

ОТЗЫВ

официального оппонента Кишкина Александра Анатольевича
на диссертацию **Соколова Никиты Юрьевича**
на тему "Улучшение характеристик системы тепловых труб для охлаждения
радиоэлектронного оборудования"
по специальности 2.4.6 – Теоретическая и прикладная теплотехника
на соискание учёной степени кандидата технических наук.

Актуальность работы обусловлена сложностью задачи охлаждения современных электронных систем, которые выполняют передачу, хранение и обработку информации. Проектирование систем охлаждения требует расчета и выбора конструктивных параметров, включая использование тепловых труб. Исследование большого числа реальных конструкций с тепловыми трубами и их моделей показывает, что подавляющее большинство разрабатываемых систем охлаждения радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) используют прямую схему соединения (радиоэлемент – тепловая труба – радиатор). Это объясняется применением идеальной одномерной модели тепловой трубы при проектном расчете, которая учитывает теплопередачу в двух двухслойных пластинах с идеальной связью. Упрощенное представление тепловой трубы подтверждает необходимость выбора прямой или параллельной схемы соединения тепловых труб. По мнению автора диссертационной работы, хотя тепловые трубы являются конструктивно простыми устройствами, передача тепла в них осуществляется с помощью сложных физических процессов: теплопередача, фазовый переход, газодинамический процесс течения парового тракта и т.д. Расчет которых необходим для проектирования этих устройств и систем охлаждения в целом. Большое разнообразие конструктивных исполнений РЭА и жесткие условия эксплуатации практически полностью исчерпали возможности опытно-технологических методов проектирования охлаждающих систем и требует развития расчетно-математического аппарата моделирования систем тепловых труб. Это особенно актуально для улучшения характеристик систем охлаждения радиоэлектронного оборудования космических аппаратов. Данной области исследования и посвящена рассматриваемая диссертационная работа.

Основные идеи диссертации заключаются в разделении между тепловыми трубами перепадов гидростатического давления и температур, что позволило использовать пористые структуры с увеличенными капиллярными радиусами, такие как составные фитили с канавками закрытыми пористым металлическим материалом. Увеличение

радиуса капилляров позволило снизить гидравлические потери, что способствовало увеличению локального теплового потока от радиоэлемента. Для тепловых труб с водой в качестве теплоносителя существует зависимость максимально отводимой мощности от температуры. Таким образом, при наличии градиента в зоне соединения, верхние уровни тепловых труб функционируют в более выгодных тепловых режимах. Градиент температур в зоне соединения тепловых труб зависит от площади и является незначительным по отношению к рабочему диапазону температур РЭА.

Результаты, изложенные в данной диссертационной работе, являются новыми, и имеют большое научно-практическое значение. Автор проводит комплексное исследование, используя современные математические методы и программные средства, что позволяет получить детальные результаты и более точные прогнозы. Также, в работе представлен аналитический подход к моделированию тепловых процессов в СТТ состоящей из цилиндрических тепловых труб. Автор доказывает, что исследуемая СТТ способна преодолеть ограничения текущих подходов к охлаждению и значительно улучшить параметры работы радиоэлектронного оборудования. Новыми научными результатами, полученными автором, можно считать следующие.

1. Математически сформулирована и численно решена задача улучшения массогабаритных характеристик СТТ во всем диапазоне рабочих температур, отличающаяся от существующих тем, что критериями оптимизации являются уменьшение массы СТТ и температурного запаса ЭРИ относительно максимально допустимой рабочей температуры, позволяющими преобразовать одиночную ТТ в СТТ с увеличением отводимой мощности.

2. Предложены алгоритм и программа расчета СТТ на основе тактико-технических характеристик модели натурного образца, отличающиеся возможностью на ранних этапах проектирования РЭА рассчитывать общеинтегральные параметры системы, проводить моделирование реакций системы на определяющие конструкторские и режимные параметры с целью оптимизации массогабаритных характеристик и сокращения сроков проектирования.

3. Установлены предельные значения отводимой тепловой мощности к массе СТТ с разными видами теплоносителей в условиях гравитационного поля:

- 667 Вт/кг для СТТ на базе медно-водяных цилиндрических ТТ при вертикальной ориентации на расстоянии 0,11 м от термостабилизированной поверхности с температурой минус 5 °С, 1167 Вт/кг при температуре термостабилизированной поверхности 40 °С;

- 690 Вт/кг для СТТ на базе титановых ГТПС при вертикальной ориентации на расстоянии 0,065 м от термостабилизированной поверхности с температурой 25 °С.

Материалы диссертации изложены на 128 страницах основного текста, список литературы из 108 наименований. По материалам диссертации автором опубликовано 17 печатных работ, из них одна – МБД SCOPUS, 8 — в рецензируемых изданиях по списку ВАК, в которых материалы диссертации отражены достаточно полно. Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

К диссертационной работе имеется ряд замечаний:

1. Результаты расчетов системы тепловых труб, состоящей из цилиндрических элементов, не охватывают полный диапазон рабочих температур РЭА.

2. Новая математическая модель для цилиндрических тепловых труб включает в себя изменения структурной схемы. Однако, подобное изменение структуры в математической модели для системы тепловых труб, состоящих из плоских элементов, не показана.

3. Для определения оптимального соотношения длин в математической модели плоских тепловых труб, необходимо было использовать современные алгоритмы оптимизации.

4. В работе не хватает сводной таблицы, в которую можно было бы включить информацию о том, какие результаты были определены впервые, а какие известны из уровня техники.


Указанные замечания не затрагивают основных выводов и результатов работы. В целом, обоснованность, достоверность и научная новизна сформулированных в диссертации научных положений, выносимых на защиту, и выводов не вызывают сомнений и существенных замечаний. Диссертация Н.Ю. Соколова на соискание ученой степени кандидата технических наук является законченной научно-квалифицированной работой, в которой содержится решение задачи улучшения массогабаритных характеристик системы тепловых труб во всем диапазоне рабочих температур. Полученные результаты имеют важное практическое значение для разработчиков радиоэлектронного оборудования и специалистов в области тепловой техники. Выводы по настоящей диссертации основаны на достоверных экспериментальных данных, обобщениях собственного материала и данных, имеющихся в литературе. Работа

заслуживает высокой оценки и может служить основой для дальнейших исследований и научных разработок в данной области.

Диссертация соответствует требованиям п.9 "Положения о присуждении учёных степеней" постановления Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, а её автор Соколов Никита Юрьевич достоин присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.4.6 - теоретическая и прикладная теплотехника.

Заведующий кафедрой холодильной,
криогенной техники и кондиционирования,
ФГБОУ ВО «Сибирский государственный
университет науки и технологий имени
академика М.Ф. Решетнева»
доктор технических наук, профессор

Кишкин Александр Анатольевич

20.02.24, 

Рабочий адрес: 660037, Сибирский федеральный округ, Красноярский край, г. Красноярск,
проспект им. газеты Красноярский рабочий, 31

Рабочий телефон: +7 (3912) 91-90-93

e-mail: spsp99@mail.ru

Подпись Кишкина А. А. завершено
Ученый секретарь
СибГУ им. М.Ф. Решетнева, Красноярск  Гончаров А.Е.

