

---

УДК 621.396.677.494

## **Проблемы создания системы охлаждения активной фазированной антенной решетке сантиметрового диапазона**

**Токмаков Д. И.**

*ОАО «Радиофизика», ул. Героев Панфиловцев, 10, Москва, 125363, Россия*

*e-mail: dimatok87@gmail.com*

### **Аннотация**

Выполнены макеты радиаторов системы жидкостного охлаждения на базе плоских тонкостенных труб. Проведены испытания на герметичность. Проведен анализ конструкции.

**Ключевые слова:** активная фазированная антенная решетка, система охлаждения, тонкостенные трубы.

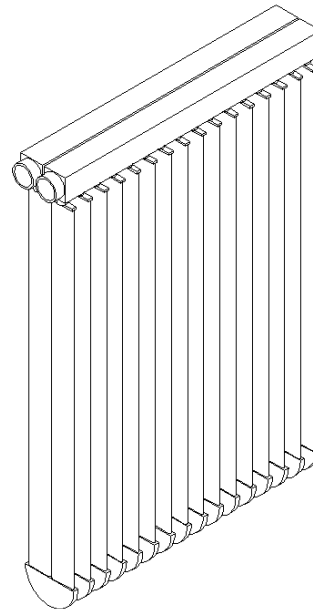
Бурное развитие микроэлектроники, цифровой техники в последние годы привело к тому, что конструкторы радиолокационных станций (РЛС) стали активно разрабатывать цифровые активные фазированные решетки (АФАР), видя в них средства радиолокации с совершенно новыми качествами, которые не могли быть осуществлены в прошлом. Особенностью АФАР является то, что приемо-передатчики размещаются на антенном полотне в каждом излучателе. Поэтому подводимая и выделяемая энергия, а, следовательно, и тепловая, достаточно плотно распределена по антенному полотну. [1]

Если для крупногабаритных стационарных РЛС с АФАР практически нет ограничений по габаритам и массам охлаждающего оборудования и возможно использования воздушной системой охлаждения, то в АФАР мобильного базирования плотности теплового потока возрастают, а места для размещения системы охлаждения становится существенно меньше. Поэтому разработка технических решений, обеспечивающих эффективный теплоотвод от активных элементов интегральных схем сверхвысоких частот (СВЧ), узлов и субмодулей приемо-передающих модулей АФАР X и C диапазонов является актуальной. [1]

Целью работы является решение следующих задач: выбор варианта соединения каналов системы жидкостного охлаждения (СЖО) АФАР с коллекторами, проведение

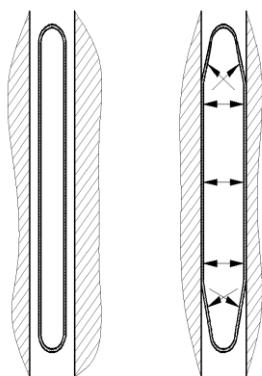
испытаний соединений и анализ полученных результатов. Механические расчеты в данной статье не рассматриваются, учитывается что конструкция удовлетворяет требованиям обеспечения теплоотвода.

Одним из вариантов обеспечения эффективного теплоотвода может быть использование деформируемых тонкостенных металлических каналов с охлаждающей жидкостью (ОЖ). Жидкость под давлением подается в систему и через впускной коллектор поступает в каналы системы охлаждения (вариант радиатора (2 коллектора с каналами из тонкостенных труб) изображен на рис.1).



Далее нагретая жидкость уходит через выпускной коллектор и за тем в теплообменник.

К конструкции радиатора системы охлаждения применяются следующие требования: отсутствие зазора между тонкостенной трубой на ширине в 30мм; надежность соединения;



а б

Рис.2 Схема работы тонкостенной трубы охлаждения; а- труба между стенок в нерабочем состоянии; б – под давлением.

