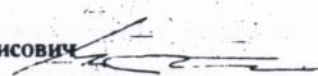


**ОДЕССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

*На правах рукописи*

**ТКАЧЕНКО Владимир Борисович** 

621.396.6

**ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ  
АППАРАТУРЫ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ ПО  
ВЫСОКОВОЛЬТНЫМ ЛИНИЯМ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ ЗА СЧЕТ  
ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА  
ЭЛЕКТРОРАДИОЭЛЕМЕНТОВ**

Специальность 05.13.04 - Автоматизированные системы управления и  
системы обработки информации

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени кандидата  
технических наук

**Одесса - 1995**

ЛНБ України ім.В.Стефаніка



00761563 (S)

Диссертацией является рукопись  
Работа выполнена на кафедре "Конструирование радиоаппаратуры" Одесского государственного политехнического университета.

**Научный руководитель:** - кандидат технических наук, доцент  
Ерминой И.Н.

**Официальные оппоненты:** - доктор технических наук, профессор  
Коноплев И.Д.  
- кандидат технических наук, доцент  
Препелица Г.П.

**Будущее предприятие:** Институт проблем критических технологий  
и надежности радиоэлектроники при  
Национальной академии наук Украины

Защита состоится "21" декабря 1995 г. на заседании специализированного ученого совета Д 05.06.04 Одесского государственного политехнического университета по адресу:

270044, г. Одесса, пр. Шевченко, 1, ОГПУ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Одесского государственного политехнического университета по адресу:

270044, г. Одесса, пр. Шевченко, 1, ОГПУ.

Автореферат разослан "21" ноября 1995 г.

**Ученый секретарь**  
специализированного ученого совета  
канд.техн.наук, профессор

Ю.С.Ямпольский

ЛНБ ім. В. Стефаніка  
АН України

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность.** Одним из классов устройств, предназначенных для передачи информации по высоковольтным линиям электропередачи, является каналобразующая аппаратура высокочастотной связи (АВС). В связи с широким применением в ней силовых полупроводниковых диодов и транзисторов, являющихся одновременно основными термочувствительными элементами, потребляемая ими электрическая мощность в значительной степени преобразуется в тепловую энергию, вследствие чего происходит рост рабочих температур, входящих в АВС элементов. Рост рабочих температур вышедопустимых значений и возникающие при этом перегревы приводят к уменьшению надежности отдельных электрорадиоэлементов (ЭРЭ), выходу из строя соответствующих функциональных узлов и, в конечном итоге, к отказу АВС в целом. Для устранения этого дестабилизирующего фактора, повышения надежности АВС и увеличения ее долговечности возникает необходимость снижения общего уровня температур в АВС. В связи с этим при разработке АВС актуальной является задача обеспечения заданного теплового режима входящих в нее ЭРЭ.

По требованиям условий эксплуатации в АВС допускается реализация только естественного воздушного охлаждения ЭРЭ. В этой связи решение указанной задачи имеет важное значение не только для АВС, но и для электронной аппаратуры других автоматизированных систем управления и систем обработки информации, которая размещается вне помещений, вдали от мощных источников электроэнергии, холодо- и водоснабжения и функционирование которой должно обеспечиваться при отсутствии непрерывного и даже периодического технического обслуживания и контроля, т.е. в условиях, когда не могут быть реализованы интенсивные методы охлаждения ЭРЭ.

Цель работы и задачи исследования. Целью настоящей работы является повышение надежности АВС за счет обеспечения заданного теплового режима входящих в нее ЭРЭ.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Разработать методику расчета температуры ЭРЭ в печатных узлах и блоках АВС.

2. Исследовать влияние размещения печатных узлов и блоков в стативе АВС на температуру и расход воздуха и разработать рекомендации по их рациональному размещению с точки зрения повышения надежности.

3. Разработать тепловую и математическую модели радиаторов для ЭРЭ в АВС на основе трехмерной теплопроводности и решить задачу оптимизации геометрических характеристик радиаторов.

