

# УНИФИЦИРОВАННЫЙ РЯД ТЕПЛООТВОДЯЩИХ БНК: КОНСТРУКТОР ДЛЯ РАЗРАБОТЧИКОВ МОЩНЫХ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ

Ю.Муров info@ic-teplocom.ru

Создание унифицированных теплоотводящих несущих конструкций – одно из направлений, определяющих технические характеристики мощных радиоэлектронных устройств, от радиолокационных систем различного базирования до телекоммуникационных устройств, решений промышленной и транспортной электроники. Одним из лидеров в этой области выступает российская компания "ИЦ "Теплоком", которой удалось создать стройную систему унифицированных теплоотводящих базовых несущих конструкций. В них используется ряд оригинальных конструкторско-технологических решений, обеспечивающих высокие эксплуатационные и экономические характеристики изделий. Продукция ИЦ "Теплоком" уже вызвала живой интерес специалистов компаний Siemens, Bombardier, Huawei и др. В чем особенность решений российской компании?

## ОТ РАЗРОЗНЕННЫХ ЗАДАЧ К ИЕРАРХИЧЕСКОЙ УНИФИЦИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ БНК

Компания "Теплоком" прошла долгий путь становления и развития. Все началось в 1983 году, когда в НПО им. Коминтерна было создано первое малое государственное предприятие "Технолин". Предприятие специализировалось на разработке базовых несущих конструкций (БНК) с одновременным решением задач теплоотвода. Впоследствии были учреждены компании ОАО "Мощная аппаратура радиовещания и телевидения" и "Базовые новые технологии "Прибой". В 2011 году был создан Интеллектуальный центр (ИЦ) "Теплоком". Сегодня эта компания фокусируется на решении вопросов унификации теплоотводящих несущих конструкций в рамках НИОКР. Для производства и поставки продукции создано предприятие "БНК – Силовая электроника".

За годы работы был накоплен огромный опыт решения различных тепловых задач. Исторически в НПО им. Коминтерна мы начинали заниматься охлаждающими конструкциями для усилителей мощности радиопередающих устройств. Созданный тогда блок усилителей мощности ТВ-передатчика (рис.1) наилучшим образом демонстрирует идеологию построения интегрированной БНК. На едином шасси монтируется несколько электронных устройств – предварительных и окончательных усилительных модулей и источник питания. Помимо функций несущей конструкции, такое шасси обеспечивает необходимые тепловые режимы работы устройств.

Основа блочного каркаса – несущее шасси, верхнее и нижнее основания формируют единый воздушный канал (рис.2). Электронные устройства монтируются на верхнее и нижнее основания

симметрично воздушному каналу, что также обеспечивает необходимый уровень электромагнитной совместимости. Между основаниями установлены две группы охлаждающих ребер: под предварительными каскадами усилителей и источником вторичного электропитания – алюминиевые, под более мощными оконечными каскадами – медные [1]. Конструкция радиаторов обеспечивает минимально возможное гидравлическое сопротивление воздушному потоку, создаваемому тремя осевыми вентиляторами с управляемой скоростью вращения. Была предусмотрена система контроля температурного режима, управления скоростью вращения вентиляторов и диагностики их работоспособности. Такой блочный каркас обладает действительно рекордными характеристиками: при высоте блока 3U автономная система воздушного охлаждения обеспечивает температурный режим усилителей мощности с суммарным тепловыделением 2,4 кВт.

Даже из этого примера видны преимущества комплексного подхода при создании БНК. Помимо чисто механических функций, такая конструкция решает задачи интегрированного теплоотвода и электромагнитной совместимости. Кроме того, уже тогда были использованы решения, ставшие характерными для последующих работ ИЦ "Теплоком" – применение в единой конструкции охладителя из алюминия и меди. По теплопроводности медь более чем вдвое превосходит алюминий, что позволяет существенно увеличить интенсивность теплообмена конструкции. Однако удельный вес меди в три раза больше, чем у алюминия. При этом килограмм меди практически вдвое дороже, чем килограмм алюминия. Медь



Рис.1. Блок усилителя мощности для ТВ-передатчика

увеличивает массу радиатора, и в гораздо большей степени – цену. Поэтому комбинация алюминий-медь позволяет достигать оптимального соотношения масса-цена-качество охладителя для каждой конкретной тепловой задачи.

Последующая работа предприятия была направлена на определение и анализ возможных вариантов конструктивного исполнения перспективной радиоэлектронной аппаратуры. При этом учитывались такие требования, как обеспечение технической совместимости составных частей (модулей), взаимозаменяемость, стойкость к внешним воздействующим факторам, повышение надежности изделий и снижение себестоимости. Результатом стала разработка требований к конструкции ряда теплоотводящих БНК (БНК-Т) с использованием различных типов охлаждения. Было проведено более 20 НИОКР – небольших по объемам финансирования, но важных с точки зрения конкретных результатов для обеспечения температурных режимов аппаратуры различного назначения и базирования. В итоге, обобщив результаты 12-летней работы, мы получили стройную систему типовых решений интегрированных БНК, обеспечивающих требуемый тепловой режим аппаратуры (рис.3). Совокупность этих конструктивных решений может служить основой для разработки

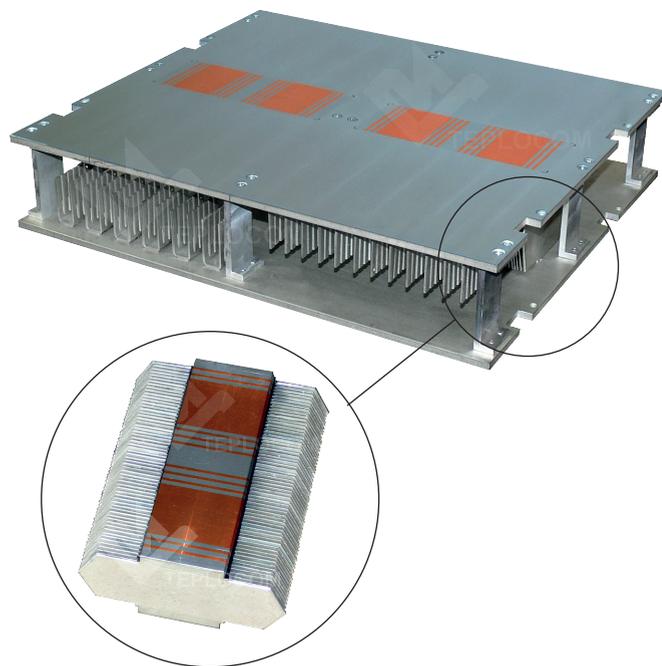


Рис.2. Несущее шасси для блока усилителя мощности. В шасси установлены алюминиевые радиаторы с толщиной ребра 3 мм и шагом 8 мм, медные радиаторы с толщиной ребра 0,8 мм и шагом 2,8 мм

