

ОТЗЫВ

официального оппонента кандидата технических наук, доцента Егорова Кирилла Сергеевича на диссертационную работу Танащенко Федора Владимировича «Математическое моделирование жидкостных систем терморегулирования перспективных космических аппаратов», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника

Актуальность темы исследования. В настоящее время полезные мощности КА и спутников увеличиваются, например, перспективная спутниковая платформа «Экспресс-4000» ОАО «ИСС им. Решетнева» имеет полезную мощность 20 кВт, при максимальном тепловыделении 8 кВт. Это требует значительных усилий по обеспечению теплового состояния КА и спутников.

Диссертационная работа Танащенко Ф.В. посвящена вопросам теоретического и экспериментального исследования процессов теплообмена в жидкостном контуре системы терморегулирования (СТР) космического аппарата (КА) и разработке расчетного алгоритма для его проектирования.

Система терморегулирования является одним из наиболее значимых компонентов КА и в значительной степени определяет его работоспособность и срок активного существования. Эффективность СТР закладывается в процессе ее проектирования и зависит от используемых алгоритмов расчета и качественного учета специфики теплообменных процессов.

Разработка соответствующих математических моделей и расчетных алгоритмов для СТР позволяет повысить качество и сроки проектирования. Таким образом, тематика диссертационного исследования Танащенко Ф.В. является актуальной.

Оценка структуры диссертации. Структура работы включает в себя введение, четыре главы, заключение и список литературы. Объем работы составляет 157 страниц. Список литературы содержит 117 источников.

Во введении обоснована актуальность работы, показана степень проработанности проблемы, сформулирована цель и основные задачи исследования.

В первой главе на основании анализа литературных источников представлен обзор современного состояния и перспектив развития в области конструирования и проектирования систем теплового обеспечения космических аппаратов, сформулирована научная проблема диссертационного исследования.

Во второй главе представлена методология проведения экспериментальной отработки системы терморегулирования с жидкостным контуром при проведении термобалансных испытаний. Описана методика обработки и анализа экспериментальных данных.

В третьей главе представлена разработанная автором математическая модель теплопередачи между сотопанелями с тепломассообменным контуром. Описана использованная двумерная тепловая модель. Представлено соотношение для оценки локального коэффициента теплоотдачи, полученное на основе решения дифференциального уравнения энергии температурного пограничного слоя.

В четвертой главе приведено описание разработанного программно-алгоритмического обеспечения и представлены результаты численных исследований системы терморегулирования с жидкостным контуром.

В заключении приведены основные научные результаты и выводы, полученные в диссертационной работе.

Оценка научной новизны результатов диссертационного исследования. Представленные в работе результаты обладают научной новизной. Наиболее существенными результатами являются следующие:

1. Создана новая математическая модель комплексной теплопередачи в СТР с жидкостным контуром.
2. Предложено новое решение для уравнения теплопередачи на основе термических сопротивлений определяющее эквивалент термического сопротивления на теплообменных и адиабатных поверхностях сложной топологии.
3. Получен алгоритм и разработана программа расчета системы терморегулирования космического аппарата, позволяющие на ранних этапах проектирования КА рассчитывать общеинтегральные параметры системы, проводить моделирование реакций системы на определяющие конструкторские и режимные параметры с целью оптимизации по требуемым критериям и сокращения сроков проектирования СТР.

Теоретическая и практическая значимость. Диссертационная работа представляет собой существенный вклад в теорию моделирования теплообменных процессов систем терморегулирования, т.к. разработанная математическая модель позволяет более четко понимать специфику влияния различных параметров системы на характеристику ее работы, что представляет определенный научный интерес.

Практическая ценность работы определяется возможностью использования полученных результатов при проектировании систем терморегулирования с жидкостным контуром.

Полученные результаты могут быть использованы в подразделениях предприятий аэрокосмической отрасли, занимающихся непосредственным проектированием КА и их элементов.

Степень обоснованности и достоверность основных научных результатов, выводов и рекомендаций. Научные положения, выводы и результаты, сформированные в диссертации, получены и обоснованы с

использованием апробированных математических подходов и верифицированы на экспериментальных данных.

