

УДК 004.942

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ В ПРИЕМО-ПЕРЕДАЮЩЕЙ АППАРАТУРЕ ФАЗИРОВАННЫХ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК

А. Т. Рыбак, И. К. Цыбрий, И. М. Ермоленко

Донской государственной технической университет (г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация)

Приводится описание разработки конструкции блоков фазированных антенных решеток (ФАР) согласно предъявляемым к ним требованиям эксплуатации. Для проведения исследования теплового анализа блоков применена система автоматизированного проектирования (САПР) SolidWorks Flow Simulation, включающая методику и возможность расчета устройств с помощью конечных элементов. Проведенные расчеты были подтверждены в условиях климатических камер. Результатом исследования стали рекомендации по улучшению технических и эксплуатационных характеристик как антенных фазированных решёток, так и радиоэлектронной аппаратуры, входящей в состав комплекса, в том числе повышению надежности, улучшению массогабаритных показателей.

Ключевые слова: SolidWorks Flow Simulation, фазированная антенная решетка, метод конечных элементов, тепловой поток, конструкции блоков, приемо-передающий модуль, тепловая нагрузка.

INVESTIGATION OF THERMAL MODES OF OPERATION IN THE RECEIVING AND TRANSMITTING EQUIPMENT OF PHASED ANTENNA ARRAYS

A. T. Rybak, I. K. Tsybriy, I. M. Ermolenko

Don State Technical University (Rostov-on-Don, Russian Federation)

The article provides the description of the development of the design of blocks, according to the requirements for the operation of PAA. To conduct the study of thermal analysis of blocks, CAD SolidWorks Flow Simulation was used, which includes the method and calculation of devices using the finite element method. The calculations were confirmed in climate chambers. The study resulted in recommendations for improving the technical and operational characteristics of phased antenna arrays and the REE system that is part of the complex, including increasing reliability and improving mass and size indicators.

Keywords: SolidWorks Flow Simulation, phased antenna array, finite element method, heat flow, design of blocks, receiver-transmitter module, heat load.

Введение. Высокие тактико-технические требования к работе новых радиолокационных комплексов (РЛС) способствовали созданию нового перспективного поколения этих устройств с активной фазированной антенной решеткой. Вследствие этого возникла проблема отвода теплового потока от приемо-передающих модулей (ППМ), входящих в состав антенны. Основными тепловыделяющими элементами модулей являются выходные усилители мощности, средняя тепловая нагрузка блоков составляет более 200 Вт/см^2 . Для их воздушного охлаждения требуются мощные вентиляторы, что увеличивает массу и габариты антенны. Поэтому здесь целесообразно использовать охлаждение за счет кипящей жидкости, т. к. теплоотдача испарением в сотни раз превосходит теплоотдачу конвекцией [1, 2].

В настоящей работе рассматривается спроектированный ППМ, в котором использована система охлаждения на основе тепловых трубок (рис. 1). Трубки расположены под теплонагруженными элементами монолитной интегральной схемы на кристаллах GaAs. Система трубок выводится на общий радиатор, с которого система жидкостного охлаждения антенны отводит тепловой поток [3, 4].

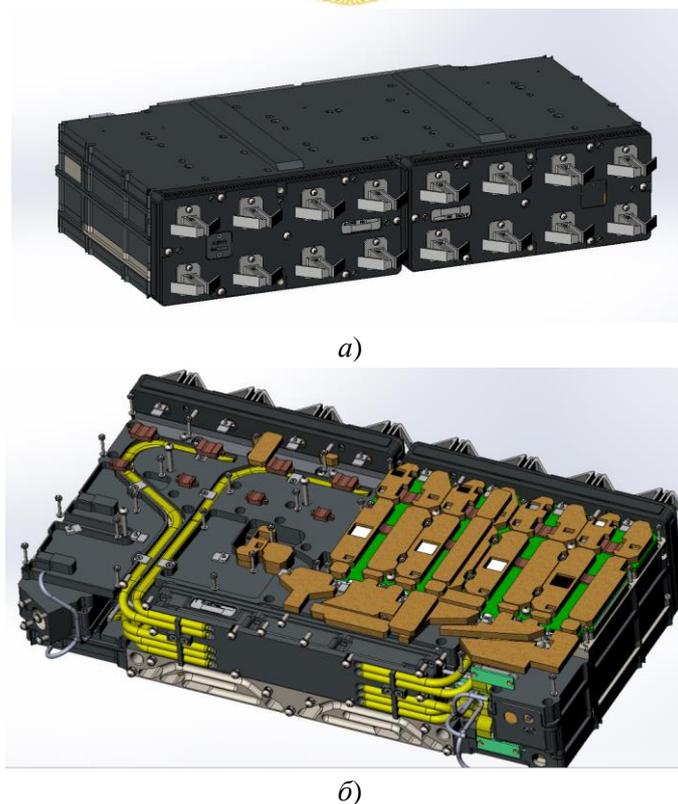


Рис. 1. Конструкция приемо-передающего модуля: а — вид со стороны излучателей;
б — внутренняя компоновка блока

