

ОТЗЫВ

официального оппонента, профессора, доктор технических наук Попова Виктора Сергеевича на диссертационную работу Полякова Павла Олеговича «Обеспечение тепловых режимов радиолокационных систем летательных аппаратов с применением плоских тепловых труб», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.03 – «Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов»

Актуальность темы диссертации и соответствие специальности.

Диссертационная работа посвящена тепломассообменным процессам и методам их интенсификации в системах охлаждения приемо-передающих модулей высокочастотных активных фазированных антенных решетках (АФАР), изготавливаемых с использованием ультратонких плоских тепловых труб. Развитие миниатюризации и повышение производительности авиационной электроники ведут к увеличению ее мощности, что обуславливает рассеивание тепла в ограниченном пространстве с высоким тепловым потоком. Поэтому обеспечение и поддержание необходимых тепловых режимов радиолокационных систем является актуальной проблемой.

Тепловые трубы являются надежными и эффективными компонентами теплопередачи и широко используются для теплового управления электронными устройствами из-за их высокой теплопроводности. Проблема высокого теплового потока неизбежно возникает в сверхтонких радиоэлектронных компонентах, поскольку их мощность постоянно увеличивается. Это ведет к тому, что, обычно, сечение данных труб выполняют отличными от кругового, чтобы обеспечить наибольшую площадь теплового контакта и соответствовать размерам и конструктивным требованиям электронных устройств. Соответственно, плоские тепловые трубы незначительной толщины используют для обеспечения, как компактности, так и эффективности теплопередачи. Такие трубы представляют собой камеру малой толщины, заполненную двухфазной рабочей жидкостью, и функционирует аналогично обычным тепловым трубам,

П.А.А.

но первые предполагают более сложный транспортный механизм при малой толщине.

Научная новизна диссертационного исследования обуславливается требованиями создания надежных инженерных решений и методик их расчета для интенсивного охлаждения высокочастотных бортовых радиолокационных систем. Диссертация в первую очередь ориентирована на создание оптимальных систем отвода тепла и разработку эффективных методов охлаждения бортовых АФАР, которые позволят обеспечить интенсивное локальное охлаждение от теплонагруженных радиоэлектронных компонентов, что крайне важно для разрабатываемых и эксплуатируемых в настоящее время летательных аппаратов.

Учитывая указанное, выше можно констатировать, что тема диссертационной работы соискателя Полякова Павла Олеговича является **актуальной, научно значимой и соответствует специальности 05.07.03 – «Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов».**

Структура и содержание диссертационной работы. По своей структуре диссертация представляет рукопись, включающую: введение, четыре главы, заключение, список литературы и приложения. Содержание работы изложено на 129 страницах машинописного текста и включает 75 рисунков.

Во введении автором обосновывается актуальность темы исследования, а также приводится анализ проблем обеспечения отвода тепла и применение плоских тепловых труб в активных фазированных антенных решетках.

В первой главе диссертационной работы описано современное состояние по существующим разработкам в области исследования. Приведены основные цели и задачи исследования, а также представлен краткий патентный обзор по различным системам терморегулирования АФАР, где могут применяться тепловые трубы.

Во второй главе приводится описание спроектированных вариантов конструкций приемо-передающих модулей бортовых АФАР, которые выполнены со встроенными плоскими тепловыми трубами. Применение такой геометрии позволяет использовать такие системы при плотной компоновке.

Использование плоских тепловых труб в составе конструкций приемо-передающих модулей позволит реализовать эффективное охлаждение активных радиоэлектронных компонентов и, таким образом, увеличить срок наработки на отказ и повысить стабильность радиотехнических характеристик АФАР. Данные варианты выполнены на основе существующих конструкций. Суммарная мощность тепловыделения каждого из предложенных вариантов конструкций приемо-передающих модулей бортовых АФАР составляет 80 Вт.

В третьей главе представлены результаты моделирования процессов тепломассопереноса в плоских тепловых трубах, которые функционируют в составе спроектированных вариантов конструкции, в том числе определялись пределы их работы. Требования по температуре источников нагрева в тепловых трубах выполняются с достаточно большим запасом.

Соискателем приведено описание возможности применения используемых плоских тепловых труб в составе приемо-передающих модулей, в которых учитывалось расположение тепловыделяющих элементов, моделирующих радиоэлектронные компоненты, их суммарная мощность тепловыделения, толщина тепловой трубы. По результатам расчетов были получены прогнозы о значениях температуры радиоэлектронных компонентов при заданных параметрах мощности тепловыделения. На основе расчетов спрогнозирована возможность применения разработанных корпусов приемо-передающих модулей АФАР на заданные режимы работы.

В модели также учитываются процессы теплопередачи в стенке плоской тепловой трубы, фильтрация теплоносителя в слое капиллярно-пористого материала (фитиля) и моделируется гидродинамика пара в паропроводе. Решение строится для установившихся режимов работы в двумерной области, занятой плоской тепловой трубой, что является допустимым вследствие ее малой толщины. Особенностью предложенной модели по сравнению с известными ранее является предложенный подход к моделированию участков тепловой трубы, на которых достигается капиллярный предел.

