

ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертацию Танасиенко Федора Владимировича на тему

«Математическое моделирование жидкостных систем терморегулирования перспективных космических аппаратов», представленную к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.14 «Теплофизика и теоретическая теплотехника».

Актуальность темы диссертационной работы

Одной из наиболее важных задач, которые решают разработчики и создатели космических аппаратов типа спутников различного назначения (связи, теле- и радиовещания, навигационных, метеорологических и др.), является задача обеспечения регламентного теплового режима бортовой электронной и радиоэлектронной аппаратуры. К таким системам предъявляются достаточно жесткие требования в связи с тем, что максимальные температуры открытых элементов поверхности приборных отсеков КА могут достигать 150°C на освещаемой Солнцем стороне (без охлаждения этих поверхностей) и -150°C на теневой стороне (без подвода теплоты). В течение 5-6 последних десятилетий ряд научно-производственных предприятий и исследовательских учреждений разрабатывали системы обеспечения теплового режима КА и методы моделирования теплофизических процессов, протекающих в приборных отсеках космических аппаратов с учетом всех значимых факторов (теплообмена излучением между радиаторными панелями КА и внешней средой, переноса тепла за счет теплопроводности в сотовых панелях и деталях приборного отсека, теплопереноса в результате работы тепловых труб, связывающих панели приборного и других (энергодвигательного и информационно-логического) отсеков аппарата). Наиболее общая математическая модель на базе системы нестационарных нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных и соответствующая методика расчета температурных полей во всех элементах конструкции блока полезной нагрузки КА была разработана совместно сотрудниками НИИ Прикладной математики и механики Томского государственного университета и НПО «Прикладная механика» в 90-ые годы прошлого века. Но эти модель и методика с течением времени стали слишком сложными для их использования инженерно-конструкторским корпусом организаций, разрабатывающих новые КА аппараты. Актуальной стала задача создания существенно менее сложных моделей и методик расчета температурных полей приборных отсеков перспективных космических аппаратов. Для проведения опытно-конструкторских работ инженерам, ведущим проектные и конструкторские работы по созданию систем обеспечения теплового режима КА, необходимы существенно более простые методики расчета систем терморегулирования КА, для реализации которых не требуется мощной вычислительной техники и больших времен вычисления. В этой связи тема диссертации Ф.В. Танасиенко, целью которой является экспериментальное и теоретическое исследование процессов теплообмена и теплопередачи в системах терморегулирования космических аппаратов, разработка математической модели и программно-алгоритмического обеспечения проектирования и конструирования систем терморегулирования, является актуальной.

При оценке актуальности темы диссертации Ф.В. Танасиенко следует отметить, что по своему содержанию и достигнутым результатам она соответствует приоритетному направлению науки, технологий и техники в Российской Федерации «Транспортные и космические системы» (утверждено Указом Президента РФ № 899 от 07 июля 2011 года).

Общая характеристика диссертации.

Рукопись диссертации состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы, который включает 117 наименования. Рукопись содержит 157 страниц текста, включая рисунки и таблицы.

Во введении автор обосновывает актуальность своего диссертационного исследования, его практическую значимость, новизну полученных результатов, формулирует выносимые на защиту положения.

В первой главе автор анализирует современное состояние систем терморегулирования космических аппаратов различных типов и методов их проектирования с использованием современных методик расчета температурных полей. На основании выполненного анализа сделан вывод, что экспериментальная обработка СТР возможна только при использовании уникальной и дорогостоящей экспериментальной базы, а методы математического моделирования теплофизических процессов являются основными в решении задач достоверного прогноза характеристик СТР при снижении объема испытаний для верификации результатов расчетов и отработки конструкции. Автор диссертации выделил новый фактор – процесс теплоотдачи по длине жидкостного контура и сформулировал цель и задачи диссертации, исходя из необходимости создания математических моделей конвективной теплопередачи в жидкостном контуре для расчета и проектирования СТР с такими контурами.