не в зоне контакта было должны быть прижаты ждаемому объекту, в нашем случае модулю АФАР. механическим способом, например клиновыми или ако в современных антенных решетках часто не хватает механизмов. Как вариант можно использовать давление охлаждающей жидкости, которое раздаёт стенки тонкостенных труб каналов системы охлаждения (рис.2,б) и обеспечивает контакт стенок труб со стенками модулей. Для данной работы была выбрана труба из нержавеющей стали 12Х18Н10Т с толщиной стенки 0.25мм. Труба раскатывалась до плоской трубы размерами 45х3.5мм (рис.2).

Рис.1 Пример радиатора охлаждения

В результате проведенных ранее расчетов было получено, что труба секции при зазоре в 0.1 мм

обеспечивала прилегание на требуемой длине в 30мм при давлении в 2ати.

Для проверки результатов расчетов ширины пятна контакта был создан испытательный стенд и макеты труб (рис.3). Стенд представляет собой швеллер с закрепленными на нем уголками, которые образуют канал, равный расстоянию между модулями антенной решетки, и составляющий 4мм. На каждом швеллере существуют отверстия для проверки зазора между тонкостенной трубой и стенкой уголка. Измерения проводились при помощи индикаторного глубиномера с ценой деления 0.01мм (заводской номер 883143). Измерялось расстояние от трубы до стенки уголка при разных давлениях. Результаты замера приведены в таблице 1.

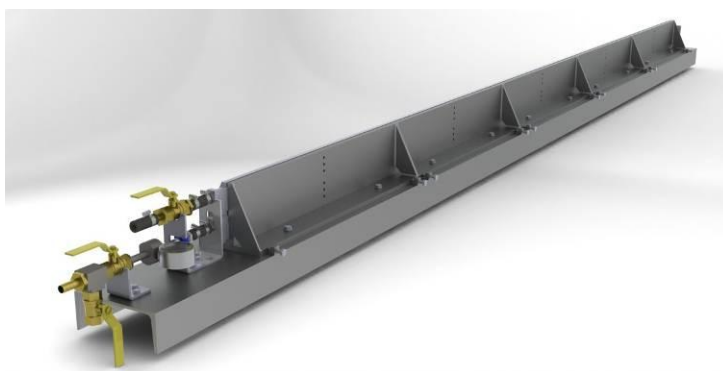


Рис.3 Стенд для испытания секции длиной 3м.

Таблица измерения зазора между трубой и стенкой модуля при разном давлении Таблица 1

| №/п | Толщина стенки оснастки, мм |      |      | Зазор от стенки приспособления до трубы при P=0 ати, мм |      |      | Зазор от стенки приспособления до трубы при P=1.0ати, мм |      |      | Зазор от стенки приспособления до трубы при P=1.5ати, мм |      |      | Зазор от стенки приспособления до трубы при P=2.0ати, мм |      |      |
|-----|-----------------------------|------|------|---|------|------|--|------|------|--|------|------|--|------|------|
|     | 1                           | 2    | 3    | 1   | 2    | 3    | 1  | 2    | 3    | 1  | 2    | 3    | 1  | 2    | 3    |
| 1   | 7.02                        | 7.02 | 7.02 | 0.06  | 0.05 | 0.05 | 0.02   | 0.01 | 0.01 | 0.01   | 0.01 | 0.01 | 0.01   | 0.01 | 0.01 |
| 2   | 7.02                        | 7.01 | 7.02 | 0.06  | 0.06 | 0.05 | 0.01   | 0.01 | 0.02 | 0.01   | 0.00 | 0.00 | 0.00   | 0.00 | 0.00 |
| 3   | 7.01                        | 7.02 | 7.01 | 0.10  | 0.09 | 0.11 | 0.03   | 0.02 | 0.04 | 0.02   | 0.01 | 0.02 | 0.01   | 0.01 | 0.01 |
| 4   | 7.03                        | 7.01 | 7.01 | 0.10  | 0.08 | 0.09 | 0.04   | 0.03 | 0.05 | 0.02   | 0.01 | 0.02 | 0.01   | 0.00 | 0.01 |
| 5   | 7.02                        | 7.02 | 7.02 | 0.06  | 0.04 | 0.06 | 0.02   | 0.02 | 0.01 | 0.00   | 0.00 | 0.00 | 0.00   | 0.00 | 0.00 |
| 6   | 7.01                        | 7.02 | 7.02 | 0.07  | 0.09 | 0.10 | 0.03   | 0.03 | 0.02 | 0.02   | 0.01 | 0.01 | 0.01   | 0.01 | 0.01 |

Как видно из таблицы 1 прилегание обеспечено на длине в 30мм при меньшем давлении, чем расчетное, что удовлетворяет требованиям.