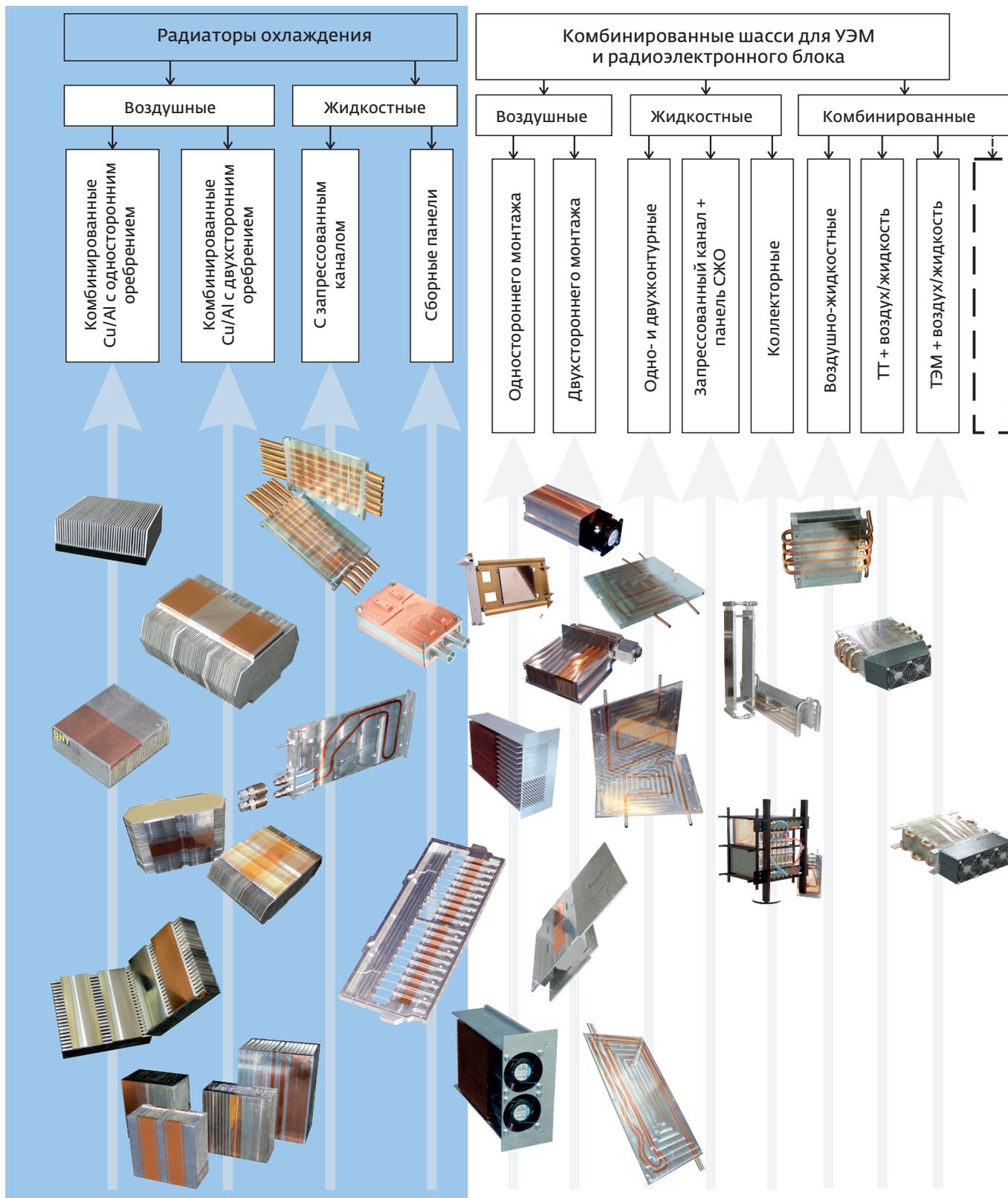


Рис.3. Система БНК с заданными тепловыми характеристиками для мощных радиоэлектронных и вычислительных средств различного базирования – наземного, морского, авиационного

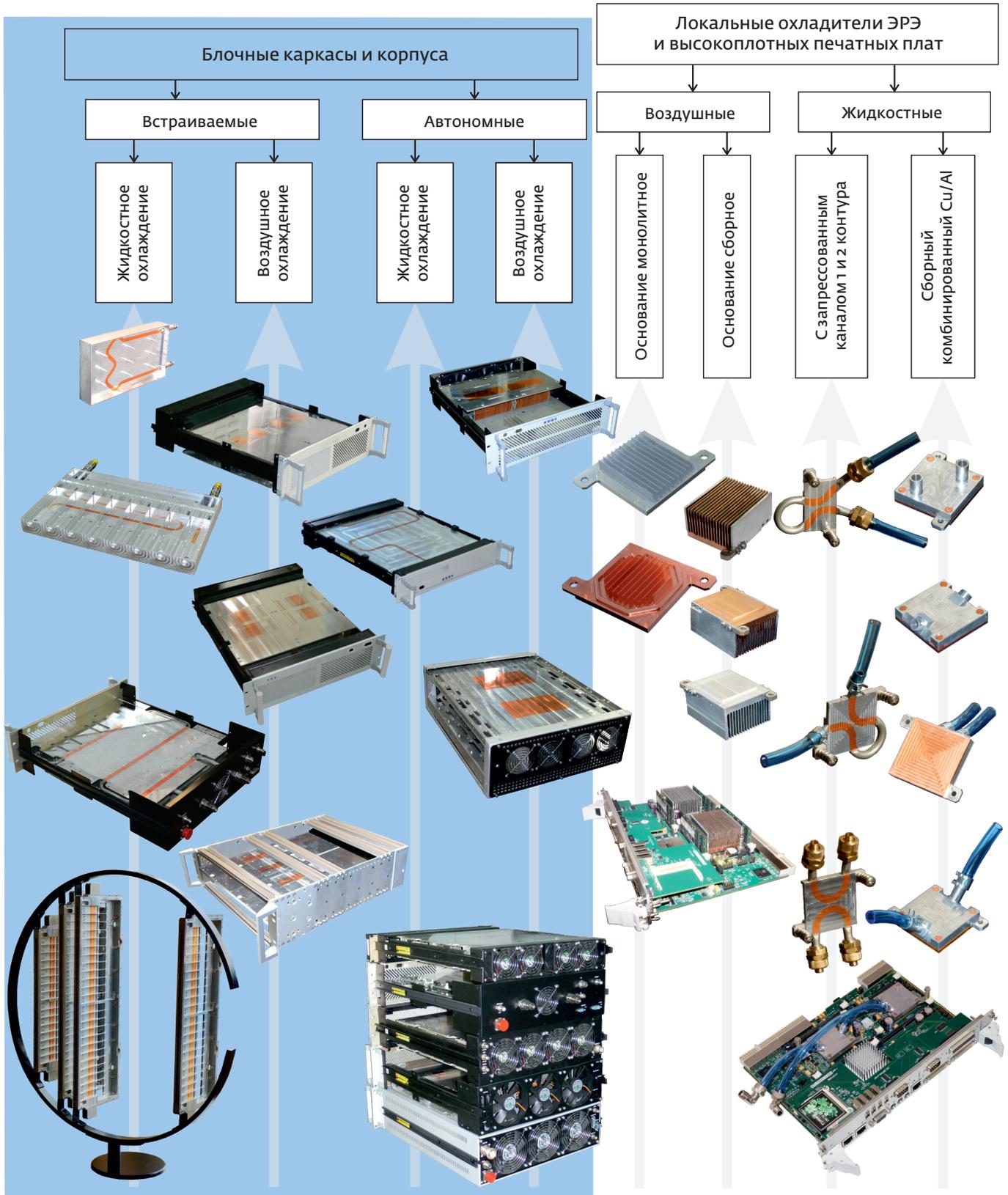
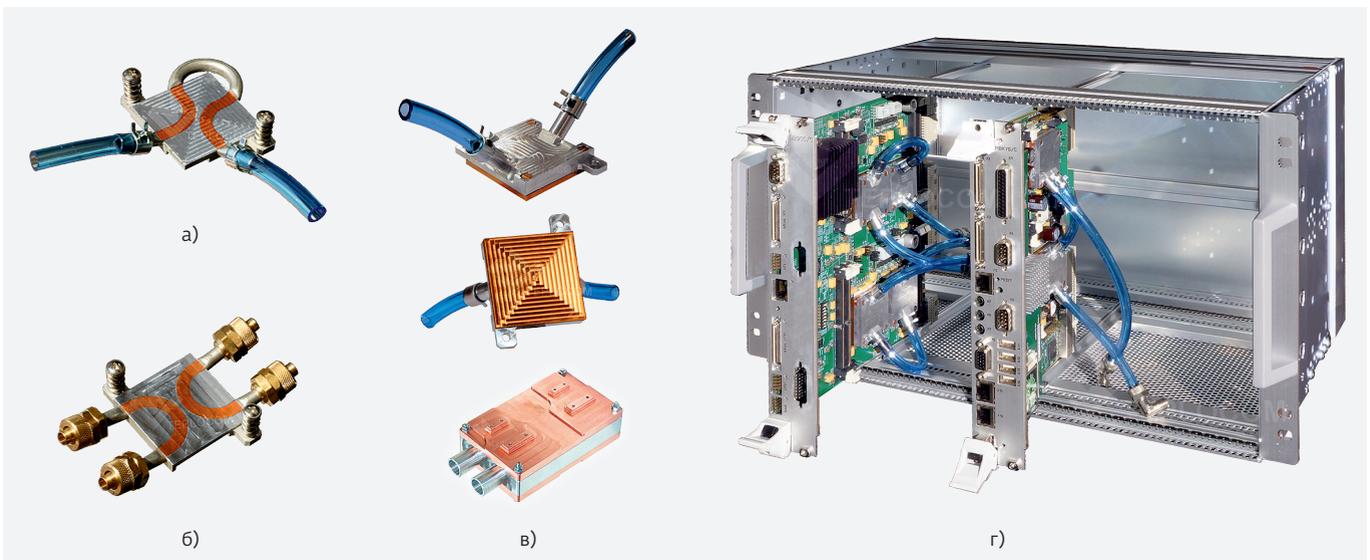


Рис.3. Продолжение



**Рис.4.** Локальные жидкостные охладители: а) одноконтурный и б) двухконтурный с жидкостным каналом из запрессованной медной трубы; в) сборные; г) локальные жидкостные охладители в составе вычислительных модулей

системы охлаждения любого теплонагруженного радиоэлектронного устройства. Она хорошо вписывается в стандартные уровни разукрупнения БНК [2]:

- системы охлаждения одиночных элементов: одиночные радиаторы и локальные жидкостные охладители для теплонагруженных электрорадиоэлементов (ЭРЭ), как установочных, так и в составе печатной платы;
- системы охлаждения групп элементов и электронных модулей: ячейки воздушного охлаждения, панели жидкостного охлаждения, а также корпуса для унифицированных электронных модулей;
- комбинированные шасси и каркасы для радиоэлектронных блоков.

