



Конструктивные принципы устранения дефектов тепловых режимов инновационных конструкций РЛС

В.К. Федоров

д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Управление инновациями» НИУ МАИ, действ. член Академии проблем качества; Москва

Р.С. Гвоздарев

к.т.н., доцент кафедры «Технология и проектирование радиоэлектронных средств» НИУ МАИ, начальник сектора АО «НПО «ЛЭМЗ»; Москва

Д.А. Рыжов

аспирант кафедры «Управление инновациями» НИУ МАИ, начальник конструкторского отдела ОКБ АО «НПО «ЛЭМЗ»; Москва

Конструктивно радиолокационные станции (РЛС), как известно, состоят из антенного модуля и шкафов управления, выполненных на основе базовых несущих конструкций (БНК), которые предназначены для размещения компонентов РЭС (радиоэлектронных средств) и их функционирования. Использование БНК позволяет обеспечить плотную компоновку, рациональные тепловые режимы, экранирование, повысить надежность и технологичность составных частей и изделия в целом.

С увеличением эффективности и долговечности современных инновационных наукоемких РЛС растет их энергопотребление, а следовательно, происходит увеличение выделения тепловой мощности, устранить влияние которой зачастую бывает довольно сложно.

Способы охлаждения характеризуются *коэффициентом теплоотдачи* $[Вт/(м^2 \cdot ^\circ C)]$, значения которого для различных систем охлаждения приведены ниже.

Основные причины отказов современных РЛС:

- дефекты (или низкое качество) формообразующих деталей – 35%;
- дефекты присоединения монтажных проводов к корпусу – 35%;
- дефекты присоединения проводов в схемах электро монтажа внутриблочных и межблочных – 10%;

Система охлаждения	Коэффициент теплоотдачи $K, Вт/(м^2 \cdot ^\circ C)$
Естественная воздушная, излучением	2 ... 10
Принудительная воздушная	10 ... 150
Естественная жидкостная	200 ... 600
Принудительная жидкостная	300 ... 3000
Испарительная	500 ... 120000

- дефект качества покрытия корпусных деталей – 5%;
- прочие дефекты – 15%.

При анализе причин отхода какого-либо элемента конструкции используются различные методы контроля – первоначально без разрушений, а затем способы контроля с разрушением.

Последовательность действий при анализе причин отказов:

- обнаружение отказа прибора при проверке электронных параметров схем;
- определение типа отказов;
- проверка герметичности корпусов и т. д.

Недостатки применения традиционного воздушного охлаждения:

- низкая эффективность при повышенных тепловых мощностях;
- большие габариты радиаторов;
- высокий уровень шума;
- невозможность использовать при плотной компоновке элементов.

Увеличенное выделение тепловой мощности приводит к тому, что системы воздушного охлаждения становятся недостаточно. Все чаще при проектировании и производстве РЛС к этой системе добавляется система жидкостного охлаждения.

Системы жидкостного охлаждения, как правило, не имеют ограничений при компоновке – отвод тепла от нагретого элемента происходит путем омывания водоблока жидкостью. Традиционно устройство жидкостной системы охлаждения включает теплообменник, радиатор и помпу, соединенные при помощи трубок в замкнутый контур, и плюс вентилятор с невысокими оборотами, выдувающий воздух за пределы корпуса. Тепло от

нагревающегося элемента через теплообменник передается потоку жидкости, движение которого обеспечивает помпа, а охлаждение жидкости происходит в радиаторе [3].

Один из возможных способов целенаправленного отвода тепла от ИТ-оборудования – установка непосредственно на серверные стойки систем охлаждения с воздушно-водяным теплообменником. Подобная система жидкостного охлаждения позволяет отводить мощность тепловых потерь не менее 10 кВт.

Важным требованием к современным приборным шкафам РЭС является высокая плотность компоновки. Это нужно не только для минимизации занимаемой площади, но и потому, что при плотной компоновке эффективнее обобщается тепло, отходящее от установленных в стойку субблоков и ТЭЭ.

Надежность работы радиоэлектроники в большой степени зависит от ее теплового режима. Перегрев отдельных элементов и узлов приводит к изменениям их параметров, ухудшению работы аппаратуры, а иногда и выходу ее из строя [2].

Обеспечение нормального теплового режима работы деталей тем сложнее, чем меньше общие габариты устройства. Часто тяжелые тепловые режимы являются результатом недостаточно продуманной конструкции и монтажа аппаратуры. Так, в некоторых типах РЭС чувствительные к перегреву детали и элементы – полупро-

водниковые приборы, конденсаторы, контурные катушки генераторов и др. – располагались непосредственно над элементами схемы, выделяющими большое количество тепла: электронными лампами, силовыми трансформаторами, сопротивлениями с большой мощностью рассеивания [1].

Чаще конструктивно решается задача удаления избытка теплоты, образующейся в результате саморазогрева аппаратуры. Как известно, передача теплоты от нагретой аппаратуры в окружающую среду осуществляется кондукцией, конвекцией и излучением.

Кондукция – процесс переноса тепловой энергии между находящимися в соприкосновении телами или частями тел за счет теплопроводности тел.

Конвекция – перенос энергии макрочастицами газа или жидкости.

Перенос теплоты излучением происходит за счет превращения тепловой энергии в энергию излучения (лучистая энергия).