Достоверность полученных результатов обеспечивается использованием современных средств измерений, корректностью поставленных задач, использованием основных концепций теории теплообмена, проверкой разработанного алгоритма и программы расчета на экспериментальных данных.

Апробация работы. Автором по рассматриваемой тематике опубликовано 17 научных работ, из них 5 статей в рецензируемых изданиях. Материалы диссертации достаточно полно отражены в научных публикациях. Результаты исследований по теме диссертации докладывались и обсуждались на конференциях всероссийского и международного уровня.

Автореферат достаточно полно и точно отражает содержание и основные результаты диссертации.

Представленная диссертационная работа соответствует паспорту специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника (физико-математические науки).

Танасиенко Ф.В. продемонстрировал высокий уровень владения методами научных исследований.

Замечания и недостатки работы. В работе имеется ряд недостатков:

1. Отсутствуют ссылки на работы других авторов по конвективному теплообмену в трубах.
2. Из работы не понятно, чем лучше аналитически полученная формула для коэффициента теплоотдачи при ламинарном течении в трубе (3.87) от полученных ранее другими авторами. Например, при $q_{ст} = \text{const}$ на участке стабилизации в трубе $Nu = 4,36$. В данной работе получена зависимость $Nu = 4,0$.

3. Отсутствует сравнение полученной зависимости 3.84 для начального участка трубы с экспериментальными данными других авторов и известных эмпирических зависимостей.

4. Для полученных выражений 3.84 и 3.87 не указано, в каких случаях они могут быть использованы (диапазон чисел Рейнольдса, учитывают ли они влияние переменности свойств теплоносителя от температуры, вид теплоносителя).

5. Полученная экспериментальная зависимость для коэффициента теплоотдачи (рис. 4.4) не сравнивается с данными и зависимостями других авторов, например Михеева. Также не указана погрешность измерения коэффициента теплоотдачи. Вызывает сомнения такая сильная зависимость от температуры стенки. Оценка, рассчитанная исходя из данных работы (рисунок 4.4) по поправке Михеева $(Pr_{ж}/Pr_{ст})^{0,25}$ дает изменения коэффициента теплоотдачи в пределах 20 %. Необходимо дать объяснение полученным экспериментальным данным, что могло стать причиной такого сильного влияния.

6. В работе есть опечатки и неточности, например стр. 118, формула (4.10), видимо следует читать $Re = 10^4$, стр. 139, рисунок 4.13, отсутствуют шкалы по осям ординат и абцисс, стр. 99 диссертации - локальный коэффициент теплоотдачи α обозначен как x .

Указанные недостатки не снижают общую положительную оценку диссертационной работы Танашиенко Ф.В.

Заключение

Диссертационная работа Танашиенко Ф.В. на тему «Математическое моделирование жидкостных систем терморегулирования перспективных космических аппаратов» является самостоятельной научно-квалификационной работой, в которой поставлена и решена важная теоретическая и прикладная научная задача моделирования теплопередачи

для тепловой схемы с жидкостной системой терморегулирования космического аппарата.

Диссертационная работа «Математическое моделирование жидкостных систем терморегулирования перспективных космических аппаратов» соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям п. 9 Действующего Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г., а ее автор, Танасиенко Федор Владимирович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника.

Официальный оппонент:

доцент кафедры Э6 «Теплофизика» ФГБОУ
ВО «Московский государственный
технический университет имени Н.Э.
Баумана (национальный исследовательский
университет)», кандидат технических наук
(01.04.14 - Теплофизика, 05.04.12 -
Турбомашины и комбинированные
установки), доцент

Егоров Кирилл Сергеевич

Тел. 8-903-287-64-14

Адрес электронной почты: egorovks@bmstu.ru

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (МГТУ им. Н.Э. Баумана)

105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1,

тел.: (499) 263-6391, bauman@bmstu.ru, <http://www.bmstu.ru/>



Кирилл Сергеевич Егоров

14 ноября 2019

А. Г. МАТВЕЕВ