Рассмотрим некоторые особенности решений, используемых при разработке БНК-Т.

### ЛОКАЛЬНЫЕ ОХЛАДИТЕЛИ

Все подходы к решению тепловых задач можно разделить на два направления. В первом случае в схеме есть независимые источники тепловыделения – теплонагруженные ЭРЭ, например, мощные полевые транзисторы. У таких элементов есть фланец – несущий и одновременно теплоотводящий, который можно установить непосредственно на радиатор. В этом случае все требующие охлаждения элементы монтируются на единую теплоотводящую конструкцию – радиатор для унифицированного электронного модуля (УЭМ) или несущее

шасси для радиоэлектронного блока. По такой схеме строятся изделия мощного приборостроения, силовой и промышленной электроники.

Однако не всегда удается установить теплонагруженные ЭРЭ одного электронного устройства на общую теплоотводящую поверхность. Например, в области вычислительной техники теплонагруженные компоненты – СБИС процессоров, периферийных устройств, видеопроцессоры, контроллеры интерфейсов и т.п. установлены на общей печатной плате. И единственная тепловыделяющая поверхность – это верхняя крышка корпусов СБИС. В результате образуется непредсказуемый набор тепловыделяющих плоскостей, причем с различной высотой относительно платы. Единую охлаждающую поверхность для такого электронного модуля сформировать практически невозможно. Известны решения, когда для платы изготавливается общий радиатор, причем под каждую микросхему фрезеруется своя площадка, для обеспечения теплового контакта используются теплопроводящие материалы. Процесс нетехнологичный и малоэффективный. Гораздо лучше использовать локальные охладители. Поэтому на мировом рынке вычислительной техники широко представлены медные локальные жидкостные охладители различной формы и размеров, а также радиаторы воздушного охлаждения.

ИЦ "Теплоком" предлагает два типа локальных жидкостных охладителей: одно- и двухконтурные охладители с каналом из запрессованной медной

трубы (рис.4а, б) и сборные, представляющие собой алюминиевую крышку и оребренную медную основу (рис.4в). Одно- и двухконтурные охладители являются технологичным и надежным решением для жестких условий эксплуатации. Однако они несколько уступают сборным конструкциям с точки зрения теплового сопротивления (рис.5).

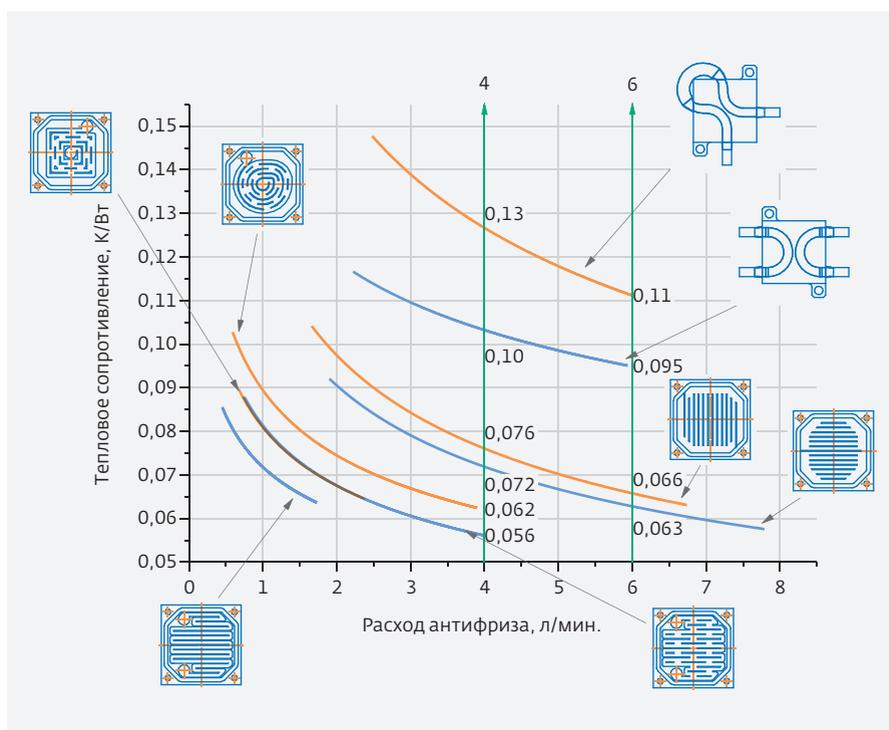
Сборные охладители отличаются высокой эффективностью, а форма и размеры оребренной поверхности позволяют использовать вязкие жидкости, например, антифриз при температурах до  $-50^{\circ}\text{C}$ . Однако они не всегда отвечают требованиям надежности при длительной эксплуатации. Не случайно в персональных компьютерах с жидкостным охлаждением, мировые производители используют разборные локальные охладители, чтобы иметь возможность прочистить забившиеся каналы и заменить уплотнительный элемент.

### УНИФИЦИРОВАННЫЕ ЭЛЕКТРОННЫЕ МОДУЛИ: ПАНЕЛИ, ЯЧЕЙКИ И КОРПУСА

Применение материалов с различными теплофизическими характеристиками позволяет формировать на рабочей поверхности охладителя комбинацию зон теплоотвода, повторяющую тепловую модель электронного устройства. Используя комбинацию медных и алюминиевых элементов, можно создавать разнообразные конструкции жидкостного и воздушного охлаждения. Эта особенность значительно расширяет возможности проектирования мощных радиоэлектронных устройств. Задавая размеры, координаты, мощность тепловыделения и предельно допустимую температуру перегрева теплонагруженных элементов, можно создать единое комбинированное шасси, наиболее полно удовлетворяющее заданным температурным режимам отдельных элементов.

### Системы жидкостного охлаждения: панели и активные корпуса

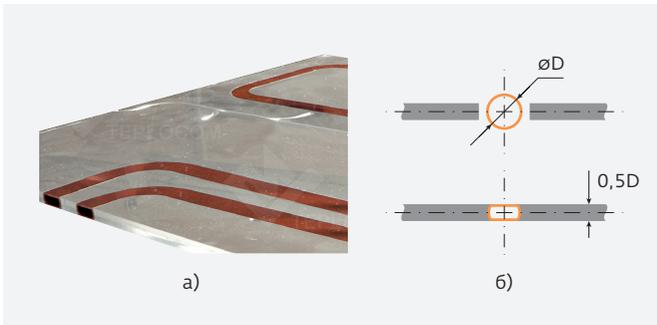
На рынке теплоотводящих несущих шасси или панелей жидкостного охлаждения пользуются



**Рис. 5.** Тепловое сопротивление локальных охладителей между корпусом имитатора и теплоносителем на входе в канал охлаждения при отводимой мощности тепловыделения 100 Вт. Здесь и далее данные получены при НКУ

спросом как сборные конструкции с оребренной внутренней поверхностью, так и с герметичными каналами в виде медной трубы, запрессованной в алюминиевое основание. При разработке теплонагруженных радиоэлектронных устройств конструктор каждый раз стоит перед выбором: использовать высокоэффективную сборную панель или неприхотливое и надежное шасси с запрессованной медной трубкой.

Компания "ИЦ "Теплоком" разработала технологию одновременного прессования алюминиевого основания и медной трубки, позволяющую изготавливать симметричные теплоотводящие шасси для двухстороннего монтажа теплонагруженных ЭРЭ (рис.6). Основное конкурентное преимущество такого шасси – его малая толщина, не более 1/2 от исходного диаметра медной трубы. Например, при исходном диаметре медной трубы 10 мм можно создать панель толщиной 4,8 мм. В сборных жидкостных панелях такие толщины достигаются при формировании микроканалов методом фрезерования или химического травления. Однако при длительной эксплуатации изделия, особенно в жестких условиях, или при использовании охлаждающей жидкости с повышенной вязкостью (антифризов),



**Рис.6.** Симметричное двухстороннее теплорассеивающее шасси с жидкостным охлаждением. Справа – сечение теплорассеивающего шасси в области канала до и после прессования

применять конструкции с микроканалами становится затруднительно и затратно. Требуется дополнительная подготовка и очистка жидкости, чтобы избежать загрязнения и закупорки микроканалов.

