

ОТЗЫВ

официального оппонента Харченко Кирилла Дмитриевича, 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.

Применение радиолокационных станций (РЛС) с активной фазированной антенной решеткой (АФАР), которые являются источниками выделения тепла требуют разработки эффективных способов их охлаждения. Необходимо обеспечить интенсивное локальное охлаждение печатных плат и расположенных на них радиоэлектронных компонентов. На решение этой задачи и направлены исследования, проводимые в данной диссертационной работе.

Цель и задачи диссертационной работы.

Целью диссертации является разработка эффективных способов теплообмена с использованием плоских тепловых труб. Для выполнения намеченной цели в диссертационной работе были поставлены следующие задачи:

- Разработка конструкции приемо-передающих модулей активных фазированных антенных решеток X- и Ka- диапазонов со встроенными плоскими тепловыми трубами для локального охлаждения и отведения тепла.
- Разработка математической модели для теоретического описания процессов теплопереноса в приемо-передающих модулях активных фазированных антенных решеток со встроенными плоскими тепловыми трубами.

- Определение параметров предложенной математической модели на основе экспериментальных исследований плоских тепловых труб.
- Проведение расчетов для оценки эффективности охлаждения разработанных изделий с использованием плоских тепловых труб.
- Экспериментальная проверка эффективности предложенных вариантов конструкций на тепловых макетах приемо-передающих модулей активных фазированных антенных решеток. Экспериментальная проверка достоверности предложенной модели.

Новизна полученных результатов заключается в следующем:

- разработано научно-методическое обеспечение для реализации эффективного локального охлаждения АФАР высокочастотного диапазона с использованием плоских тепловых труб.
- получены тестовые решения задач тепломассопереноса в применяемых капиллярно-пористых материалах, которые использованы для верификации применяемых приемо-передающих модулей (ППМ) бортовых АФАР.
- для рассмотренных вариантов плоских тепловых труб (ТТ) проведено уточненное моделирование процессов тепломассопереноса с учетом эффектов капиллярности, конденсации/испарения теплоносителя и силы тяжести.
- Установлены необходимые характеристики ТТ, включая параметры капиллярного давления и коэффициенты проницаемости, необходимые для проведения моделирования и проектировочных расчетов.
- изготовлены и испытаны тепловые макеты с различными вариантами конструкции для ППМ бортовых АФАР для определения эффективности работы применяемых ТТ в условиях, приближенных к натурным.

Достоверность полученных результатов и выводов обеспечивается проведенными теоретическими расчетами, основанными на строгих подходах

инженерного проектирования с использованием моделей теории тепломассопереноса. Достоверность также подтверждается применением результатов исследований для проектирования систем охлаждения действующих АФАР летательных аппаратов (ЛА), в том числе патентами.

Теоретическая и практическая значимость работы состоит в определении требований к параметрам, разработке методики проектирования и технической реализации систем охлаждения, а также в разработке оптимальной модели и расчете параметров элементов системы охлаждения для аппаратуры с длительным непрерывным циклом работы.

На защиту выносятся следующие положения:

1. Конструктивные решения, обеспечивающие устойчивый отвод тепла с активных сверхвысокочастотных элементов АФАР ЛА. В частности, способ охлаждения на базе ультратонких современных тепловых труб, обеспечивающий интенсивное отведение тепла и равномерное распределение теплового потока по корпусу модуля АФАР.
2. Аналитические и численные решения задач тепломассопереноса в плоских тепловых трубах, построенные с учетом эффектов капиллярности, гравитационных сил, конденсации/испарения. Результаты проектировочных расчетов для применяемых плоских тепловых труб.
3. Результаты экспериментально-теоретических решений по обеспечению тепловых режимов радиолокационных систем ЛА.

Общая характеристика работы. Диссертационная работа изложена на 129 листах и состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы из 75 наименований, 2 приложений; 75 рисунков, 7 таблиц.

Во введении автором формулируются цели и задачи, обосновывается актуальность темы исследования, кратко характеризуются методы теоретического и экспериментального исследований, предложенных в работе.

В первой главе описаны проблемы по отводу тепла в бортовых АФАР ЛА, в том числе проведены: краткий обзор существующих работ и патентных исследований; анализ существующих конструкций и систем отвода тепла АФАР, представляющих интерес для использования в радиолокационной аппаратуре ЛА; описание применения тепловых труб в микроэлектронике и космосе.

Во второй главе приводится описание предложенных вариантов конструкций модулей приема/передачи с применением существующих вариантов плоских тепловых труб. Отличие предложенных тепловых труб от обычных, широко применяемых, например, в компьютерной технике или в космических системах, заключается в их возможности эффективной работы в различных направлениях переноса тепла в условиях гравитации и перегрузок, за счет плоской формы и оптимизированных характеристик фитиля, обеспечивающих высокий уровень капиллярных сил, при невысоких значениях потерь давления.

