.

4. Функциональные ограничения рассмотрены только в минимальном количестве в методических целях и остаётся не ясным, как их количество может повлиять на длительность оптимизации.

5. Из текста диссертации не ясно почему учёт обеспечения продольной устойчивости при решении уравнения весового баланса существенно сокращает потребное время оптимизации.

Высказанные замечания не затрагивают существа результатов представленной работы и могут быть учтены в дальнейшем при её развитии.

Диссертация имеет чёткую структуру, написана хорошим техническим языком. Основное содержание работы опубликовано в трёх статьях в рецензируемых изданиях, входящих в рекомендуемый список ВАК по специальности 2.5.13. Автореферат соответствует диссертации.

Результаты работы могут быть рекомендованы к использованию в проектных организациях, ведущих разработку БПЛА самолётного типа, и в учебных заведениях, ведущих подготовку проектантов и конструкторов летательных аппаратов самолётного типа.

Диссертация Хоанг Ван Хынга представляет собой законченную научно-исследовательскую работу, связанную с решением актуальной задачи

разработки методик и программного обеспечения цифровой поддержки концептуального проектирования БПЛА самолётного типа, соответствует требованиям п.п. 9-14 «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 №842, а её автор, Хоанг Ван Хынг, заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.13 Проектирование, конструкция, производство, испытания и эксплуатация летательных аппаратов.

Заведующий кафедрой 602 «Проектирование и прочность авиационно-ракетных и космических изделий»

МАИ

доктор технических наук, профессор

 И.К.Туркин

«5» мая 2025г.

Я, Туркин Игорь Константинович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертационной работы Хоанг Ван Хынг.

 И.К.Туркин

Организация: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), Адрес: 125993, Россия, г. Москва, Волоколамское шоссе, д.4, телефон: 8-903-713-41-22, e-mail: turkinik@mai.ru

Подпись заведующего кафедрой 602 «Проектирование и прочность авиационно-ракетных и космических изделий» МАИ Туркина Игоря Константиновича заверяю.

Заместитель начальника

Управления по работе с персоналом

МАИ

 М.А. Иванов