Вторая глава посвящена описанию методики выполненных автором испытаний систем терморегулирования негерметичных космических аппаратов, а также методики анализа и обработки экспериментальных данных. Приведены результаты испытания на модели КА с целью определения температур в характерных точках элементов конструкции КА.

В третьей главе приведено описание разработанной автором диссертации математической модели, описывающей процессы теплопередачи между панелями аппарата и учитывающей работу жидкостного контура.

Четвертая глава диссертации посвящена описанию разработанного автором «программно-алгоритмического обеспечения» для расчета системы терморегулирования с жидкостным контуром для КА в негерметичном исполнении.

В этой главе также приведены результаты численного анализа возможных результатов конструктивных решений перспективных СТР КА (варьировались конструктивные и режимные параметры).

В заключении приведены основные научные результаты и выводы.

Общая методология и методика исследования

По своему содержанию и основным результатом диссертация Ф.В. Танасиенко соответствует научному направлению «Разработка научных основ и создание методов интенсификации процессов тепло- и массообмена и тепловой защиты» (п. 9 паспорта специальности 01.04.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника).

Автор выполнил теоретические и экспериментальные исследования процессов теплопереноса в системах терморегулирования перспективных космических аппаратов. При выборе математической модели автор использован современные представления о процессах переноса теплоты в приборных отсеках КА и результаты проведенных им экспериментальных исследований. Сформулированная Ф.В. Танасиенко система нелинейных алгебраических уравнений решена численно методом итераций. Для численного решения задач диссертации с использованием сформулированной автором математической модели им разработано программно-алгоритмическое обеспечение, обеспечивающее возможность проектирования систем терморегулирования перспективных космических аппаратов, в которых для обеспечения регламентных тепловых режимов используются не только тепловые трубы, но и жидкостный контур.

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

Достоверность и обоснованность результатов выполненных автором численных исследований подтверждается сравнением с результатами экспериментов.

Научная новизна полученных результатов.

Ф.В. Танасиенко получил группу результатов, соответствующих, по мнению оппонента, критерию новизны. Наиболее значимыми, скорее всего, являются следующие.

1. Разработана математическая модель теплопередачи в системе терморегулирования КА с жидкостным контуром в виде системы нелинейных алгебраических уравнений.

2. Разработано программно-алгоритмическое обеспечение, основой которого является разработанная автором математическая модель, предназначенная для выполнения расчетов при проведении работ по проектированию систем терморегулирования перспективных космических аппаратов.

3. Выполнены испытания негерметичных КА с целью определения температур в характерных точках элементов конструкции аппаратов. Результаты испытаний использовались для обоснования достоверности результатов математического моделирования процессов теплопередачи в КА с использованием разработанной автором диссертации математической модели.

Практическая значимость

Диссертация Ф.В. Танасиенко имеет достаточно очевидную практическую направленность. Разработанные автором математическая модель и программно-алгоритмическое обеспечение использованы для обоснования технических решений при анализе различных схем терморегулирования нескольких космических аппаратов.

Замечания по диссертации

1. Во введении автор, анализируя процесс нагрева КА, отмечает (стр. 4), что «в связи с этим тепловая нагрузка имеет нестационарный характер». Но в дальнейшем решается задача теплопередачи в стационарном режиме. Остается открытым вопрос о том, что хотел автор подчеркнуть в этом утверждении.

2. При анализе степени разработанности темы исследования автор почему-то не упоминает о полученных еще в конце прошлого века при выполнении совместных работ сотрудниками НИИ ПММ Томского государственного университета и НПО

«Прикладной механики» фундаментальных результатов по моделированию процессов теплопереноса в приборных отсеках космических аппаратов в негерметичном исполнении, хотя в списке литературы ссылки на три статьи членов этого коллектива исследователей есть.

3. При постановке задач исследования ни во введении, ни в заключительной части первой главы автор не обосновывает выбор в качестве объекта исследования СТР с жидкостным контуром. Но еще в 90-е годы прошлого века было установлено, что для КА любого назначения перспективны системы обеспечения теплового режима КА на основе тепловых труб, которые обеспечивают, в отличие от систем с жидкостными контурами, существенно большую длительность эксплуатации космических аппаратов. В рецензируемой диссертации нет оценок, которые бы обосновывали преимущества СТР с жидкостными контурами.

