

## **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 учёной степени кандидата технических наук по  
специальности 2.5.13. Проектирование, конструкция, производство,  
испытания и эксплуатация летательных аппаратов

### **Актуальность темы.**

В настоящее время наблюдается бурный процесс создания и использования атмосферных летательных аппаратов для самых различных целей: от применения в военном деле до патрулирования нефтепроводов и организации работы больших карьеров и многих других задач. Для глубокой научной разработки соискатель выбрал летательные аппараты самолётного типа в связи с тем, что только эти летательные аппараты при современном уровне развития техники дают возможность полёта до суток и более. В диссертации справедливо отмечается, что для достижения этих целей необходимо одновременное компромиссное обеспечение высокого аэродинамического качества и высокого весового совершенства конструкции. В качестве основного метода для решения поставленной задачи выбрана многодисциплинарная оптимизация (МДО). Кроме того, во вводящей части диссертации, в первой главе, в качестве одного из важнейших требований к методам проектирования авиационной техники специального назначения обоснованно выдвигается необходимость цифровой поддержки процесса проектирования с целью его ускорения и получения результата, не требующего больших доработок.

Особенностью рассматриваемой диссертации является то, что в ней ставится задача оценки эффективности летательных аппаратов самолётного типа с различными аэродинамическими схемами и, более того, возможность отыскания новых схемных решений в процессе автоматизированного проектирования, т.е. ставятся задачи структурно-параметрической оптимизации.

Выбранное направление исследований соответствует мировому уровню состояния теории и практики авиастроения и представляется безусловно актуальным.

### **Научная новизна.**

Научная новизна работы определяется следующими результатами:

Заседаний №	106-4002
Дата	16 МАЙ 2025
Самарский университет	

— комплексным использованием нового эффективного оптимизационного метода «дифференциальной эволюции» (ДЭ) в сочетании с высокоточными математическими моделями функционирования летательного аппарата: аэродинамики - метод дискретных вихрей; выбором весовых формул, которые позволяют учитывать абсолютные размеры и массы частей самолёта; модели продольной балансировки и т.д., и несколькими методами из вычислительной математики для ускорения процессов оптимизации – распараллеливание, внутренние циклы в оптимизации и т.п.;

— постановкой и решением задачи методами нелинейного математического программирования с использованием предложенного автором оригинального компактного набора из 12 проектных переменных, способного породить различные аэродинамические схемы;

— использованием уточнённого варианта уравнения весового баланса в качестве свёртки для одновременного учёта аэродинамической и весовой эффективности БПЛА;

— существенной научной новизной обладает также включение в число проектных переменных оценочного значения величины взлётной массы и отношения площадей двух несущих аэродинамических поверхностей.

### **Основные результаты исследований.**

Основными результатами исследований являются:

1) разработка программного комплекса автоматизированной системы поддержки концептуального проектирования летательных аппаратов самолётного типа АСП\_КП;

2) существенное ускорение процесса оптимизации с использованием алгоритма ДЭ за счёт ряда предложений соискателя;

3) доказательство возможности отыскания с использованием АСП\_КП оптимального облика и параметров летательного аппарата с высокой точностью;

4) выполнен реинжиниринг двух современных БПЛА с взлётными массами одна и две тонны и временем полёта 35 и 24 часа соответственно, который показал возможность существенного улучшения этих характеристик за счёт изменения аэродинамической схемы и геометрических параметров. Этот результат можно рассматривать как новую дополнительную опцию разработанной АСП\_КП, которая позволяет искать и находить новые технические решения.

### **Достоверность и обоснованность результатов исследований.**

Вопросам достоверности и эффективности разработанной автоматизированной системы АСП\_КП в диссертации посвящены третья и четвёртая главы. В этих главах рассматриваются, в сущности, три ключевых вопроса:

- **точность результатов**, получаемых в модулях математического моделирования аэродинамики, динамики полёта и весового анализа частей конструкции, включённых в состав автоматизированной системы;
- **точность отыскания** экстремума целевой функции;
- **быстродействие** автоматизированной системы.