Тонкие панели жидкостного охлаждения можно собирать в двустороннюю несущую конструкцию (рис.7). Канал охлаждения в виде запрессованной медной трубы проходит под теплонагруженными ЭРЭ. Каналы в панелях соединяются последовательно или параллельно в зависимости от условий тепловой задачи. Зазор между панелями можно использовать для монтажных жгутов и элементов системы жидкостного охлаждения.

Еще одно преимущество разработанной технологии – возможность совместного прессования алюминиевого основания, медной трубки и теплорастягивающих медных пластин (рис.8), что позволяет

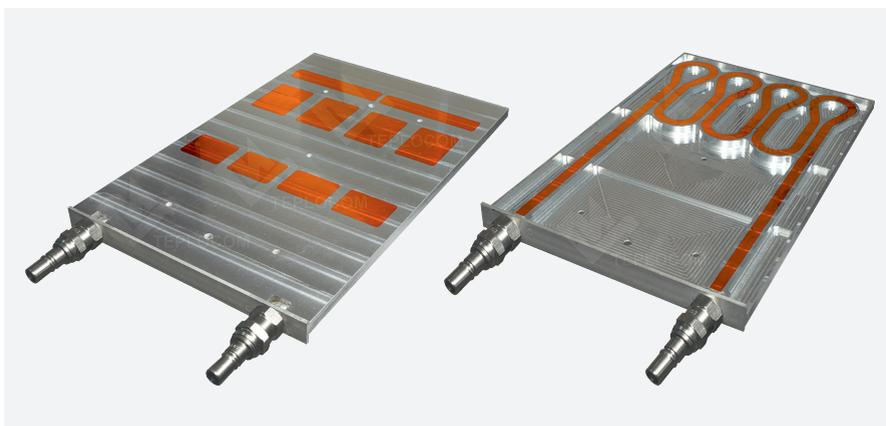


**Рис.7.** Несущая конструкция, состоящая из двух панелей жидкостного охлаждения. Исходный диаметр запрессованной медной трубы 10 мм, толщина каждой панели 4,8 мм

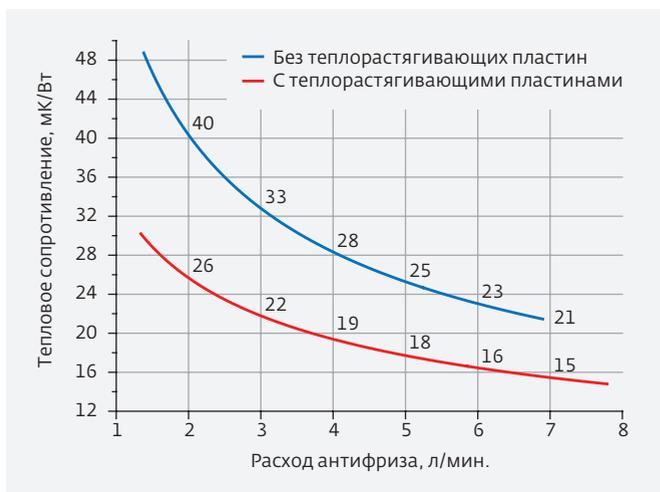
формировать канал направленного теплоотвода. Перед сборкой на внутреннюю поверхность теплорастягивающей пластины наносится паяльная паста. В процессе совместного прессования на кузнечном прессе внутри объема выделяется тепловая энергия, достаточная для образования качественного паяного соединения между медной трубкой и пластиной. Толщина паяного шва не превышает 20 мкм, что обеспечивает хорошие условия тепло-

передачи. В результате на общем алюминиевом основании формируются зоны эффективного теплоотвода, соответствующие расположению источников тепловыделения. Таким образом, сплошная панель жидкостного охлаждения с зонами локального теплоотвода становится неотъемлемым элементом несущего шасси.

Теплорастягивающие площадки можно формировать с двух сторон алюминиевого основания. При этом сохраняется принцип двухстороннего монтажа теплонагруженных ЭРЭ. Более того, варьируя сечением медной трубки и профилируя ее, можно добиться более эффективного



**Рис.8.** Панель с запрессованным медным каналом, с теплорастягивающими пластинами. В изделии используются быстроразъемные соединения фирмы Staubli, обеспечивающие "горячую замену" панели без нарушения герметичности жидкостной системы охлаждения



**Рис. 9.** Тепловое сопротивление панелей с медной трубой с теплорастягивающими пластинами и без них между корпусом имитатора и теплоносителем на входе в канал охлаждения. Отводимая мощность тепловыделения 600 Вт

использования теплоносителя. Такой подход обеспечивает минимальные массогабаритные и стоимостные характеристики конструкции за счет локального снижения теплового сопротивления (рис.9).

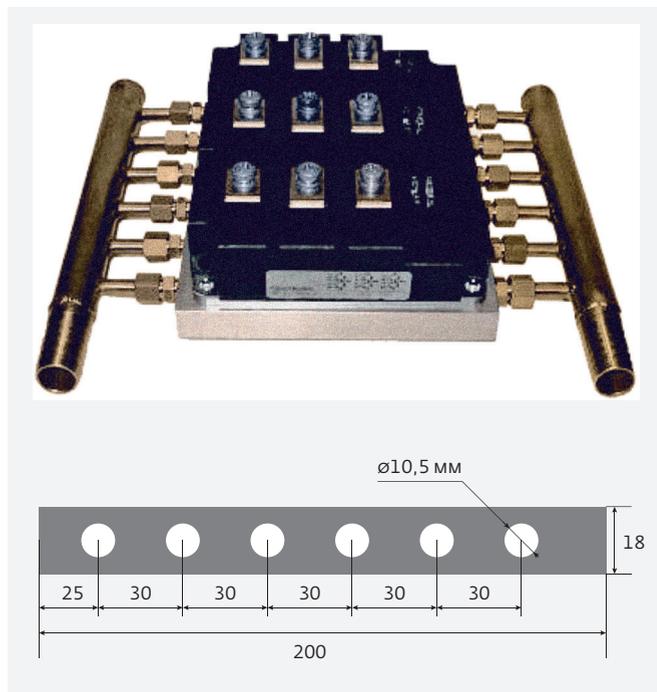
В конструкциях сборных панелей жидкостного охлаждения ИЦ "Теплоком" сохранил свой подход в создании интегрированных теплоотводящих конструкций: размер, место расположения и теплофизические характеристики зоны охлаждения должны соответствовать требованиям конкретной тепловой задачи. Например, сборная комбинированная панель (рис.10) может содержать две зоны охлаждения с различной эффективностью теплообмена, одна выполнена полностью из алюминия, вторая – медно-алюминиевая. Конструктивно вторая зона представляет собой совокупность сборных локальных охладителей, аналогичных представленным на рис.4в. Разъемные соединения элементов коммутации позволяют объединять отдельные охладители в любой последовательности. Свободное пространство в средней части панели предусмотрено для установки дополнительных коллекторов охлаждающей жидкости.

Существуют и другие способы повышения эффективности теплообмена панелей жидкостного охлаждения, не прибегая к использованию сборных конструкций. Так, немецкая компания Austerlitz electronic ([www.austerlitz-electronic.de](http://www.austerlitz-electronic.de)) серийно производит многоканальные панели охлаждения, используя в конструкции алюминий и медную трубу. Каналы в алюминиевой плите формируются

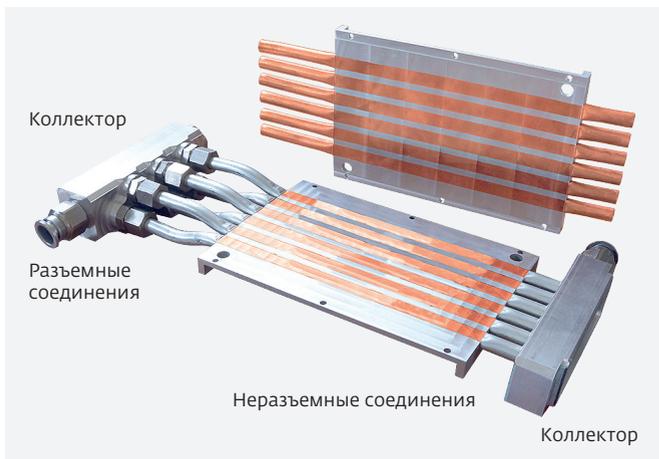


**Рис.10.** Сборная медно-алюминиевая панель жидкостного охлаждения

по технологии глубокого сверления. Для защиты алюминия от воздействия антифриза в отверстия закладывают медные трубы и "раздувают" их высоким внутренним давлением до получения надежного теплового контакта с алюминиевым основанием. Каналы коммутируются с помощью двух коллекторов (рис.11). Такие панели широко используются в изделиях силовой электроники, например, для охлаждения мощных IGBT-модулей.



