

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»



660041, РОССИЯ, Красноярск, проспект Свободный, 79
телефон (391)2-44-82-13, тел./факс (391)2-44-86-25
http://www.sfu-kras.ru, e-mail: office@sfu-kras.ru

30.10.2019 № _____
на № _____ от _____

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе ФГАОУ ВО
«Сибирский федеральный университет»,
кандидат философских наук,

Р.А. Барышев

30 октября 2019 года



ОТЗЫВ

ведущей организации о диссертации Танахиенко Федора Владимировича
«Математическое моделирование жидкостных систем терморегулирования перспективных
космических аппаратов»,
представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук
по специальности 01.04.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника

Актуальность темы диссертационного исследования. Развитие методов и средств моделирования и проектирования сложных тепло- и массообменных систем для различных областей применения в настоящее время является важным научным направлением. Необходимость детального теоретического изучения особенностей теплофизических процессов в таких системах обуславливает потребность разработки новых математических моделей, позволяющих адекватно оценивать показатели режима работы и производительности.

Целью диссертации Ф.В. Танахиенко является теоретическое и экспериментальное исследование процессов теплообмена и теплопередачи в жидкостном контуре системы терморегулирования (СТР) космического аппарата, а также разработка соответствующего программно-алгоритмического обеспечения для проектирования систем терморегулирования.

Актуальность данной работы обусловлена необходимостью детального исследования процесса конвективного теплообмена в техническом приложении систем терморегулирования, необходимостью создания достоверной расчетной математической модели для жидкостного контура СТР, а также возможным практическим применением полученных результатов при расчете и проектировании СТР.

Анализ содержания диссертации. Диссертация Ф.В. Танахиенко состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Объем диссертации составляет 157 страниц машинописного текста, список использованных источников содержит 117 наименований.

Первая глава фактически является методической основой работы. В ней представлен анализ современного состояния развития систем терморегулирования космических аппаратов различных типов, а также методов их расчета и проектирования. Особое внимание уделяется оценке специфики математического моделирования СТР КА.

Во второй главе представлена методика проведения термобалансных испытаний системы терморегулирования с целью получения экспериментальных данных для апробации и верификации расчетной модели. Представлено описание используемой системы измерений, методика обработки и анализа экспериментальных данных.

В третьей главе приведено описание разработанной автором математической модели комплексной теплопередачи между сотопанелями с тепломассообменной связью. Представлена система уравнений комплексной теплопередачи в сотопанели космического аппарата с

теплообменной связью через активный жидкостный контур. Для структуризации систем теплового баланса обоснован и предложен метод приведения нелинейных изотермических поверхностей к линейным изотермическим эквивалентам. На основе решения дифференциального уравнения энергии температурного пограничного слоя получено соотношение для оценки локального коэффициента теплоотдачи.

В четвертой главе приведено описание разработанных алгоритма и программы расчета для расчета комплексной системы терморегулирования с жидкостным контуром. Проведена верификация расчетного алгоритма на основе экспериментальных данных. Представлены результаты вычислительных экспериментов по анализу влияния различных параметров на режим работы системы терморегулирования.

В заключении сформулированы основные полученные в диссертации результаты и выводы.

Новизна полученных результатов. Научная новизна диссертационной работы состоит в следующих положениях:

- создана новая математическая модель комплексной теплопередачи в жидкостном контуре системы терморегулирования, дополненная новым соотношением для оценки локального коэффициента теплоотдачи, полученным на основе решения дифференциального уравнения энергии температурного пограничного слоя;

- предложено новое решение для уравнения теплопередачи на основе термических сопротивлений, определяющее эквивалент термического сопротивления на теплообменных и адиабатных поверхностях сложной топологии;

- получен алгоритм и разработана программа расчета системы терморегулирования на основе модели натурального образца космического аппарата, позволяющие на ранних этапах проектирования рассчитывать общеинтегральные параметры системы, проводить моделирование реакций системы на определяющие конструкторские и режимные параметры.

Теоретическая значимость работы заключается в разработке новой математической модели процесса теплообмена и теплопередачи в жидкостных системах терморегулирования космических аппаратов. Представленный подход приведения нелинейных изотермических поверхностей к линейным эквивалентным термическим сопротивлениям позволяет сократить вычислительную сложность задачи расчета теплопередачи для теплообменных аппаратов сложного конструктивного исполнения.

Полученное на основе решения дифференциального уравнения энергии температурного пограничного слоя соотношение для оценки локального коэффициента теплоотдачи может быть использовано в расчетных моделях процесса конвективного теплообмена.

Работа имеет существенное значение для теории математического моделирования теплофизических процессов в конвективных жидкостных теплообменных контурах систем терморегулирования.

