

В.А. Саенко ^{1,2}

¹ ООО "ИЦ "Теплоком"

² Санкт-Петербургский Национальный Исследовательский Университет
Информационных Технологий, Механики и Оптики

Унификация конструкторских решений для построения приемо-передающих модулей АФАР различных диапазонов.

Работа посвящена разработке унифицированных базовых несущих конструкций различного спектра применения, в том числе и в качестве БНК приемо-передающего модуля АФАР различных диапазонов. В работе проведены теоретические исследования, позволяющие предложить наиболее оптимальные конструкторско-технологические решения для создания унифицированных БНК, а также экспериментальные исследования 2-х тепловых макетов. Результаты экспериментальных исследований приведены в виде графиков тепловой и гидравлической характеристики каждого макета, и сравнительных характеристик 2-х макетов.

Ключевые слова: жидкостное охлаждение, канал охлаждения, приемо-передающий модуль АФАР, унификация.

Основной элементной базой приемо-передающих модулей АФАР являются монолитные интегральные схемы на кристаллах GaAs. Достигнутый уровень мощности усилителей на GaAs составляет порядка 10 Вт. КПД лучших твердотельных усилителей СВЧ мощности составляет ~ 25 %, это означает, что 75 % подводимой мощности преобразуется в тепло. Поэтому задача увеличения излучаемой СВЧ мощности сводится к задаче отвода тепловой мощности от активного элемента основного элемента АФАР - приемо-передающего модуля.

Изначально микросхемы с малой мощностью тепловыделений могли использоваться без дополнительных систем охлаждения, затем пришел черед пассивных радиаторов. Увеличение мощности потребовало применения принудительного охлаждения – на радиаторы стали устанавливаться специальные вентиляторы. Применение жидкостного охлаждения позволяет не только снизить рабочую температуру охлаждаемых компонентов, но и уменьшить количество шумов.

Одной из основных целей данной работы была разработка унифицированной базовой несущей конструкции приемо-передающего модуля, учитывающей особенности конструкции и расположения СВЧ микросхем в модуле.

Основным материалом для изготовления жидкостных панелей является алюминий как высокотеплопроводный, легкий, легкообрабатываемый и относительно недорогой материал. Каналы для протекания охлаждающей жидкости могут выполняться различными способами.

В промышленности наиболее широкое применение нашли следующие способы производства панелей охлаждения: каналы охлаждения в алюминиевой плите выполняются

при помощи фрезеровки; алюминиевая конструкция собирается при помощи сварки или вакуумной пайки; каналы в алюминиевой плите выполняются при помощи экструзии; в алюминиевую пластину запрессовываются трубки для протекания охлаждающей жидкости из алюминия, меди или нержавеющей стали.

Стандартные охлаждающие панели используются для охлаждения радиоэлектронной аппаратуры или компьютерной техники и не учитывают особенностей расположения тепловыделяющих элементов в приемно-передающих модулях АФАР различных диапазонов.

В системах охлаждения АФАР чаще всего используются химически агрессивные жидкости, такие как ТОСОЛ А65. Эти жидкости имеют низкую температуру кристаллизации и способны работать в условиях низких отрицательных температур окружающего воздуха.

В качестве материала для изготовления канала охлаждения в данной работе предлагается использовать медную трубку. Форма канала, предложенная для унифицированных БНК, отличается от стандартных труб круглого сечения. В теле пластины фрезеровкой выполняется канал, в который устанавливается медная трубка. После продольной прокатки трубка деформируется до прямоугольного сечения и надежно крепится в канале. Преимущество такой формы каналов состоит в отсутствии дополнительных контактного и кондуктивного сопротивлений, и большей площади контакта между тепловыделяющим элементом и поверхностью охлаждения трубки.

Для исследования теплового режима ППМ было изготовлено 2 тепловых макета, отличающиеся трассировкой канала охлаждения (рис. 1). Конструкция тепловых макетов ППМ представляет собой корпус толщиной до 30 мм, шириной 300 мм и длиной 300 мм, корпус ППМ изготовлен из алюминиевого сплава АМГ3. Толщина рабочей зоны (шасси) ~ 6 мм.