Принцип работы тепловой трубки приведен на рис. 2. Испарительная трубка — это полый металлический стержень, внутренние стенки которого покрыты пористым фитилем, обладающим капиллярным эффектом и способным насыщаться рабочей жидкостью. При нагреве одного конца трубки рабочая жидкость начинает испаряться, и ее пар по внутреннему краю перемещается к противоположному холодному концу. На этом участке происходит конденсация пара, реализуется теплоотдача на стенки трубки, а затем это тепло передается на радиатор. Конденсированная жидкость впитывается в фитиль и вследствие капиллярного эффекта возвращается к горячему концу трубки. Изменение формы сечения тепловой трубки по ее длине незначительно влияет на величину передаваемого теплового потока, а процесс кипения обеспечивает стабильность температурного режима. Как только температура жидкости достигает точки кипения, она стабилизируется, и температура нагретого тела становится близкой к точке кипения жидкости. Изделие не может перегреться в связи с тем, что между жидкостью и поверхностью нагреваемого элемента образуется пар.

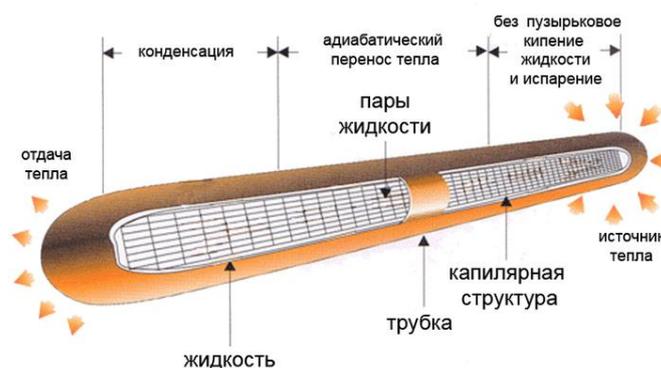


Рис. 2. Принцип работы тепловой трубки

Основная часть. В научных исследованиях и при конструировании блоков применяются САПР инженерного анализа, основанные на методе конечных элементов (МКЭ) [5, 6]. Примером в данном случае выступает программный комплекс SolidWorks Flow Simulation, а МКЭ здесь является методикой математического моделирования физических процессов (рис. 3).

В программном модуле SolidWorks Flow Simulation был промоделирован ППМ. При этом заданы условия эксплуатации, максимально близкие к реальным условиям работы блока, чтобы провести расчеты и интерполяцию полученных данных [7].

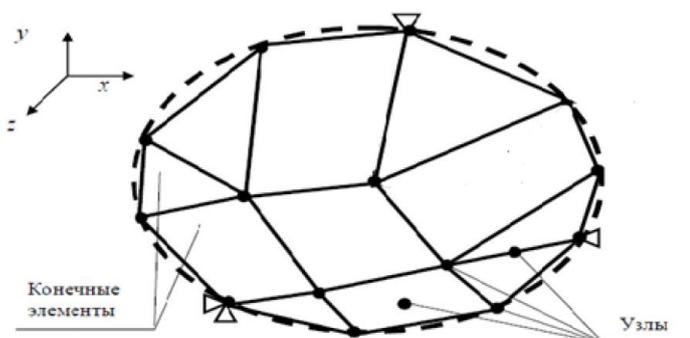


Рис. 3. Конечно-элементная модель

В исследованиях не использовалась вода в качестве теплоносителя, так как она вступает в реакцию с медью, из которой изготовлены тепловые трубки. Принята наиболее распространённая рабочая жидкость — этиловый спирт с температурой кипения 78°C при нормальном атмосферном давлении (760 мм рт. ст.) Использование тепловых трубок с фитилем обеспечивает рабочую температуру блока 80°C и температуру контактной панели радиатора 65°C (рис. 4).