Практическое значение работы заключается в возможности применения полученных результатов для разработки и создания жидкостных систем терморегулирования перспективных космических аппаратов. Результаты могут быть использованы для построения расчетных методик проектирования и оптимизации теплообменных систем с жидкостным контуром.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационной работы. Полученные Танасиенко Ф.В. результаты могут применяться в исследованиях теплообменных систем для различных практических приложений, проводимых в Сибирском федеральном университете, Национальном исследовательском Томском государственном университете, Национальном исследовательском Томском политехническом университете, Казанском национальном исследовательском техническом университете, Московском государственном техническом университете, Сибирском государственном университете науки и технологий, а также в других организациях РФ и за рубежом. Результаты также могут быть использованы на предприятиях, ориентированных на проектирование и производство космических аппаратов (АО "НПО Лавочкина", АО «ЦНИИмаш», АО «ИСС», РКК «Энергия» и др.).

Достоверность и обоснованность результатов и выводов работы подтверждается использованием проверенных технологий математического моделирования, систематической верификацией используемых для моделирования алгоритмов, сопоставлением данных моделирования с экспериментальными данными. Автор корректно использует известные научные методы обоснования полученных результатов, выводов и рекомендаций.

Работа выполнена автором самостоятельно на высоком научном уровне. Результаты работы обоснованы и достоверны, обладают научной новизной и практической значимостью. Содержание диссертации, научные положения и сформулированные выводы дают основание считать, что цель исследования достигнута, а поставленные в диссертации задачи успешно решены. Автор диссертационной работы демонстрирует на высоком уровне владение методами моделирования, вычислительной математики, теории теплообменных процессов. Экспериментальные исследования выполнены качественно, с применением современных методов получения и обработки экспериментальных данных.

Результаты работы прошли достаточную апробацию и представлены в печатных изданиях, в том числе в рецензируемых научных журналах по профилю работы.

Тематика и содержание работы соответствуют паспорту специальности 01.04.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника (физико-математические науки) по п. 1. – Фундаментальные, теоретические и экспериментальные исследования молекулярных и макро свойств веществ в твердом, жидком и газообразном состоянии для более глубокого понимания явлений, протекающих при тепловых процессах и агрегатных изменениях в физических системах и п. 2. – Исследование и разработка рекомендаций по повышению качества и улучшению теплофизических свойств веществ в жидком, твердом (кристаллическом и аморфном) состояниях для последующего использования в народном хозяйстве.

Личный вклад автора состоит в участии определения цели и задач исследования; самостоятельной разработке математической модели комплексной теплопередачи в СТР с жидкостным контуром; проведении численных исследований характеристик жидкостного контура; создании программно-алгоритмического обеспечения для проектирования СТР КА; непосредственном участии в термобалансных испытаниях КА; формулировании положений, вынесенных на защиту. Соотношение для оценки локального коэффициента теплоотдачи было получено автором совместно с научным руководителем.

Содержание автореферата соответствует основным положениям диссертации.

Замечания:

1. Для разработанной математической модели комплексной теплопередачи в системе терморегулирования с жидкостным контуром не приведены основные допущения, не указана граница области ее применения.
2. В работе нет данных по анализу сходимости численного алгоритма. Что является критерием сходимости?
3. Не выяснен вопрос по оптимизации значения расхода и объема заправки теплоносителя в части обеспечения массоэнергетического совершенства системы терморегулирования.
4. В главе 1 отсутствует расшифровка ряда вводимых обозначений и понятий, что затрудняет чтение.
5. План вычислительного эксперимента (п. 4.2.6, стр. 132) недостаточно обоснован.
6. Имеются отдельные замечания к оформлению графиков и схем. На рис. 4.13 нет обозначения осей. Для рис. 4.2, 4.3, 4.5 не указана размерность представленной величины.
7. Необходимо пояснить понятие «КПД радиатора» (стр. 75).

Высказанные замечания не имеют принципиального значения и не влияют на общую положительную оценку работы.

Заключение. Работа Танасиенко Ф.В. посвящена развитию теории и практики математического моделирования теплофизических процессов в конвективных жидкостных теплообменных контурах систем терморегулирования космических аппаратов, разработке соответствующих алгоритма и программы расчета, соответствует паспорту специальности 01.04.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника, имеет внутреннее единство и является

завершённой научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных лично автором исследований, обладающих научной новизной, решена задача прикладной теплофизики по совершенствованию проектирования космических аппаратов, имеющая важное значение для экономики страны.

Диссертация Танахиенко Ф.В. отвечает требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (в редакции от 01 октября 2018 г.), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника.

Отзыв обсужден и одобрен на заседании кафедры теплотехники и гидрогазодинамики Политехнического института Сибирского федерального университета (протокол № 8 от 29 октября 2019 г.).

**Зав. кафедрой теплотехники и гидрогазодинамики,
Почетный работник науки и техники РФ,
профессор, д-р техн. наук по специальностям:
01.04.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника
01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы**

Владимир Алексеевич Кулагин

Сведения об организации:

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Сибирский федеральный университет»
660041, Красноярский край, г. Красноярск, пр. Свободный, 79
Тел.: +7 (391) 206-22-22; 244-86-25,
Адрес электронной почты: office@sfu-kras.ru
Адрес официального сайта: <http://www.sfu-kras.ru>

30.10.2019 г.