

Отзыв

официального оппонента на диссертацию Фофонова Даниила Михайловича «Разработка расчетно-оптимизационных методов механики жидкости, газа и плазмы для аэродинамического проектирования высокоскоростных летательных аппаратов» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности

1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы.

Актуальность темы диссертационной работы. Диссертационная работа посвящена разработке и обоснованию оптимизационных методов и программных кодов для аэродинамического проектирования высокоскоростных летательных аппаратов с использованием упрощенных моделей. Работа согласуется с Перечнем основных направлений технологической модернизации РФ (3. Космические технологии, прежде всего связанные с телекоммуникациями, включая ГЛОНАСС и программу развития наземной инфраструктуры; 5. Стратегические информационные технологии, включая вопросы создания суперкомпьютеров и разработки программного обеспечения). Проблематика диссертации находится в русле приоритетных направлений развития науки, технологий и техники РФ (7. Транспортные и космические системы) и связана с разработкой критических технологий РФ (23. Технологии создания высокоскоростных транспортных средств и интеллектуальных систем управления новыми видами транспорта; 24. Технологии создания ракетно-космической и транспортной техники нового поколения). Диссертация выполнена в известной научной школе ИПМех им. А.Ю. Ишлинского РАН под руководством академика Суржикова С.Т. На автора диссертации сильное влияние оказал доктор наук Лапыгин В.И. Работа поддержана грантами РФФИ (в период с 2003 по 2015 гг.). Таким образом, представленную диссертацию можно признать актуальной.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации. Поставленная в работе задача оптимизации формы летательного аппарата решается на основе локальных методов сверхзвукового обтекания и численного метода локальных вариаций. Численные прогнозы, сформулированные выводы и рекомендации обосновываются при сравнении с аналитическими решениями, результатами расчетов обтекания тел на основе уравнений Эйлера и Навье-Стокса.

Достоверность и новизна научных положений, выводов и рекомендаций.

Несомненной научной новизной характеризуются следующие пункты.

1. Разработка приближенного метода расчета аэродинамических характеристик тел с кусочно-гладкой и априори неизвестной поверхностью при больших сверхзвуковых скоростях для использования в реализации метода локальных вариаций. Анализ точности предложенного метода расчета аэродинамических характеристик высокоскоростных летательных аппаратов.
2. Разработка на основе численного метода локальных вариаций алгоритмов оптимизации формы тела с целью достижения максимального аэродинамического качества либо минимального коэффициента сопротивления при задании числа Маха, коэффициента трения, угла атаки и различного рода объемных и геометрических ограничений на его форму.
3. Постановка и решение вариационной задачи о форме тела максимального аэродинамического качества в сверхзвуковом потоке в рамках локальной модели взаимодействия сверхзвукового потока с поверхностью тела.
4. Полученные новые результаты аэродинамического проектирования интегральной компоновки планера и силовой установки ЛА; аэродинамической компоновки ЛА при заданных форме и габаритах отсеков размещения оборудования и полезной нагрузки.

Научная и практическая значимость работы вполне убедительные.

1. Создан авторский программный код, реализующий разработанные алгоритмы оптимизации.
2. Предложен и обоснован метод аэродинамического проектирования высокоскоростных летательных аппаратов, совершающих полет в атмосфере с использованием подъемной силы, в широком диапазоне изменения чисел Маха, Рейнольдса, углов атаки при заданной форме в плане с учетом

различных конструктивных требований, в том числе габаритных размеров силовой установки, полезной нагрузки, объема фюзеляжа, крыла и пр., радиуса затупления носка и передних кромок крыла и др.

Апробация работы вполне приемлемая. Опубликовано 8 статей, индексированных в базах данных «Сеть науки» (Web of Science) или «Скопус» (Scopus). Получено 5 свидетельств о регистрации прав на программное обеспечение.

Структура работы. Диссертация на 161 страницах состоит из введения, четырех глав, заключения, перечня литературных источников 103 наименований и довольно обширного двадцатистраничного приложения. Работа хорошо скомпонована, материал ясно и четко излагается последовательно, постепенно усложняясь. Вычислительные технологии представляются приоритетными в данном исследовании. Инженерный характер компьютерных разработок превалирует над анализом физических деталей наблюдаемых явлений.