**Рис.11.** Многоканальная панель жидкостного охлаждения компании Austerlitz electronic, шесть каналов



**Рис.12.** Многоканальная панель жидкостного охлаждения. Толщина панели 3,6 мм при исходном диаметре медной трубы 8 мм, шесть каналов. Подключение охлаждающих жидкостных каналов к коллекторам возможно как разъемным, так и неразъемным соединением

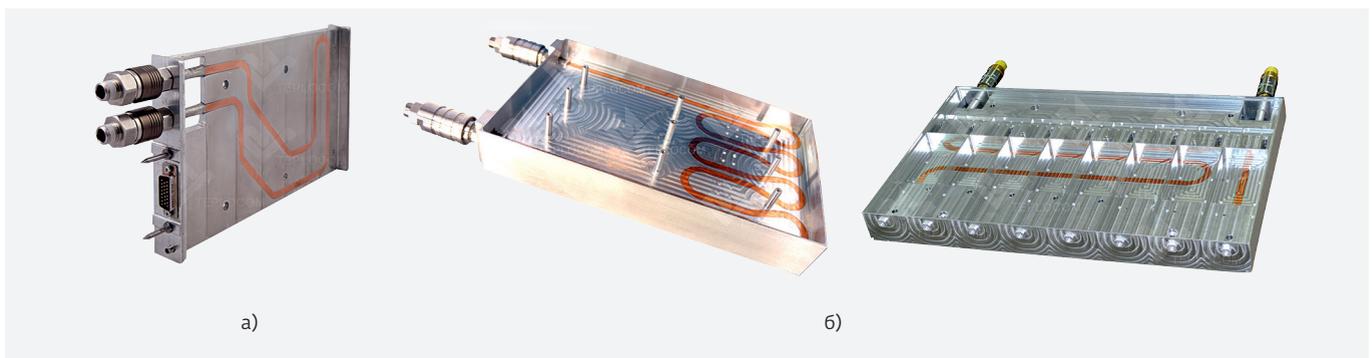
Компания "ИЦ "Теплоком" в мае 2014 года на выставке силовой электроники РС1М в Нюрнберге представила свою версию многоканальной панели жидкостного охлаждения (рис.12). Обладая меньшим тепловым сопротивлением, такая панель охлаждения в четыре раза легче и тоньше известных аналогичных образцов и составляет конкуренцию высокоэффективным сборным панелям жидкостного охлаждения. Конструкцию многоканальной панели можно адаптировать для систем испарительного охлаждения, когда в качестве каналов направленного теплоотвода используются несколько тепловых труб (ТТ). Концы ТТ запрессовываются в алюминиевое или медное основание, в этой зоне происходит конденсирование теплоносителя в ТТ. Для отвода тепла, доставленного ТТ, на многоканальную панель с одной или двух сторон устанавливаются сборные

медно-алюминиевые радиаторы воздушного охлаждения. Доля меди в радиаторе определяется величиной тепловой нагрузки. В результате будет создан унифицированный узел теплообмена с конкурентными тепловыми и массогабаритными характеристиками относительно панелей жидкостного и испарительного охлаждения.

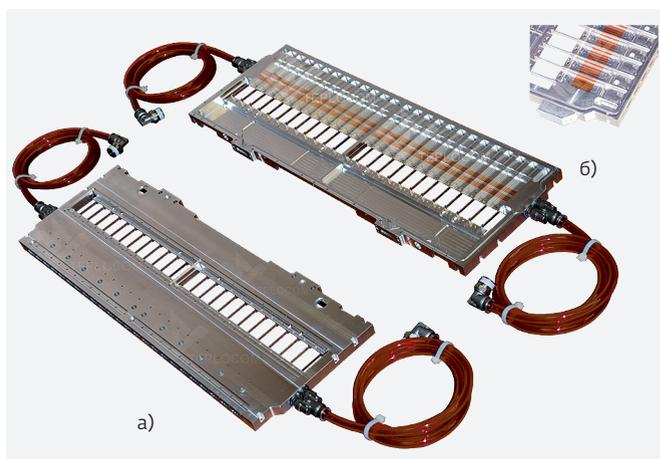
Как правило, электронный модуль перед установкой на панель жидкостного охлаждения предварительно монтируется в собственный корпус, который обеспечивает защиту от внешних механических и климатических воздействий. С точки зрения теплообмена такой корпус является "пассивным". В месте установки "пассивного" корпуса на панель охлаждения образуется дополнительное контактное тепловое сопротивление, которое в ряде случаев может существенно повлиять на температурный режим электронного устройства. Более выгодное решение - использовать "активный" корпус, со встроенными элементами охлаждения. Конструкция и технология элементов теплоотвода повторяют панели жидкостного охлаждения (рис.13). Причем корпуса могут быть как с запрессованными медными каналами, так и со сборными охладителями (рис.14). Поскольку конструкция корпуса УЭМ должны обеспечивать его "горячую замену", в них используются быстроразъемные соединения фирм SMC ([www.smc.eu](http://www.smc.eu)), Stäubli ([www.staubli.com/](http://www.staubli.com/)), WALTHER-PRÄZISION ([www.walther-praezision.de](http://www.walther-praezision.de)).

**Системы воздушного охлаждения: ячейки и корпуса**

Представленные сегодня на рынке радиаторы создаются по простому принципу: один радиатор – одна зона теплоотвода с одним тепловым сопротивлением. Мы же в рамках единой конструкции предлагаем несколько зон с различными возможностями теплоотвода. Причем не только за счет использования материалов с различными



**Рис.13.** Корпуса жидкостного охлаждения а) пыле-влагозащищенные, б) герметичные



**Рис.14.** Вариант корпуса жидкостного охлаждения для бортового УЭМ: а) с запрессованным медным каналом, б) с высокоэффективным сборным охладителем

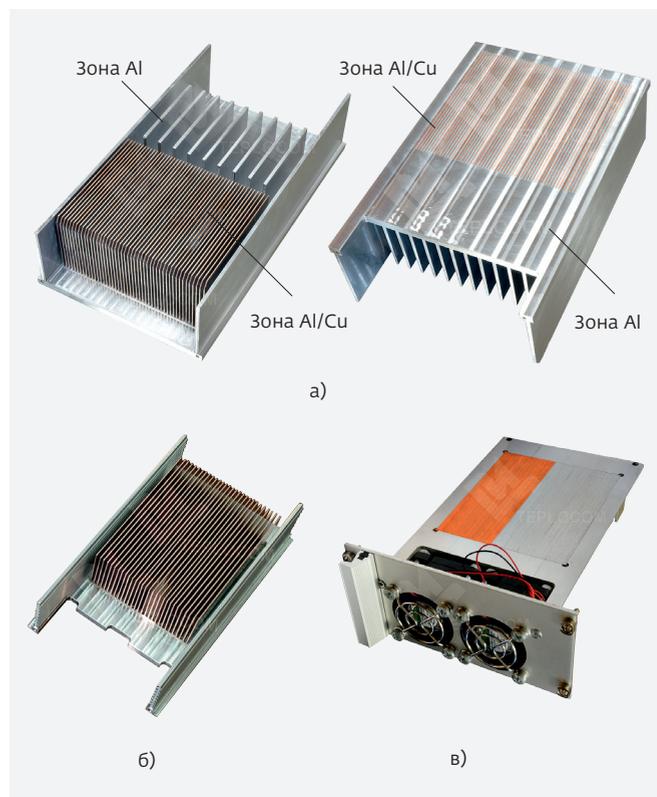
теплофизическими характеристиками, но варьируя конструктивными параметрами оребрения. В результате разработчик получает большой выбор комбинаций тепловых характеристик в одних и тех же габаритах охладителя.

В ряде случаев ячейка может содержать одну зону тепловыделения – сборный пластинчатый радиатор. Такой радиатор имеет четыре базовых комбинации применяемых материалов: алюминиевые основание и ребра, алюминиевое основание, медные ребра; медное основание, алюминиевые ребра и медные ребра. Разница в эффективности охлаждения вариантов между собой при определенных условиях может достигать 40%.

Однако для многих задач более оправдано совмещать несколько зон тепловыделения, с различной эффективностью теплообмена и гидравлическим сопротивлением, например алюминиевый профиль и сборный пластинчатый медно-алюминиевый радиатор (рис.15а). Технология сборки позволяет использовать различные размеры оребрения – например, высотой 40, 60, 80 мм (см. рис.15). Минимальная толщина медного ребра составляет 0,2 мм.

Тем самым можно создать конструкцию воздушной ячейки, в которой реализован основной принцип построения комбинированного охладителя – количество меди в каждом теплоотводящем элементе должно быть минимальным и достаточным для решения конкретной тепловой задачи (см. табл. и рис.16). Это, в конечном счете, отразится на массе и цене электронного устройства.