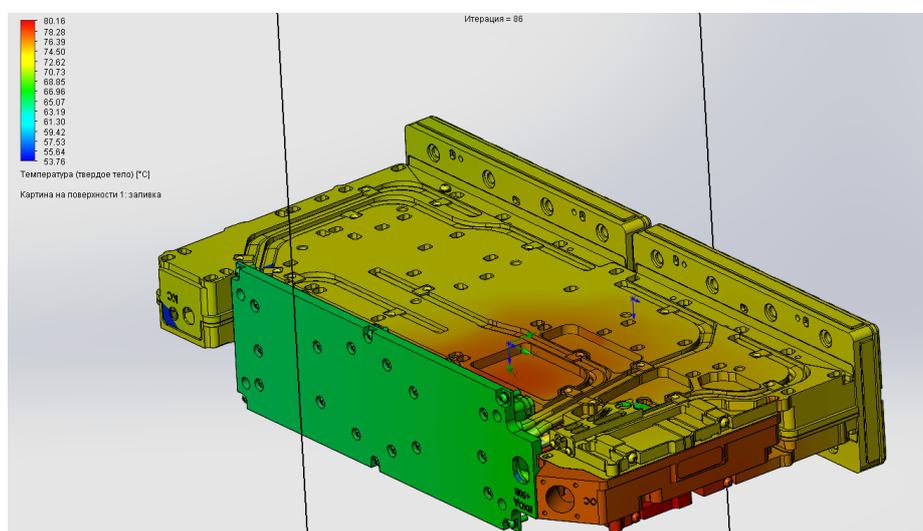


Рис. 4. Поверхностная эпюра температуры блока

Для подтверждения результатов теоретических исследований в программном пакете SolidWorks Flow Simulation блоки подвергались испытанию в климатической камере PSL-4GM (рис. 5) при фиксированных значениях температуры -50 и $+50^{\circ}\text{C}$.



Рис. 5. Установка PSL-4GM: а — общий вид; б — монитор индикации

Испытания на работоспособность и проверку параметров проводили без извлечения из камеры, тепловыделения измеряли с помощью тепловизора TESTO 865 с погрешностью $\pm 0,12$ °С.

Заключение. Приведенная методика определения температурных параметров подтверждена испытанием в тепловой камере, из которого следует, что конструкция системы охлаждения удовлетворяет требованиям успешной эксплуатации аппаратуры ФАР в составе РЛС и является эффективной. Реализация данной системы охлаждения дает преимущество перед воздушным охлаждением в весе и габаритах устройства.

Библиографический список

1. Ермоленко, И. М. Моделирование процесса охлаждения элементов радиоэлектронной аппаратуры в SOLIDWORKS / И. М. Ермоленко // Инновационное развитие. — 2018. — № 10 (27). — С. 15–17.
2. Гончаров, М. Моделирование тепловых режимов работы аппаратуры силовой электроники в среде SOLIDWORKS FLOW SIMULATION / М. Гончаров, В. Дворников // Силовая электроника. — 2010 — № 25. — С. 98–100.
3. Блохин, А. В. Электротехника : учебное пособие / А. В. Блохин. — 2-е изд. испр. — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2014. — 184 с.
4. Конструкторско-технологическое проектирование электронной аппаратуры : учеб. для вузов / К. И. Билибин, А. И. Власов, Л. В. Журавлева [и др.]. — Москва : Изд-во Мос. гос. тех. ун-та им. Н. Э. Баумана, 2002. — 528 с.
5. Алямовский, А. А. SolidWorks Simulation : Инженерный анализ для профессионалов: задачи, методы, рекомендации / А. А. Алямовский. — Москва : ДМК Пресс, 2015. — 562 с. — URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01008643686> (дата обращения: 10.09.2020).
6. Шабров, Н. Н. Метод конечных элементов в расчетах деталей тепловых двигателей / Н. Н. Шабров. — Санкт-Петербург : Машиностроение, 1983. — 212 с.

7. Температурный расчет трехмерной модели радиоэлектронного блока в программном модуле SOLIDWORKS FLOW SIMULATION / И. М. Ермоленко, И. К. Цыбрий, К. А. Мороз [и др.] // Системы автоматизации в образовании, науке и производстве. AS'2019 : сб. тр. XII Всерос. науч.-практ. конф. — Новокузнецк : Изд-во Сибир. гос. индустр. ун-та, 2019. — С. 317–319.

Об авторах:

Рыбак Александр Тимофеевич, начальник отдела сертификации и профессиональной аккредитации образовательных программ Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), доктор технических наук, профессор, 2130373@mail.ru

Цыбрий Ирина Константиновна, заведующая кафедрой «Приборостроение и биомедицинская инженерия» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук, доцент, irconst@mail.ru

Ермоленко Илья Михайлович, аспирант Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), ermolenko-dstu@mail.ru

Authors:

Rybak, Aleksandr T., Head, Department of Certification and Professional Accreditation of Educational Programs, Don State Technical University (1, Gagarin sq., Rostov-on-Don, RF, 344003), Dr.Sci., Professor, 2130373@mail.ru

Tsybriy, Irina K., Head, Department of Instrumentation and Biomedical Engineering, Don State Technical University (1, Gagarin sq., Rostov-on-Don, RF, 344003), Cand.Sci., Associate professor, irconst@mail.ru

Ermolenko, Ilya M., Post-graduate student, Don State Technical University (1, Gagarin sq., Rostov-on-Don, RF, 344003), ermolenko-dstu@mail.ru