Из наиболее существенных результатов, полученных лично автором, хотелось бы отметить следующие.

1. Сравнительные исследования в рамках невязкого обтекания показали хорошую сходимость результатов расчетов с использованием приближенного и CFD методов при определении аэродинамических характеристик спускаемых летательных аппаратов и треугольных затупленных крыльев.
2. Верифицирована приближенная зависимость для определения коэффициента сопротивления трения на поверхности спускаемых летательных аппаратов путем сравнения с опубликованными результатами расчетов равновесного и неравновесного обтекания затупленного треугольного крыла и крылатого летательного аппарата вязким сверхзвуковым потоком при ламинарном режиме течения в пограничном слое.
3. Исследовано влияние радиуса затупления передней кромки треугольного крыла на его оптимальную форму.
4. Разработан способ аэродинамического проектирования планирующих летательных аппаратов при заданной форме и габаритах отсеков размещения оборудования и полезной нагрузки.

Работа оппоненту понравилась. Она трудовая, насыщенная расчетным содержательным материалом. Все ее части довольно органичны и даны в развитии.

Замечания.

1. Концепция работы состоит в оптимизации по коэффициенту подъемной силы C_y и аэродинамическому качеству K формы высокоскоростного возвращаемого аппарата. Не понятно, почему в дополнение к указанным параметрам не рассматриваются критерии по тепловой нагрузке. Ведь оптимальная форма может меняться, в особенности боковые утончения кромок.
2. Априори неизвестная форма высокоскоростного аппарата при различных углах атаки и скольжения может иметь разнообразные режимы обтекания, как безотрывные, так и отрывные, в том числе нестационарные. В оптимизационной концепции должны быть ограничения, которые не указаны.
3. Большое внимание в работе уделено конструированию кодов. Вполне понятно, что упрощенные модели, основанные на формуле Ньютона, например, должны быть крайне эффективными. Однако практически об эффективности кодов ничего не говорится. Кстати, интересно уяснить. 6 на 16 элементов на несущей поверхности, показанной на рис.2.5, – этого достаточно?
4. На 76стр в формуле (2.9) ламинарно-турбулентный переход не рассматривается. Почему?
5. Есть ряд мелких замечаний по ходу работы.

В Табл.1.2 величины аэродинамических коэффициентов представлены с тремя значащими цифрами после запятой, а в Табл.1.3 с четырьмя. Почему и сколько знаков нужно?

На стр.39 появляется ссылка на формулу (7), которой в тексте нет.

На рис.1.21 сплошные кривые рассчитаны из решений уравнений Навье-Стокса, а пунктирные по формуле (7), а на рис. 1.22 все наоборот. Почему? Хотя согласие прогнозов по приближенной формуле и расчетов по точной модели впечатляет и служит достаточным обоснованием предположения об оценке постоянного интегрального трения.

Не ясно, какова величина k для турбулентного пограничного слоя (стр.43).

Почему-то не отмечена роль скругления кромок в создании Ктах оптимальных треугольных крыльев. А она значительная.

Автореферат правильно и полно отражает содержание диссертации.

Заключение

Указанные замечания не умаляют общей положительной оценки диссертации Фофонова Даниила Михайловича, которая является законченной научно-квалификационной работой, посвященной разработке и обоснованию оптимизационных методов и программных кодов для аэродинамического проектирования высокоскоростных летательных аппаратов с использованием упрощенных моделей. Выполненная работа удовлетворяет квалификационным требованиям, предъявляемым ВАК России к кандидатским диссертациям, в том числе соответствует требованиям п.9 "Положения о присуждении ученых степеней", а ее автор Фофонов Даниил Михайлович заслуживает присвоения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9 «Механика жидкости, газа и плазмы».

Официальный оппонент

Заведующий лабораторией фундаментальных исследований научно-технического центра Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации, доктор физико-математических наук по специальности 01.02.05 механика жидкости, газа и плазмы, профессор

02 сентября 2023 года

Исаев Сергей Александрович

isaev3612@yandex.ru 196210, СПб, Пилотов, 38, info@spbguga.ru, 9214045516

Подпись профессора Исаева С.А. заверяю

Проректор по научной и инновационной работе



Г.А. Костин