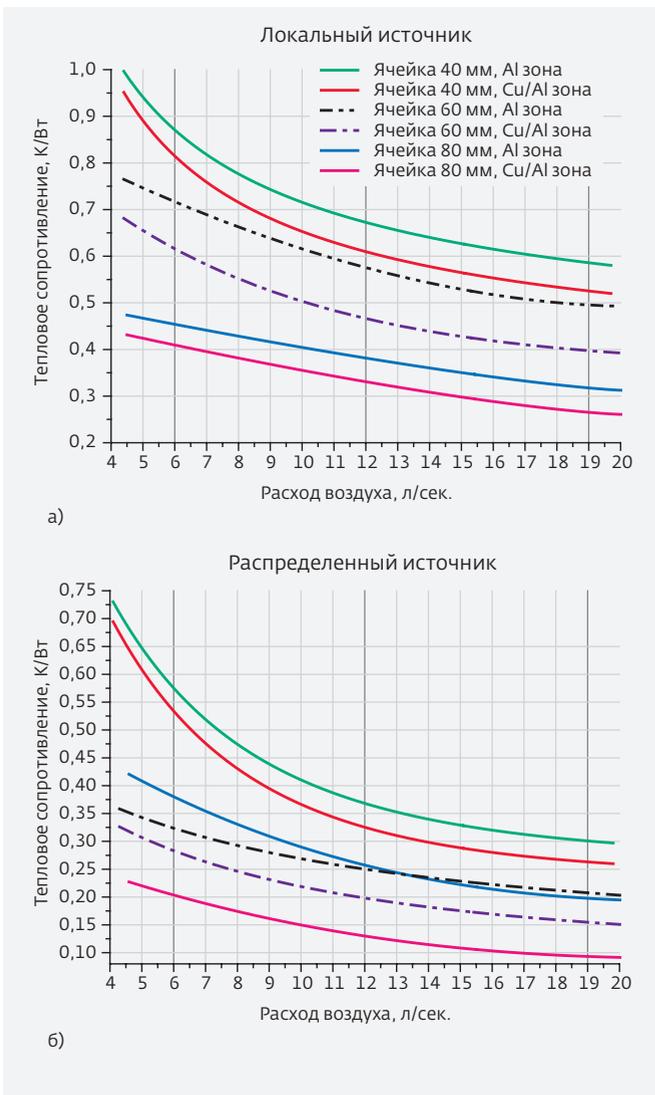
Кроме того, минимизация габаритов сборного медного радиатора позволяет снизить



**Рис.15.** Встраиваемые (а, б) и автономные (в) ячейки воздушного охлаждения. а) Комбинированная ячейка: алюминиевый профиль и сборный пластинчатый радиатор с медными ребрами и алюминиевым основанием. В зоне Al выполнен алюминиевый радиатор с толщиной ребра 3 мм и шагом 8 мм. В зоне Al/Cu установлен радиатор с алюминиевым основанием и медными ребрами толщиной 0,8 мм и шагом 2 мм. б) Сборный радиатор: медные ребра и алюминиевое основание. в) Ячейка с пластинчатым радиатором, разделенным на две зоны: одна полностью из меди, вторая - из алюминия

гидравлическое сопротивление воздушному потоку по сравнению с полноразмерным радиатором. Ведь алюминиевый профиль, на который устанавливаются менее теплонагруженные ЭРЭ, существенно на гидравлическое сопротивление не влияет. Это повышает эффективность электровентиляторов и снижает энергопотребление конечного изделия.

Еще один пример комбинированного подхода к созданию теплоотводящих конструкций – создание медно-алюминиевых радиаторов охлаждения типа Lamella, разработанных по техническому заданию наших партнеров из Германии, фирмы Alutronic Kühlkörper (alutronic.de). Радиатор Lamella – это высокотехнологичная конструкция, представляющая

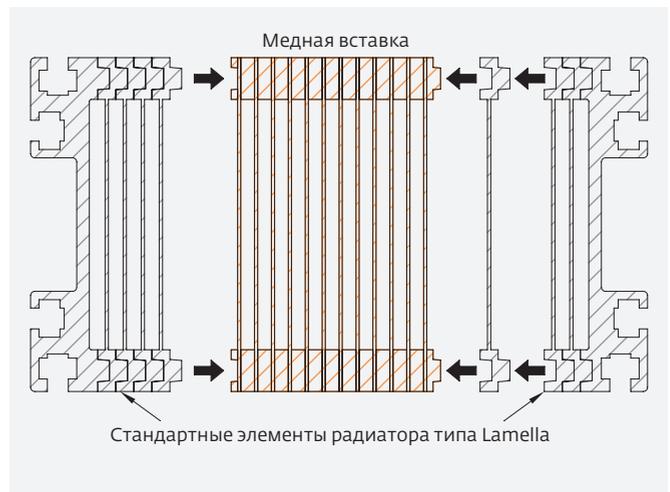


**Рис.16.** Тепловое сопротивление воздушных ячеек между корпусом имитатора и теплоносителем на входе в канал охлаждения: а) нагрузка – локальный источник над каждым типом радиатора, б) распределенный источник

собой набор однотипных деталей – алюминиевых профилей в виде ребра с фрагментами основания радиатора на концах (рис.17). Радиатор собирается методом замково-прессовых соединений алюминиевых профилей между собой.

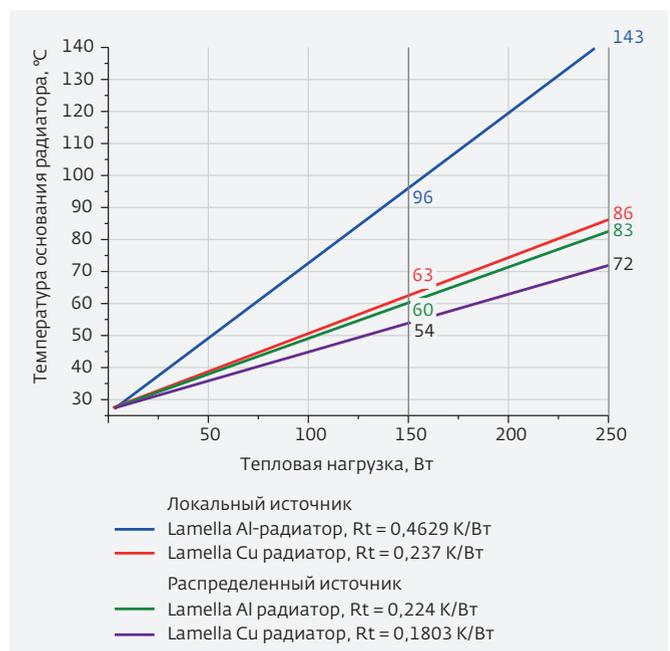
Для повышения теплофизических характеристик радиатора специалистами ИЦ "Теплоком" был разработан метод установки в конструкцию отдельных медных ребер или медных фрагментов радиатора (рис.18, 19). При этом принцип набора алюминиевых профилей остался неизменным.

Аналогично системам жидкостного охлаждения возможно создание корпусов



**Рис.17.** Медно-алюминиевый радиатор охлаждения типа Lamella

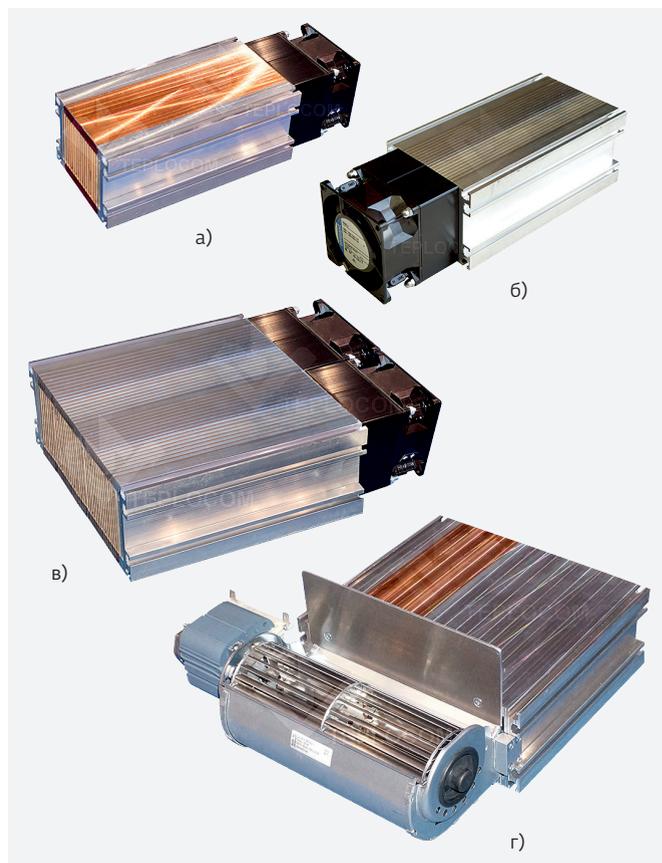
со встроенными элементами воздушного охлаждения. Характерный пример – корпус многоканального приемно-передающего модуля (МкППМ) активной фазированной антенной решетки (АФАР) X-диапазона с системой воздушного охлаждения (рис.20). В корпусе предусмотрены две зоны охлаждения с различной эффективностью теплообмена и система распределения воздушного



**Рис.18.** Тепловые характеристики радиатора Lamella для локального (20×40 мм) и распределенного источников. Использован вентилятор 8556 А компании ebm-papst. Температура среды 27°C.