Помимо проверки ширины контакта на данном стенде обрабатывалось паяное соединение тонкостенных труб со штуцерами в составе секции, а так же прочность самой трубы при циклической нагрузке.

Секция собирается при помощи пайки припоем ПСР-40, флюсовой пастой ФК-235 [2]. На паяемые поверхности наносится гальваническое медно-никелевое покрытие, концы труб с обеих сторон облуживаются серебряным припоем Пср-40 на длину 10мм. Процесс пайки производился в активной газовой среде водорода на установке, которая была специально изготовлена инженерами отдела Каримовым Я.Ш. и Токмаковым Д.И. для пайки тонкостенных конструкций из нержавеющей сталей (рис.4). Установка – это простейший электролизер, в котором происходит электрохимический процесс разложения воды на две составляющие:  $H$  – водород и  $O_2$  – кислород. Газовая горелка выполнена в виде авторучки со съемными наконечниками. Мощность потока выходящего газа регулируется напряжением и съемными наконечниками.

При испытаниях секции обнаружались проблемы паяных соединений, которые появлялись при циклической нагрузке трубы. Швы давали течь. Проблема была решена увеличением зоны облуживания до 20мм. После доработки испытания повторились. Секции выдержали по 3000 циклов.

По мимо изготовления секции из труб, существует необходимость соединения труб/секций с коллекторами. В данной работе рассмотрено три варианта соединения. Проблемы возникающие при сборке, описаны в каждом случае.



Рис.4 Установка для пайки водородным пламенем

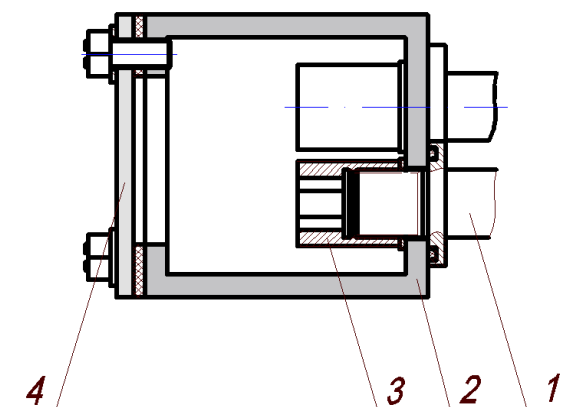


Рис.5 Эскиз соединения коллектора и секции;  
1 – Секция; 2 – Коллектор; 3 – гайка; 4 – крышка

Первый вариант – механическая сборка. Трубы выполняются в виде секций, описанных выше. Далее данная секция 1 устанавливается в коллектор 2 (рис.5) и с обратной стороны затягивается гайкой 3. После чего коллектор закрывается крышкой 4.

Данное соединение имеет недостатки. В результате сборки течь дала соединение крышки с коллектором. Сложность сборки составляет так же малые габариты и требования по температуре, которые значительно ограничивают выбор материалов. Преимущества данной системы в том, что при выходе из строя одной из труб, радиатор можно отремонтировать



Рис.6 Макет радиатора на испытаниях

непосредственно вблизи объекта, поменяв вышедшую из строя трубу на новую, используя обычные инструменты. Так же к недостаткам можно отнести большой массив из гаек, расположенный непосредственно в коллекторе и соответственно охлаждающей жидкости, что может привести к ухудшению гидравлических характеристик системы. (макет радиатора представлен на рис.6)