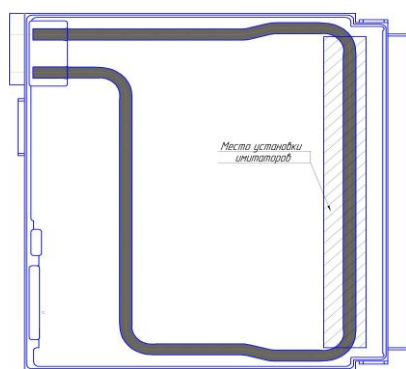


Рис. 1а

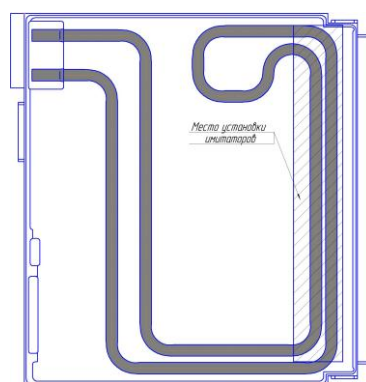


Рис. 1б.

Рис. 1. Трассировка канала охлаждения макета приемно-передающего модуля.

а) одинарный канал охлаждения, б) двоянный канал охлаждения.

Тепловой режим ППМ, рассматриваемого в данной работе, определяется одним элементом – монолитными микросхемами, установленными с двух сторон пластины в один ряд. Имитаторы тепловой нагрузки монтировались над трубкой на поверхности пластины. В качестве имитаторов были выбраны резисторы, установленными на медные фланцы. Общая мощность тепловыделений со всех установленным микросхем составляет 336 Вт.

Для проведения экспериментальных исследований на базе ООО “ИЦ “Теплоком” была собрана экспериментальная установка. Канал охлаждения ППМ включался в замкнутый контур, состоящий из насоса, теплообменного аппарата типа “жидкость - воздух”, расширительного бака, счетчика расхода жидкости, манометров и байпаса, последовательно соединенных трубками. Охлаждающая жидкость с помощью насоса поступала на вход ППМ, проходила по каналу охлаждения, забирая тепло, которое выделяют микросхемы. Нагретая жидкость поступала на радиатор с двумя вентиляторами, где охлаждалась и снова поступала на вход канала охлаждения ППМ (рис. 2).

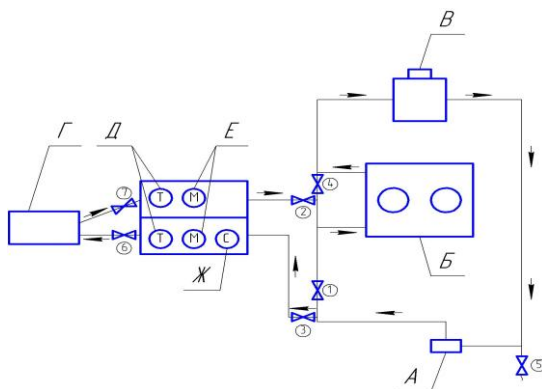


Рис. 2. Схема экспериментальной установки.

А – насос, Б – радиатор с вентиляторами, В – расширительный бак, Г – тепловой макет, Д – термометры, Е – манометры, Ж – счетчик расхода жидкости, 1,2,3,4,5,6,7 – краны.

В ходе опытов измерялись: расход охлаждающей жидкости, перепад давлений между входом и выходом канала охлаждения, температура окружающего воздуха, температура жидкости на входе и на выходе канала охлаждения, значения температуры в точках крепления термопар.

Для обобщения экспериментальных данных строились зависимости теплового сопротивления и перепада статического давления между входом и выходом канала охлаждения от расхода охлаждающей жидкости. После обобщения экспериментальных данных для макета с одинарным каналом охлаждения были выбраны оптимальные значения

расхода охлаждающей жидкости и перепада статического давления, необходимые для обеспечения заданного теплового режима ППМ.