Тепловое сопротивление встраиваемых и автономных ячеек, К/Вт

| Ячейка       | Высота, мм | Ширина, мм | Длина, мм | Точечный источник |       | Распределенный источник |       |
|--------------|------------|------------|-----------|-------------------|-------|-------------------------|-------|
|              |            |            |           | Al                | Cu/Al | Al                      | Cu/Al |
| МКА.40.1.062 | 40         | 100        | 163       | –                 | 0,441 | –                       | 0,121 |
| МКА.40.1.066 |            |            | 155       | 0,560             | –     | 0,280                   | –     |
| МКВ.40.2.071 |            |            | 160       | 0,579             | 0,519 | 0,297                   | 0,260 |
| МКА.60.4.072 | 40         | 146        | 220       | 0,466             | 0,414 | 0,202                   | 0,150 |
| МКА.60.2.075 |            |            | 260       | 0,493             | 0,391 | 0,339                   | 0,112 |
| МКА.60.1.078 |            |            | 210       | –                 | 0,271 | –                       | 0,065 |
| МКВ.60.2.076 |            |            | 260       | 0,335             | 0,346 | 0,272                   | 0,099 |
| МКА.80.2.090 | 80         | 180        | 300       | 0,266             | 0,222 | 0,149                   | 0,070 |
| МКА.80.2.087 |            |            |           | 0,306             | 0,248 | 0,158                   | 0,077 |
| МКВ.80.2.086 |            |            |           | 0,338             | 0,279 | 0,207                   | 0,075 |



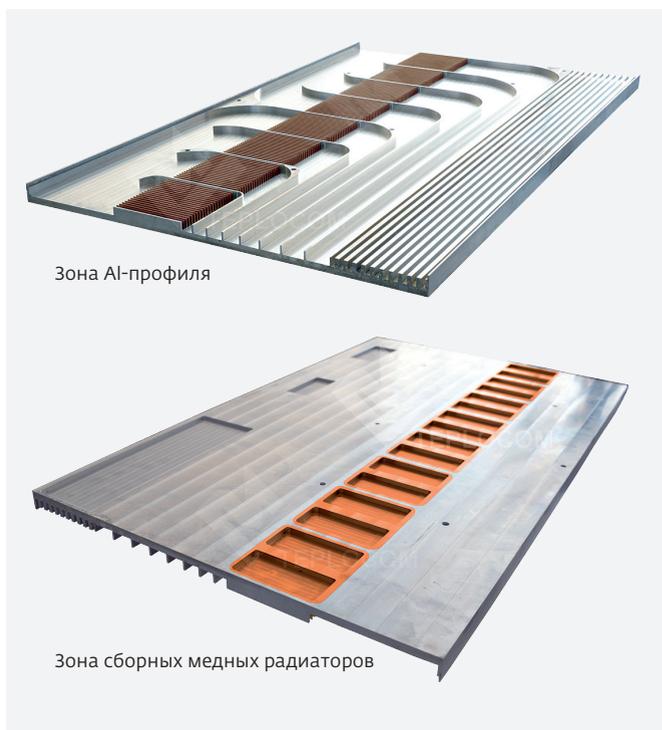
**Рис.19.** Сборные радиаторы Lamella с медными элементами теплоотвода: а) цельномедный: 80×80×200 мм; б) и в) с алюминиевым основанием и медными ребрами: 80×80×200 и 80×200×200 мм; г) с медной ставкой: 80×200×200 мм

потока. Первая зона предназначена для охлаждения устройств электропитания и представляет собой фрезерованный алюминиевый профиль. Вторая зона – это набор высокоэффективных сборных медных радиаторов для охлаждения термочувствительных СВЧ-компонентов.

Для снижения гидравлического сопротивления и равномерного распределения воздуха по каналу охлаждения возможна оптимизация формы и размеров медных радиаторов [3]. Например, при изменении расположения ребер медного радиатора (рис.21) достигается более равномерное распределение воздуха в каналах. Благодаря такому расположению увеличивается эффективная площадь сечения каналов на входе и выходе радиатора. В результате в этих зонах снижается скорость воздуха, обеспечивается более плавный переход воздуха из канала в зону оребрения, сокращается гидравлическое сопротивление корпуса МкППМ воздушному потоку в целом. Это очень важно для создания эффективной конструкции воздушного охлаждения для МкППМ именно X-диапазона, который отличают жесткие размерные ограничения. Однако достигнутые результаты можно использовать в АФАР других диапазонов.

**УНИФИКАЦИЯ И ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ**

Конструкторско-технологические решения в БНК-Т, используемые на уровне УЭМ, мало чем отличаются от каркаса для радиоэлектронного блока. Эти БНК-Т с жидкостным и воздушным охлаждением можно монтировать в стандартные 19-дюймовые стойки



Зона Al-профиля

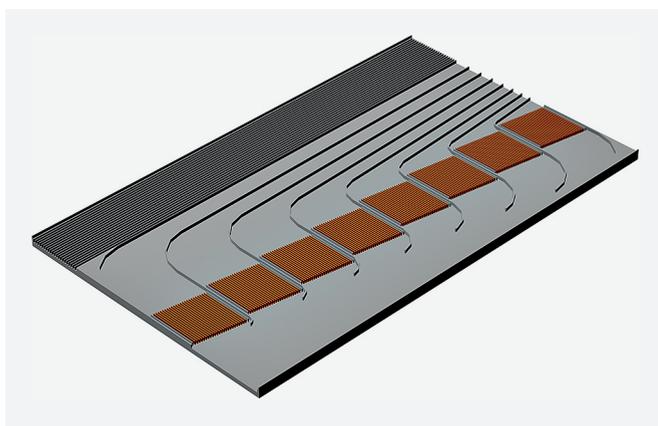
Зона сборных медных радиаторов

**Рис.20.** Корпус МкППМ с системой воздушного охлаждения

без дополнительных элементов крепления. У нас есть все необходимое, чтобы наращивать производство блочных каркасов, соответствующих требованиям стандарта "Евромеханика" (ГОСТ Р МЭК 60297), высотой 2, 3, 4 и 6U (рис.22). Задачи по электромагнитной совместимости, пыле- влагозащитности или герметичности решаются сменой конструкции крышки при неизменной базовой конструкции блока.

Система БНК-Т задумывалась как единая межвидовая унифицированная система, позволяющая учитывать сразу несколько параметров несущей конструкции: геометрические размеры, тепловые характеристики и технологию изготовления. Все типоразмерные ряды, от ячейки до блока и стойки, сведены в 19-дюймовую систему "Евромеханика" со стандартным шагом. Более того, все БНК-Т строятся на основе ограниченного набора конструктивных элементов, сведенных в типоразмерные ряды. Это медные и алюминиевые планки и ребра радиаторов воздушного охлаждения, медные трубки и оребренные основания жидкостных охладителей, алюминиевые основания комбинированных шасси, элементы коммутации жидкостных контуров, герметичные вводы и т.д.