Четвертая глава включает в себя описание: технологии изготовления тепловых макетов для приемо-передающих модулей АФАР, учитывающей особенности установки тепловых труб для различных вариантов конструкции, электрический монтаж по разработанному комплекту документации; проверок тепловых макетов на работоспособность по разработанной инструкции; испытаний тепловых макетов с целью определения предельных значений мощностей тепловыделения тепловых эквивалентов для заданных конструктивных вариантов крепления тепловых труб при штатных вариантах пространственного расположения приемо-передающих модулей.

В заключении сформулированы и обобщены основные результаты, полученные в ходе выполнения диссертационного исследования.

Список литературы включает в себя 75 источников.

В приложении диссертации приведены два патента на полезную модель, соавтором которых является соискатель.

На основании вышесказанного можно сделать вывод, что тематика диссертационной работы соответствует современным тенденциям в области проектирования и разработки методов охлаждения перспективных радиолокационных систем летательных аппаратов, мобильных и бортовых авиационных АФАР. В открытой печати данные о применении плоских тепловых труб в аналогичных конструкциях в США и в Китае появились только в последние три года, а по результатам проведенных дополнительных патентных исследований подтверждена патентоспособность, патентная чистота и конкурентоспособность полученных результатов.

Представленная методика может быть использована при решении широкого круга прикладных задач, включающих проектирование перспективных систем терморегулирования бортовых активных фазированных антенных решеток, функционирующих в условиях экстремальных тепловых воздействий.

Достоверность и практическая важность проведенного исследования подтверждаются корректной постановкой исследования на всех его этапах и применением полученных в его рамках результатов для проектирования систем

охлаждения, действующих активных фазированных антенных решеток летательных аппаратов.

Автореферат **правильно и достаточно полно** отражает содержание диссертации. Работа прошла хорошую апробацию на международных и всероссийских научных конференциях, а ее **основные результаты опубликованы** в 8 научных работах и в 2 патентах на полезную модель, в том числе 4 публикациях в изданиях, рекомендованных ВАК, среди которых 3 в изданиях, индексируемых WoS, Scopus (часть в журналах Q1, Q2).

Замечания по диссертационной работе и автореферату:

1. Не указаны модели перспективных летательных аппаратов, в которых приемо-передающие модули могут быть использованы.

2. При установке радиоэлектронной аппаратуры может потребоваться нагрев тепловой трубы, как предложено в патенте, при этом не обсуждается максимальный нагрев без деструкции её структуры. Неясно, не приведет ли это к разгерметизации системы.

3. Предложен подход к описанию эффектов запираания тепловой трубы. Вместе с тем, в работе можно было бы использовать снижение коэффициента проницаемости фитиля.

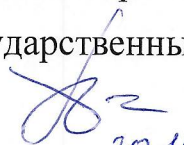
4. По тексту работы встречается незначительное количество несогласованных предложений и опечаток, а также редакционных погрешностей. Например: в диссертации неучтено, что каждая глава должна начинаться с новой страницы, в автореферате ряд ссылок в списке публикаций оформлен без учета рекомендованных требований по ГОСТ Р 7.0.11.-2011.

5. В автореферате следовало бы привести, в списке публикаций, патенты, полученные соискателем и представленные в диссертации. Выходные данные статьи 3 списка работ в рецензируемых изданиях в автореферате приведены не полностью.

Однако, указанные замечания не влияют на общее положительное суждение оппонента о диссертации и ее автореферате.

Оценивая работу в целом, необходимо отметить, что в ней содержится решение актуальной и научно значимой задачи, в сфере проблем прочности и тепловых режимов летательных аппаратов. Результаты диссертационного исследования прошли апробацию на научных конференциях и симпозиумах, опубликованы в профильных журналах ВАК, WoS, Scopus, а технические способы их реализации защищены патентами. Поэтому считаю, что представленная диссертация является законченной научно-квалификационной работой, удовлетворяющей требованиям действующего Положения «О порядке присуждения учёных степеней», а ее автор, Поляков Павел Олегович, **заслуживает** присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.03 – «Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов».

Официальный оппонент, профессор,
доктор технических наук, профессор кафедры
«Прикладная математика и системный анализ»
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Саратовский государственный технический
университет имени Гагарина Ю.А.»

 Попов Виктор Сергеевич
20.11.2020 г.

Адрес места работы: 410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77.
Тел.: +7 (927) 162-68-26.
E-mail: vic_p@bk.ru

Научная специальность, по которой защищена докторская диссертация:
01.02.06 – «Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры».
Ученое звание профессора по кафедре «Теплогазоснабжение, вентиляция,
водообеспечение и прикладная гидрогазодинамика».

Подпись профессора, доктора технических наук Попова Виктора Сергеевича
удостоверяю.

Ученый секретарь Ученого совета
СГТУ имени Гагарина Ю.А.



Н.В. Тищенко