В третьей главе проводилось численное моделирование для оценки эффективности работы модулей приема/передачи со встроенными плоскими тепловыми трубами. Расчеты проводились на основе связанной модели, учитывающей процессы теплопередачи в стенке корпуса тепловой трубы, гидродинамику пара в паропроводе и фильтрацию по модели Дарси в фитиле. Моделирование было реализовано в системе Comsol. На основе расчетов определялась температура нагрева электронных компонентов и возможность работы ТТ без достижения капиллярного предела, при котором из-за высоких потерь давления нарушается циркуляция теплоносителя.

Были проведены испытания получаемых образцов для выбора оптимальных параметров микроструктуры. Также были проведены испытания ТТ вне приемо-передающих модулей при различных мощностях.

В Четвертой главе приведено описание процессов изготовления и испытаний тепловых макетов, а также дана оценка эффективности работы тепловой трубы в составе приемо-передающего модуля АФАР.

В первую очередь были изготовлены тепловые макеты корпусов приемопередающих модулей. Установка ТТ осуществлялась в заранее подготовленные пазы под конкретные размеры. Устанавливались ТТ как с внешней, так и с внутренней стороны корпусов частично заменив стеклотекстолитовую плату. Малоразмерные электронные элементы были заменены в макете на мощные резисторы, суммарная мощность и расположение которых эквивалентно исходным параметрам модулей. После этого тепловые макеты были проверены на работоспособность.

В главе приведено описание испытаний тепловых макетов с учетом тепловых труб и медных оснований, где существенным является определение предельных значений мощностей тепловыделения при штатных вариантах пространственного расположения АФАР. Испытания показали возможность использования плоской ТТ толщиной 2.2 мм для охлаждения приемопередающих модулей с общей мощностью тепловыделения 80 Вт. Дополнительно испытан тепловой макет, где приведено сравнение с медью. Разница температур ТТ с медным листом составила 10 °С с погрешностью не более 5 %.

В заключении сформулированы основные результаты работы.

Замечания по диссертации

1. Во второй главе, где приведено несколько вариантов конструкции корпусов не приводится сравнение этих вариантов по массе. Нет данного сравнения и в последующих главах, однако в заключении указано, что проведена оценка весовой эффективности различных вариантов. При существующей, жесткой весовой политике узлов и агрегатов на летательных аппаратах, сравнение предложенных автором вариантов конструкции корпусов выглядело бы логичным и сделало исследование более полным.
2. В п. 3.2 на стр. 44 и в п. 3.5 на стр. 81 указано, что реализация численного решения производится с помощью метода конечных элементов, однако не

указано, какие типы конечных элементов использованы и ничего не говорится о сходимости решения.

3. В формуле 3.1 присутствует параметр l_{eff} – эффективная длина, состоящий из величин l_e, l_a, l_c но не поясняется, что это за величины
4. На стр. 43, при описание краевой задачи вводится параметр t , но не расшифровывается, что это за параметр
5. В работе не описываются условия работы предложенных вариантов конструкций при пониженных температурах, с чем непременно столкнутся в реальной эксплуатации.
6. На стр. 39 для значения теплопроводности воды единицы измерения указаны два раза
7. Автор диссертации допускает грамматические неточности типа «...проводить для **наиболее** сложного случая **наиболее** работы...» (страница 39), «первоначально выбранными параметрами...» (страница 42), «расчет для **рассматриваемой** структуры...» (страница 42), «остается на **достаточно** высоком уровне...» (страница 42), «на начальном этапе **были** подготовлены...» (страница 97), «в связи с этим **были** разработаны...» (страница 106).

Перечисленные замечания не снижают научной ценности диссертации и не ставят под сомнение полученные результаты.

Заключение официального оппонента

Представленная к защите диссертация является законченной научно-квалификационной работой. Она написана грамотным научным языком и хорошо оформлена. Работа выполнена на актуальную тему и обладает научной новизной.


Основные положения и результаты диссертации являются новыми и достоверными, выводы обоснованы. По результатам диссертации сделаны 4

доклада на российских и международных конференциях, а также опубликованы 4 статьи в рецензируемых журналах из перечня ВАК.

Диссертация соответствует всем требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 года, 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

Харченко Кирилл Дмитриевич
кандидат физико-математических наук,
начальник бригады «Автоматизированных расчетов прочности»
Публичного акционерного общества
«Авиационная холдинговая компания «Сухой»
Адрес места работы:
125284, Россия, г. Москва, улица Поликарпова, д. 23Б
E-mail: work.air.fly@gmail.com
Телефон: +7 (495) 941-79-38
Специальность ВАК, по которой защищена
диссертация – 01.02.04 «Механика
деформируемого твердого тела»


К.Д. Харченко
20.11.2020

Подпись Харченко К.Д. заверяю.

Начальник Центра кадрового сервиса




Т.Л. Дмитриев