Однако высший уровень унификации – это уровень тепловых характеристик. Комбинируя



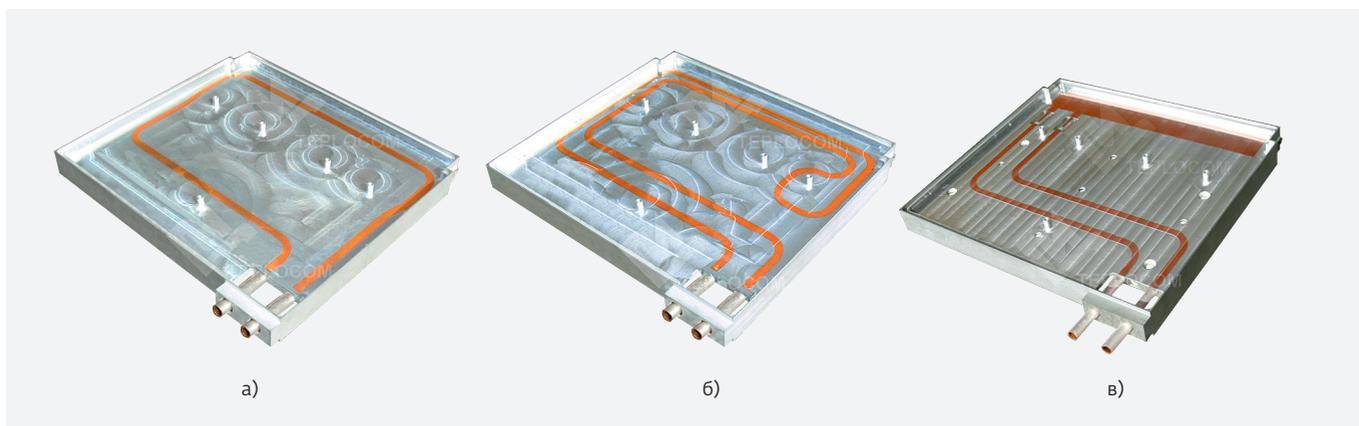
**Рис.21.** Корпус МкППМ с измененным расположением ребер медного радиатора

материалы с различными теплофизическими характеристиками и конструктивные исполнения несущих шасси и корпусов, можно создавать БНК-Т одного размера, но с различной эффективностью теплообмена.

Так, для одного и того же электронного устройства были разработаны три варианта корпуса (рис.23, 24) [4] – с одиночным и сдвоенным запрессованным каналом жидкостного охлаждения, а также со сдвоенным каналом и сборным



**Рис.22.** Унифицированные 19-дюймовые радиоэлектронные блоки воздушного и жидкостного охлаждения, построенные на БНК-Т



**Рис.23.** Три варианта корпусов для УЭМ с различной эффективностью теплообмена: а) с одним запрессованным каналом; б) со сдвоенным запрессованным каналом; в) со сдвоенным каналом и высокоэффективным сборным охладителем

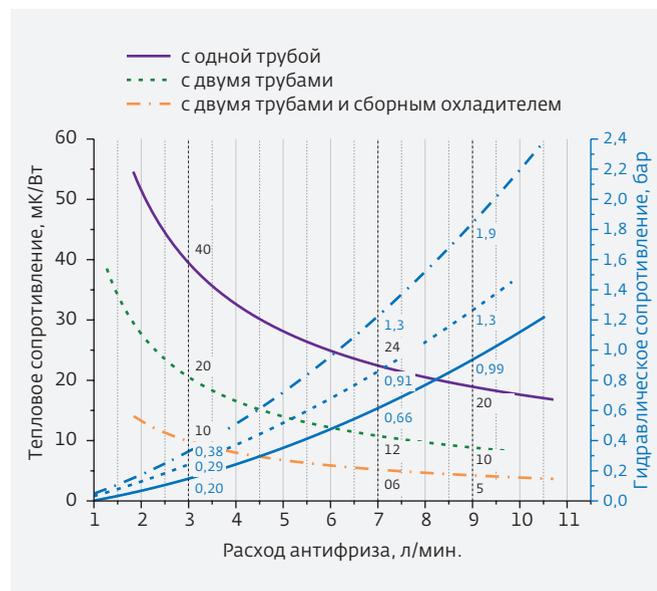
охладителем в месте установки ЭРЭ с высоким тепловыделением. Эффективность теплообмена первого и третьего корпуса отличается в несколько раз. В свою очередь, у корпуса с комбинированными элементами теплоотвода сборный охладитель имеет несколько вариантов внутреннего оребрения, что позволяет потребителю выбрать конструкцию не только по эффективности охлаждения, но и с учетом гидравлического сопротивления контура жидкостного охлаждения. Такая глубокая унификация позволяет модернизировать электронное устройство на протяжении всего времени его жизни, применяя каждый раз более современную, а значит – более мощную ЭКБ.

Аналогичный уровень унификации достижим у БНК-Т воздушного охлаждения. Сборный пластинчатый радиатор за счет различных комбинаций алюминиевых и медных элементов конструкции может изменять свою эффективность на 40%. Кроме того, в рамках единой конструкции ячейки воздушного охлаждения возможны три исполнения: встраиваемая ячейка, автономная ячейка с блоком электроклапанов и настольный прибор в корпусе.

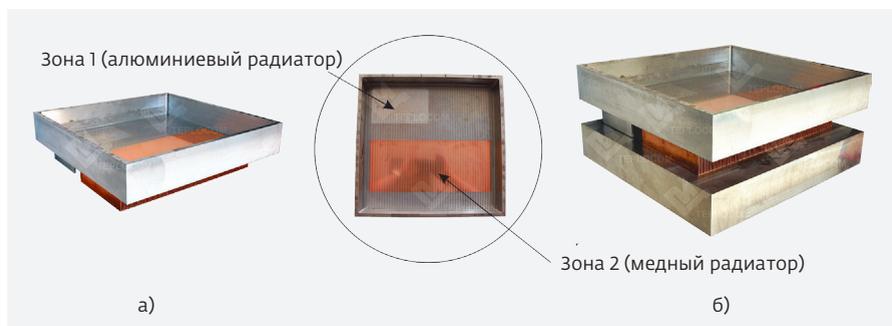
Хорошим примером унифицированного подхода к БНК-Т служит РЛС. С точки зрения электронного оборудования радиолокационная система включает комплекс модулей приемопередатчиков, систем электропитания и вычислительных средств. В 2013 году ИЦ "Теплоком" приступил к созданию унифицированных конструктивных и компоновочных решений для обеспечения заданных тепловых режимов вычислительных модулей и блоков. Для РЛС на основе твердотельных радиопередатчиков мы можем предложить

готовые унифицированные конструкции несущих шасси и блочных каркасов с элементами воздушного (рис.25), жидкостного и испарительного охлаждения. Для РЛС на основе активной фазированной антенной решетки созданы унифицированные типоразмерные ряды БНК-Т для многоканальных приемо-передающих модулей различных диапазонов.

Подобный набор решений можно использовать в любой задаче мощного приборостроения, силовой



**Рис.24.** Тепловое сопротивление панелей между корпусом имитатора и теплоносителем на входе в канал охлаждения при отводимой мощности тепловыделения 340 Вт. Гидравлическое сопротивление между входом и выходом из канала охлаждения



**Рис.25.** Тепловые макеты БНК-Т для усилителей мощности в герметичном исполнении для радиопередатчика РЛС с воздушным охлаждением: а) каркас с комбинированным теплоотводящим шасси, рассчитанным на один усилитель мощности; б) каркас с двухсторонним несущим теплоотводящим шасси и общей группой пластинчатых радиаторов, рассчитанный на два усилителя мощности

электроники, вычислительной техники и т.д. Они будут востребованы и эффективны для охлаждения и термостабилизации электрооборудования и систем управления на автомобильном, железнодорожном и авиационном транспорте, для создания

мощных систем ТВ-вещания и радиосвязи, во многих задачах двойного применения.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Патент РФ 90285, МПК Н05К7/20. Радиоэлектронный блок / Муров Ю.М. Опубл. 09.07.2009.
2. ГОСТ Р 51623-2000. Конструкции базовые несущие радиоэлектронных средств. Система построения и координационные размеры.
3. Данилов Д.А., Егоров В.И., Фадеева С.В., Шарков А.В. Моделирование тепловых режимов электронных систем с естественной вентиляцией. - Известия вузов. Приборостроение -2010, Т.53, №4, с. 41-44.
4. ТУ на радиатор жидкостного охлаждения с двухсторонним монтажом СИЭЛ.301129.001ТУ.

**Компании "Абрис-Технолоджи" – 10 лет!**

2 августа 2014 года исполняется 10 лет компании "Абрис-Технолоджи" – современному заводу по производству печатных блоков. Сегодня это мощное промышленное предприятие, по праву занимающее почетное место в десятке сильнейших контрактных производителей России.



Завод может гордиться своими экономическими показателями и технологическими достижениями в области монтажа печатных плат и сборке электронных блоков под ключ. В этом огромная заслуга всего коллектива – от руководящего звена и до тружеников производства, превративших небольшой участок с одной линией поверхностного монтажа в предприятие, оснащенное современным оборудованием ведущих мировых производителей.

Отлаженные процессы пайки сложнейших электронных блоков, разработка и освоение технологий серийного монтажа СВЧ-блоков, RoP-технологии и многих других – все это достижения специалистов "Абрис-Технолоджи". Желаем заводу дальнейшего процветания и развития, смелых инноваций и производственных прорывов! Сохраняйте традиции, используя технологии 21 века. Пусть для вас всегда будут открыты горизонты, исполняются намеченные планы и все проекты!

Редакция журнала "ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ"