Для уменьшения расхода теплоносителя и снижения нагрузки на систему жидкостного охлаждения была предложена вторая конструкция ППМ (рис. 2б). Преимущество подобной конструкции состоит в том, что канал охлаждения проходит под каждым элементом дважды, т.е. увеличивается эффективность охлаждения. Но увеличение длины канала охлаждения неизбежно приводит к увеличению гидравлического сопротивления канала.

Вторая часть экспериментальных исследований, проводимых в работе, была посвящена исследованию теплового режима теплового макета БНК ППМ со сдвоенным каналом охлаждения.

Для сохранения достоверности проводимых исследований второй опыт проводился в условиях максимально приближенных к условиям первого опыта.

Результаты экспериментальных исследований и сравнений двух макетов представлены на рис. 3,4.

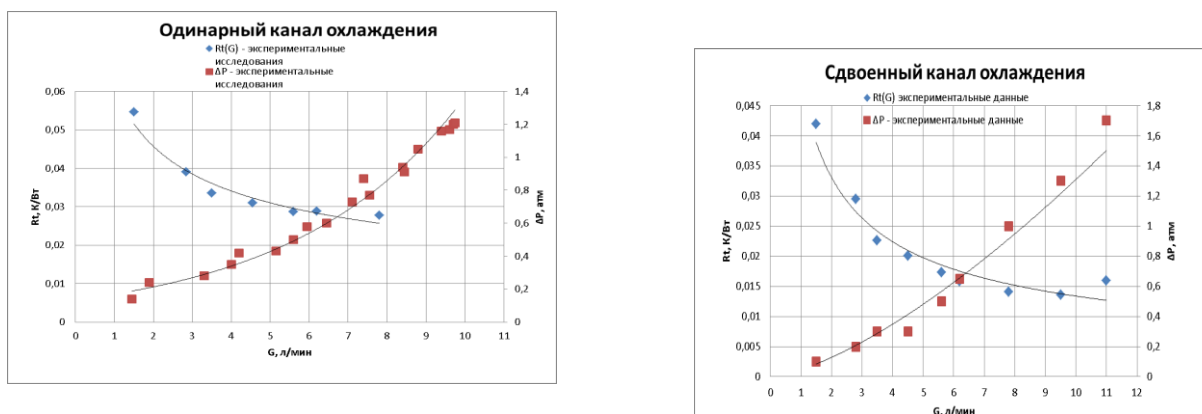


Рис. 3. Обобщение экспериментальных данных

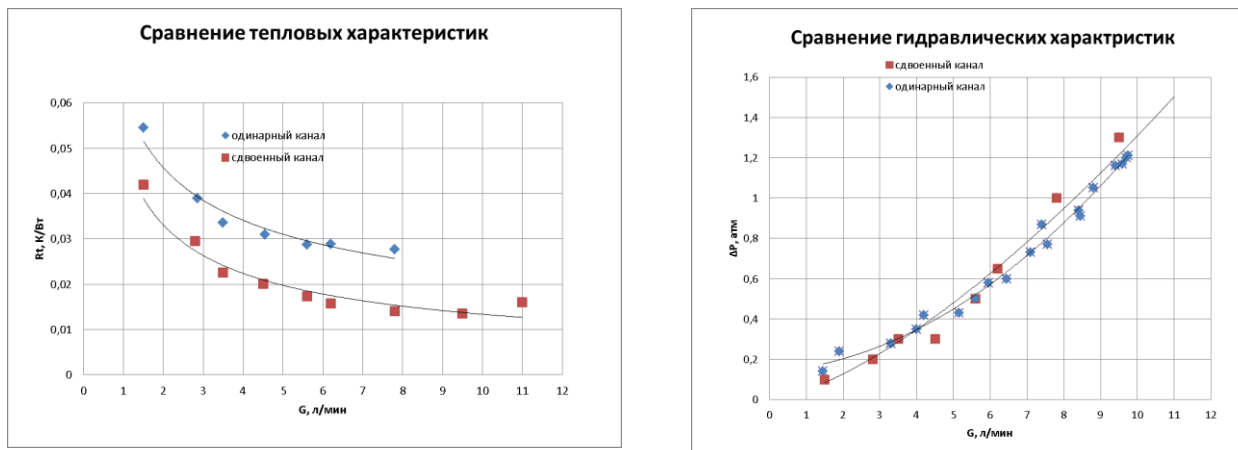


Рис. 4. Сравнение полученных результатов.