С этой целью предложен ряд методик. Вариант использования метода дискретных вихрей (заимствованная программа AVL) сопоставлен с результатами собственного эксперимента, выполненного в аэродинамической трубе Самарского университета, по коэффициентам  $c_x$ ,  $c_{ya}$ ,  $m_z$ . Точность метода обеспечения балансировки самолёта по методике, предложенной в диссертации, сопоставлена с опубликованной методикой «COBYLA» в пакете OpenMDAO библиотеки Python. Результаты весовых расчётов частей БПЛА по формулам и методикам, включённым в систему, сопоставлены с опубликованными данными по двум реальным летательным аппаратам MQ-1 и U-40. Расхождения контролируемых параметров во всех проверках не превышают 5%, что можно считать вполне приемлемым для этапа концептуального проектирования.

Для оценки точности и значимости отдельных проектных переменных использовалось вычисление частных производных по проектным переменным как в получаемом оптимальном решении, так и по двум реальным прототипам. Из полученных результатов следует, что частные производные для «оптимального» решения значительно меньше, чем для прототипов, что подтверждает, что найденное решение действительно близко к оптимальному. Для более точной оценки в диссертации предложен комплекс методик «test\_opt», который обладает **существенной научной новизной** и позволяет оценивать не только точность отыскания экстремума, но и позволяет анализировать рельеф целевой функции в многомерном пространстве проектных переменных. Выполненные в диссертации исследования по двум БПЛА с различными несущими аэродинамическими схемами показали чувствительность целевой функции этих аппаратов к проектным переменным.

В диссертации приводятся результаты вычислительных экспериментов по оптимизации облика двух летательных аппаратов с различным временем барражирования и массой полезной нагрузки. Во всех этих экспериментах для набора из предложенных 12 проектных переменных получена сходимость к

оптимуму в пределах одного часа машинного времени при строгих ограничениях на величину невязки  $\varepsilon$  (блок 8, рисунок 18,  $\varepsilon=0,005$ , таблица 8). В тоже время в диссертации на рисунке 30 показан процесс сходимости, из которого следует, что результаты, близкие к оптимальному, получаются уже примерно на 30 генерации, т.е. на 15 минуте работы, что свидетельствует о вполне удовлетворительной скорости работы оптимизационного алгоритма.

### **Теоретическая и практическая значимость результатов исследования.**

Ряд результатов, полученных в диссертации, обладает научной новизной и теоретической значимостью для развития методов оптимизации. Это касается **включения оценочной величины взлётной массы в число проектных переменных и предложенного включения условий балансировки в уточнённый расчёт взлётной массы** (рисунок 8, с.47).

Практическая значимость работы определяется её быстродействием и большим объёмом дополнительной информации, которую может выдавать система (специальные блоки 9.1 и 9.2, рисунок 18, с.61, с.67) – это массы частей БПЛА, лётно-технические, энергетические, аэродинамические характеристики и облик, которые имеют важное значение для сравнения полученного результата с альтернативными решениями и для проведения дальнейших этапов проектирования.

### **Замечания.**

1. Функциональные ограничения в виде равенств и неравенств (12) – (16), с.45-46, рассмотрены в минимальном наборе.

2. Весовые формулы (38) – (41), с.57-58, дали хорошие результаты при тестировании по прототипам. Однако не приводятся границы их применимости.

3. В числе проектных переменных отсутствует возможность расположения передней и задней несущей поверхности на различных высотах.

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

Диссертация Хоанг Ван Хынг представляет собой законченную научно-квалификационную работу, связанную с решением актуальной задачи разработки методик и программного обеспечения цифровой поддержки концептуального проектирования БПЛА самолётного типа. Диссертация имеет чёткую структуру, написана ясным научным языком с корректным использованием технической терминологии. Основное содержание работы

опубликовано в трёх статьях в рецензируемых изданиях, входящих в рекомендуемый список ВАК по специальности 2.5.13. Автореферат соответствует диссертации.

Диссертация 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.

Официальный оппонент,  
заведующий кафедрой  
конструкции и проектирования  
летательных аппаратов КНИТУ-КАИ,  
д.т.н., профессор  
29.04.2025



Гайнутдинов В.Г.

Подпись официального оппонента заверяю:  
Ученый секретарь  
Ученого совета КНИТУ-КАИ



Жестовская Ф.А.

420111, г. Казань, ул. К.Маркса, 10. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ»,  
телефон  
+7(843) 231-03-01,  
e-mail: VGGaynutdinov@kai.ru

Я, Гайнутдинов Владимир Григорьевич, даю согласие Самарскому национальному исследовательскому университету имени академика С.П. Королева на обработку своих персональных данных, связанных с процедурой моего участия в качестве официального оппонента при защите кандидатской диссертации ХОАНГ ВАН ХЫНГ.