

**ОТЗЫВ**  
**официального оппонента**  
**на диссертационную работу Хомовского Ярослава Николаевича**  
**«Оценка напряжённо-деформированного состояния конструктивных**  
**схем прямоточных воздушно-реактивных двигателей для**  
**высокоскоростных летательных аппаратов на ранней стадии**  
**проектирования», представленную на соискание ученой степени**  
**кандидата технических наук по специальности 05.07.05 – «Тепловые,**  
**электроракетные двигатели и энергоустановки летательных**  
**аппаратов».**

**Актуальность темы исследования**

Работа Хомовского Я.Н. посвящена решению научной задачи по выбору конструктивной схемы прямоточного воздушно-реактивного двигателя (ПВРД) на ранних этапах проектирования, с учётом особенностей конструкционных материалов. Автор обосновывает актуальность данной работы наличием большого числа различных схем двигательных установок и современными тенденциями применения композитных материалов. При проектировании на ранних этапах важно рациональное соотношение между затратами времени на расчёты и качеством полученных результатов. В работе отмечаются недостатки современных САЕ систем в отношении расчётов сложных пространственных конструкций, выполненных из анизотропных материалов, и даются рекомендации для подобного вида расчётов на ранней стадии проектирования. Таким образом, актуальность поставленной задачи не вызывает сомнения.

**Структура и содержание диссертации**

Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав и заключения. Материал изложен на 96 страницах и включает в себя текст, 61 рисунок и 18 таблиц. Список литературы содержит 80 наименований. Оформление диссертации соответствует требованиям, установленным правилам и стандартам.

Первая глава диссертации представляет собой обзор литературных источников по схемам прямоточных воздушно-реактивных двигателей.

**ОБЩИЙ ОТДЕЛ МАИ**  
Вх. № \_\_\_\_\_  
"04" 12 2018

Автор работы обращает внимание на то, что существующие методы не всегда учитывают концентрацию напряжений в элементах двигателя, особенно при нагружении тонкостенного элемента градиентом температур и перепадом давлений. Для коробчатых оболочек не учитываются радиусы скругления в углах, образованными плоскими элементами.

Вторая глава посвящена постановке задачи исследования. Сформирован алгоритм действий для выбора оптимальной схемы ПВРД на ранних этапах проектирования. Обращается внимание на основные особенности углерод-углеродных композитных материалов (УУКМ), рассматриваемых в качестве конструкционных и возможности их учёта при оценке прочности. Проведено сравнение механических свойств УУКМ со свойствами особо жаропрочных металлов.

Третья глава диссертации посвящена расчетно-теоретическим исследованиям напряжённо-деформированного состояния (НДС) элементов конструкций. Расчёты включали следующие этапы: приближёнными методами, методами конечных элементов (МКЭ) и МКЭ в опасных местах конструкции. При конечноэлементном анализе композитный материал рассматривался как изотропный с осреднёнными свойствами, но на примере балки из материала с различными свойствами на растяжение и сжатие была сделана оценка смещения нейтральной линии сечения балки и её прогиба. Результаты этого расчёта сравнивались с результатами для балки с осреднёнными свойствами волокон.

В четвертой главе приведены результаты численных и экспериментальных исследований напряжённого состояния моделей элементов тракта двигателя. В обоих случаях с целью выявления влияния внешнего воздействия на концентрацию напряжения в местах стыков плоских стенок коробчатой оболочки при различных внутренних радиусах было реализовано нагружение двумя факторами: тепловым и силовым. Как численный, так и натурный эксперименты показали существенное различие



воздействия этих факторов на концентрацию напряжений в местах стыков плоских стенок. Нагружение элемента коробчатой оболочки, соответствующего  $\frac{1}{4}$  её сечения, осуществлялось на специально доработанном стенде методом фотоупругости.

### **Научная новизна**

В диссертации рассматривается напряжённое состояние и сравнение двух конструктивных схем двигателей, одна из которых (подфюзеляжная) является малоизученной. Показано, что традиционный подход к анализу НДС коробчатых оболочек (расчёт методом неразрезных пластин) даёт сильно завышенные результаты в отношении напряжений в местах стыка плоских стенок. Метод конечных элементов позволяет определить реальные максимальные напряжения в этих местах, а эксперименты, проведённые на поляризационной установке на соответствующих моделях, показали хорошую качественную сходимость. С помощью расчётов и экспериментов на моделях из оптически активного материала показана целесообразность отдельного анализа влияния силовых и температурных факторов на напряжённое состояние конструкции.

### **Практическая ценность**

Практическая ценность диссертации состоит в том, что полученные в ней данные и сформулированные рекомендации (алгоритм расчётов, результаты анализа двух конструктивных схем ПВРД, отдельное рассмотрение влияния силовых и температурных факторов, методика учёта свойств поверхностного слоя углеродного волокна) по проектированию прямооточных воздушно-реактивных двигателей.

### **Достоверность**

Научные положения, выводы и рекомендации диссертации являются достоверными, так как они получены на основании решения общеизвестных

уравнений прочности, применения конечноэлементного метода и экспериментальных исследований.

### **Замечания**

1. В диссертации получено большое количество расчетных и экспериментальных результатов, часть из которых представлена в графическом виде. Ссылки на некоторые рисунки в тексте диссертации не понятны: стр.25 “На рисунке 1Рисунок 177”, стр.26 “На рисунке 1Рисунок 188”, стр.36 “рисунок 2121”, и т.д.

2. При рассмотрении контактной задачи теплообмена не было учтено влияние связующего на эффективную теплопроводность по толщине конструктивного элемента.

3. В диссертации в качестве экспериментального способа используется метод фотоупругости, применяющийся для изотропных материалов. Тем не менее, он даёт качественную картину НДС.

Указанные замечания не влияют на положительную оценку проделанной работы.

### **Заключение**

В целом диссертация Хомовского Я.Н. выполнена на высоком уровне, соответствующем ученой степени кандидата технических наук.

На основе анализа напряжённо-деформированного состояния двух основных конструктивных схем ПВРД, численного моделирования, подробных расчётов и экспериментов на моделях из оптически активного материала в диссертации получены новые научные результаты, относящиеся к области проектирования названных типов двигателей. На основе полученных результатов сформулированы практические рекомендации в этой области.



Основные результаты диссертации изложены в 5 публикациях (в том числе 3 – в журналах, рекомендованных ВАК), и докладывались на 3-х научных конференциях.

Автореферат и опубликованные работы в полной мере отражают содержание диссертации и полученные автором основные результаты.

Тема и содержание диссертации соответствуют паспорту специальности 05.07.05 – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

Считаю, что диссертационная работа соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней (п. 9), утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24 сентября 2013 г., а ее автор Хомовский Ярослав Николаевич заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

Доктор физико-математических наук по специальности 01.02.04 – Механика деформируемых твердых тел, профессор, заведующий кафедрой «Механики композитов» Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова

3 декабря 2018 г.

Горбачев Владимир Иванович

Почтовый адрес: 119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1, механико-математический факультет, кафедра механики композитов

Контактный телефон: +7(903)772-95-13

Адрес электронной почты: [vigorby@mail.ru](mailto:vigorby@mail.ru)

Подпись д. ф.-м. н., профессора Горбачёва В.И. удостоверяю:  
Декан механико-математического факультета,  
профессор



В.Н. Чубариков