В ходе исследования были сделаны следующие выводы:

1. Гидравлическое сопротивление БНК существенно зависит от расхода теплоносителя – при увеличении расхода теплоносителя увеличиваются потери давления между входом и выходом канала.
2. По результатам сравнительного анализа вариант со сдвоенным каналом охлаждения является предпочтительным.
3. Тепловое сопротивление корпуса со сдвоенным каналом охлаждения на 20-30% ниже, чем тепловое сопротивление корпуса с одинарным каналом охлаждения.

Проведенные исследования позволяют сделать вывод о том, что предложенная БНК может быть использована в качестве приемо-передающего модуля АФАР для обеспечения заданного теплового режима.

Библиографический список

1. Активные фазированные антенные решетки: Под ред. Д.И.Воскресенского, А.И.Канащенкова. - М.: Радиотехника, 2004 (Вологда). - 487 с.
2. Волохов В.А, Хрычиков Э.Е, Кигелев В.И. Системы охлаждения теплонагруженных радиоэлектронных приборов - Библиотека радиоконструктора. М., Сов. Радио, 1975, 144 с.
3. Гуськов Ю., Жибуртович Н. АФАР «Фазотрон-НИИР» [Электронный ресурс] /авт. Ю. Гуськов, Н. Жибуртович. – «Фазотрон. Информационно-аналитический журнал». – № 09/2009. – Электрон. журн. – [М.], 2004. – Режим доступа: http://www.missiles.ru/AESA_ph_5.htm, свободный. – Загл. с экрана.
4. Дульнев Г. Н. Тепло - и массообмен в радиоэлектронной аппаратуре: Учебник для вузов по специальности «Конструирование и производство радиоаппаратуры». – М.: Высшая школа, 1984. – 247 с.
5. Дульнев Г. Н. Теплообмен в радиоэлектронных устройствах. – М.- Л: Госэнергоиздат, 1963. – 288 с.
6. Дульнев Г. Н. Основные закономерности тепло- и массообмена. Кондукция: Учебное пособие. – Л: ЛИТМО, 1977. – 76 с.
7. Дульнев Г. Н. Конвекция. Радиация. Массообмен: Учебное пособие. – Л: ЛИТМО, 1977. – 91 с.
8. Дульнев Г. Н., Парфенов В.Г., Сигалов А.В. Методы расчета теплового режима приборов. – М.: Радио и связь, 1990. – 311 с.
9. Дульнев Г. Н., Семяшкин Э. М. Теплообмен в радиоэлектронных аппаратах. – Л.: Энергия, 1968. – 360 с.
10. Дульнев Г. Н., Шарков А. В. Системы охлаждения приборов: Учебное пособие. – Л: ЛИТМО, 1984. – 82 с.
11. Егоров В.И., Казак А.В., Кораблев В.А., Попов Ю.Ю., Пугин И.В., Шарков А.В. Обеспечение теплового режима большеразмерной активной фазированной антенной решетки: Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО, Выпуск 18, 2005. – 38-41 стр.
12. Керн Д., Краус А. Развитые поверхности теплообмена: Пер. с англ. – М.: Энергия, 1977. – 464 с.
13. Кутателадзе С. С. Основы теории теплообмена. – Новосибирск: Наука, 1970. – 659 с.
14. Уонг Х. Основные формулы и данные по теплообмену для инженеров: Пер. с англ. / Справочник. – М.: Атомиздат, 1979. – 216 с.