Во втором варианте соединение труб с коллектором производилось при помощи пайки (рис.7). При пайке возникли следующие трудности. Во-первых, из-за малой толщины трубы, при нагреве, труба начинает деформироваться, тем самым не обеспечивается плотный контакт стенки трубы и коллектора. Необходимо использование дополнительных деталей, удерживающих трубу в месте пайки от деформаций. Пайка производилась вручную. После пайки макет радиатора подвергся испытаниям и несколько паяных швов дали течь. После устранения неисправности испытания повторились. Преимущества данного соединения уменьшение количества деталей и, следовательно, массы конструкции, а так же отсутствие в канале коллектора посторонних объектов как в предыдущем варианте, возможность автоматизации процесса пайки. Недостатками такого варианта являются трудоемкость, отсутствие стабильности швов, а так же хрупкость конструкции, при транспортировке и не аккуратной установке оснастки для испытаний происходили поломки швов.



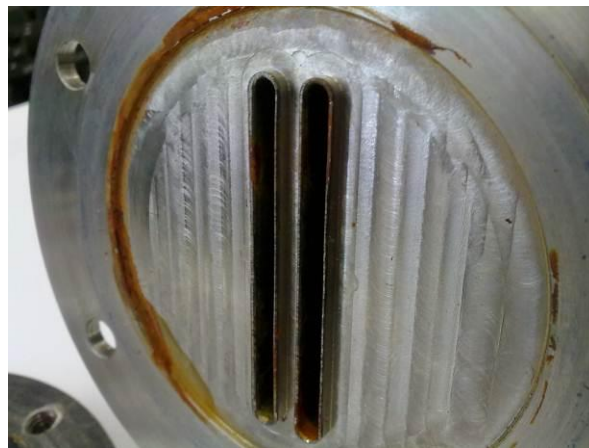


← а ↑ б

Рис.7 Макет паяного радиатора.

а – макет в оснастке;

б – вид паяных соединений изнутри



← а ↑ б

Рис.8 Макет сварного соединения коллектора и трубы.

а – макет;

б – вид сварного шва изнутри

Третий рассмотренный вариант, это лазерная сварка[3]. Сварка производилась на образце (рис.8) по схеме, аналогичной пайке. Образец представляет собой фрагмент стенки коллектора и небольшой отрезок гибкой трубы. Данный вариант был испытан при давлении до 5ати и показал положительные результаты – течь не обнаружена.

Преимущества данного варианта соединения это надежность, относительная простота конструкции, возможность автоматизации процесса и получения одинакового качества шва на всех соединениях. Из-за того что радиатор получается целостной конструкцией, в результате поломки замене подлежит весь радиатор и ремонт возможен только на оборудованных рабочих местах, а именно на заводе изготовителе, что не удобно при эксплуатации вдалеке от возможного места ремонта.

Так же для лазерной сварки, из-за габаритов радиатора, необходимо использовать лазерную установку с горизонтальным лучом и с численно-программным управлением (ЧПУ), для обеспечения автоматизации процесса сварки трубы с коллектором.

**Выводы:** Конструкция системы охлаждения с тонкостенными деформируемыми трубами имеет право на существование, однако требуется более тщательная конструкторская и технологическая проработка, включая использование отличных от материалов, использованных в статье (например 36НХТЮ).

В результате исследований мы получили, что наилучшее соединение обеспечивается за счет использования лазерной сварки, но наиболее доступное и ремонтпригодное – механическое и паяное, описанное первым.

Недостатки конструкции системы охлаждения такого варианта исполнения, это вероятность попадания посторонних предметов в зазор между ППМ и тонкостенной трубой, что может привести к уменьшению пятна контакта, а так же к деформации и разрыву трубы, из-за ее малой толщины, однако данный вопрос возможно решить пылезащитой корпуса антенной системы.

### **Библиографический список:**

1. Крахин О.И., Радченко В.П., Венценов Д.Л.; Методы создания системы отвода тепла теплонагруженных частей ФАР; «Радиотехника»; 2011г; №10;
2. Петрунин И.Е; Физико-химические процессы при пайке; «Высшая школа», г.Москва; 1972; 280с
3. Сварка лазерная импульсная. Соединения сварные точечные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры, ГОСТ 28195-91; г. Москва, 2005, 10с.