4. При постановке задач диссертации автор в конечном итоге формулирует математические модели в виде системы алгебраических уравнений. Использование таких моделей обосновано в полной мере только для элементов конструкции, изготовленных из материалов с очень высокой теплопроводностью. Типичные же сотовые панели, используемые при изготовлении приборных отсеков КА, имеют пористую структуру. Соответственно, их эффективная теплопроводность во много раз меньше теплопроводности алюминия, из которого изготовлены эти панели, и по толщине панелей возможны перепады температур, при которых балансные математические модели недостаточно точны даже в стационарных режимах теплопереноса. Оценок, обосновывающих возможность использования разработанной автором математической модели в виде системы алгебраических уравнений, в рукописи диссертации нет.

5. Не обоснована логика выбора начальных температур излучающих поверхностей – 0°K. Такая температура не может достигаться на поверхности любого современного материала – произойдет его разрушение под действием термических напряжений. Выбор такого нереального значения температуры поверхности усложняет процесс расчета и существенно его замедляет. В тоже время во введении на стр. 4 написано, что «температуры в различных точках поверхности КА в один и тот же момент времени может находиться в диапазоне от – 150°С до +150°С».

6. Вызывает недоумение утверждение «обратим внимание, что система полностью определена по числу неизвестных». Разве возможно обратное?

7. Автор использует достаточно часто терминологию, которая существенно отличается от общепринятой, что усложняет процесс анализа содержания диссертации. Например: «Толщину эквивалентного термического сопротивления» (стр. 111), «параметры температур», «на основе системы тепловых дифференциальных балансов комплексной теплопередачи», «следующей системой уравнений процессов» и др.

Значимость для науки и практики полученных в диссертации Ф.В. Танасиенко результатов, сформулированных положений и выводов сделанные замечания не снижают. Диссертация Ф.В. Танасиенко является законченной научно-квалификационной работой, выполненной автором самостоятельно, содержит результаты теоретических и экспериментальных исследований, соответствующие критерию новизны. На основании анализа содержания рукописи диссертации можно сделать вывод, что в ней приведено новое решение задачи из области разработки

научных основ интенсификации процессов теплообмена в космических аппаратах, имеющей существенное значение для развития научного направления «Тепловая защита космических аппаратов».

Автореферат диссертации полностью соответствует тексту рукописи, которая написана в доказательном стиле и хорошо иллюстрирована. По теме диссертации автором опубликовано пять статей в журналах, рекомендованных ВАК Минобрнауки для публикации материалов кандидатских и докторских диссертаций, получено два патента РФ на способ контроля работы системы терморегулирования космического аппарата и на способ изготовления системы терморегулирования космического аппарата. Диссертация хорошо апробирована на международных и всероссийских научных и научно-практических конференциях.

Заключение о соответствии диссертации критериям.

На основании анализа содержания рукописи и автореферата диссертации Ф.В. Танасиенко «Математическое моделирование жидкостных систем терморегулирования перспективных космических аппаратов» можно сделать обоснованное заключение о том, что она соответствует требованиям П.9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ №842 от 24.09.2013 (ред. от 01.10.2018), а ее автор Федор Владимирович Танасиенко заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника.

Главный научный сотрудник
НОЦ И.Н. Бутакова
Инженерной школы энергетики
Федерального государственного автономного
образовательного учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский
Томский политехнический университет»,
доктор физико-математических наук,
профессор

 Кузнецов Гений Владимирович

Адрес: 634050, г. Томск, пр. Ленина, д.30,
ФГАОУ ВО НИ ТПУ, тел.: 8 (3822) 60-63-33,
tpu@tpu.ru; <http://www.tpu.ru/>
E-mail: marisha@tpu.ru
тел.: 8(3822)60-62-48

27.11.2019

Подпись Г.В. Кузнецова удостоверяю:

Ученый секретарь Национального
исследовательского Томского
политехнического университета




Ананьева Ольга Афанасьевна