При использовании подобной структуры возникают большие сложности с ремонтом и эксплуатацией аппаратуры (в частности, при замене функциональных ячеек), к которой предъявляют требования замены элементов без отключения изделия. Необходима система отводных трубок, через которые при разъединении штуцеров образующаяся жидкость отводится в нужный резервуар. На рис. 2 показан один из возможных вариантов конструктивного соединения тепловой панели с общей магистралью, позволяющий осуществлять замену субблоков без разгерметизации системы и попадания охлаждающей жидкости на элементы РЭС.

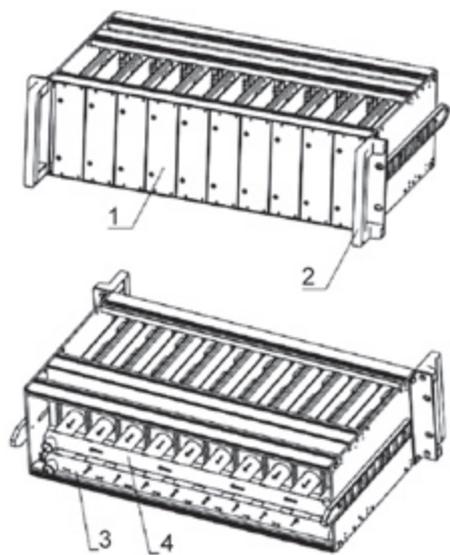


Рис. 1. Пример базовой несущей конструкции с обеспечением тепловых режимов работы жидкостной системы охлаждения:

1 – субблок; 2 – блочный каркас; 3 – входная труба распределительной системы; 4 – выходная труба распределительной системы

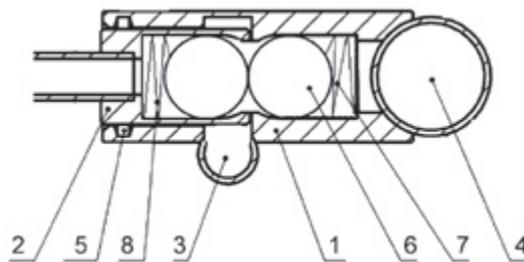


Рис. 2. Конструктивный принцип соединения водоблока РЭА с общей магистралью

1 – корпус штуцера общей магистрали; 2 – корпус «врубного» штуцера тепловой панели; 3 – резервуар, позволяющий собирать охлаждающую жидкость при замене субблоков РЭА; 4 – общая магистраль; 5 – уплотнительное кольцо; 6 – шарик клапана; 7, 8 – пружинные элементы клапана

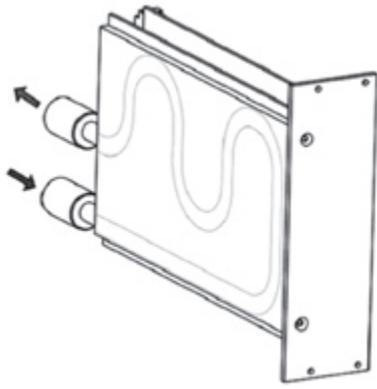


Рис. 3. Субблок открытого типа (незащищенный) или ТЭЗ (типовой элемент замены). Функциональная ячейка с водоблоком (используется плита с организованными жидкостными каналами, к которой при конструировании прижимаются тепловыделяющие элементы)

Помпы бывают двух видов:

- погружаемые в емкость с охлаждающей жидкостью;
- внешние с герметичным корпусом.

Конструктивно погружаемые помпы просты и дешевы. Системы с внешней помпой дороже, но надежность и производительность этих систем гораздо выше.

В реальных условиях осуществляется одновременно два или три вида теплообмена, поэтому довольно трудно рассчитать температурное поле. На практике расчет проводится, как правило, для наиболее эффективного вида теплообмена, который принимается для данного блока, прибора, системы за основной. Для стационарной аппаратуры используются чаще всего способы охлаждения теплопроводностью, воздушное естественное и принудительное, а также принудительное воздушное с дополнительным охлаждением жидкостью в трубопроводах. При

высоких требованиях к стабильности параметров схем применяют термостатирование узлов и блоков.

Системы жидкостного охлаждения имеют целый ряд неоспоримых достоинств:

- теплоемкость жидкости значительно больше, чем у воздуха, следовательно, эффективность теплоотвода выше;
- ниже уровень шума за счет снижения мощности вентилятора.

Как правило, в системах жидкостного охлаждения используются низкооборотные вентиляторы, создающие поток воздуха, который и охлаждает нагретую жидкость. Такие вентиляторы не развивают высокой скорости вращения и, следовательно, шума от системы меньше, чем от более мощных, используемых в воздушном охлаждении; функциональные узлы изолированы друг от друга.

Ряд существующих недостатков жидкостного охлаждения:

- высокая стоимость системы по сравнению с воздушным охлаждением;
- более сложная установка вследствие того, что современные блоки спроектированы под воздушные системы охлаждения;
- возможность повреждения элементов РЭС при разгерметизации системы.

Литература

1. Шило Г.И. Проектирование радиаторов с оптимальными массогабаритными параметрами // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. 2011. - № 1-2.
2. Горячев Н.В. «Моделирование тепловых режимов при проектировании радиоэлектронной аппаратуры». Труды Международного симпозиума «Надежность и качество». – 2009. – Т. 1.
3. Бородин С.М. Обеспечение тепловых режимов в конструкциях радиоэлектронных средств. – Ульяновск: УлГТУ, 2008.