4. Провести экспериментальную проверку методики расчета температуры ЭРЭ в печатных узлах и блоках АВС и установит погрешность расчета.

Объект исследования. Аппаратура высокочастотной связи и другая аппаратура автоматизированных систем управления и систем обработки информации, размещаемая в несущих конструкциях третьего уровня с модульным принципом построения.

Методы исследований. В работе использованы методы электротепловой аналогии и численные методы решения краевых задач математической физики, элементы статистического анализа, а также экспериментальные методы исследования температурных полей в телах с внутренними источниками теплоты.

Научная новизна. Научная новизна работы состоит в следующем:

1. Разработана тепловая и математическая модели многоблочных радиоэлектронных систем (РЭС) с естественной вентиляцией, позволяющие проводить анализ и синтез конструкций АВС с точки зрения создания заданных температурных условий их работы.

2. Впервые для многоблочных РЭС с естественным воздушным охлаждением установлена аналитическая зависимость, определяющая расход воздуха в зависимости от рассеиваемой мощности и топологии ЭРЭ в РЭС.

3. Предложена методика размещения блоков и печатных узлов в АВС, основанная на учете влияния температуры на надежность ЭРЭ.

4. Разработана тепловая и математическая модели радиаторов для ЭРЭ в АВС, позволяющие оптимизировать их конструкции в условиях естественного воздушного охлаждения.

#### Практическая ценность.

1. Разработана методика расчета теплового режима АВС. Для удобства пользователя методика реализована в виде комплекса программных средств для ЭВМ типа IBM PC.

2. Разработаны рекомендации по размещению печатных узлов и блоков в АВС с точки зрения повышения надежности ЭРЭ.

3. Разработаны рекомендации по оптимальному конструированию радиаторов для ЭРЭ в АВС.

Реализация результатов работы. Результаты работы в виде законченных программ используются при выполнении разработок шкафов АВС в СКБ "Молния". Программы переданы на родственные предприятия России для использования в аналогичных целях.

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались и обсуждались на кафедре "Конструирование и производство радиоаппаратуры" Одесского Государственного политехнического университета, на научной конференции профессорско-преподавательского состава ОГПУ в ноябре 1994 г.

Публикации. По результатам исследований, выполненных в процессе работы над диссертацией, опубликованы две печатные работы и одна работа депонирована.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованных источников из 64 наименований, содер-

жит 161 страницу основного текста, иллюстрированного 17 рисунками, и 3 приложения.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи исследования, изложены основные научные и практические результаты работы, выносимые на защиту.

В первой главе рассмотрено современное положение в конструировании АВС. Проведен анализ характерных особенностей конструкций АВС. Рассмотрено состояние вопроса по расчету и обеспечению теплового режима конструкций, в которых используется модульный принцип построения и естественное воздушное охлаждение. Проанализированы две группы методик расчета тепловых режимов. К первой группе относятся методики, полученные экспериментальным путем, ко второй - аналитическим. Существующие методики не позволяют в полной мере анализировать тепловой режим конструкций АВС и на их основе принимать решения, обеспечивающие необходимую надежность при ее конструировании. Основной причиной этого является то, что расход воздуха в естественно вентилируемой аппаратуре определяется достаточно грубо.

Рассмотрены вопросы, связанные с размещением печатных узлов и блоков, при котором обеспечивается максимальная надежность ЭРЭ. Эта задача вызвана тем, что различные ЭРЭ по-разному изменяют свои показатели надежности от температуры. Тот факт, что в АВС присутствуют узлы и блоки, существенно отличающиеся между собой по теплонапряженности, способствует актуальности решения этой задачи. Отмечено, что подобная задача решена только для принудительно охлаждаемой РЭА.

При проектировании АВС возникает необходимость в выборе типа и оптимизации конструкций радиаторов, чаще всего составляющих переднюю и заднюю панели блоков АВС, для условий естественного воздушного охлаждения. Проведенный анализ методик оптимизации радиаторов показал, что решение задачи оптимизации геометрических характеристик радиаторов осуществляется на основе совместного анализа процессов теплопередачи на поверхности ребер и теплопроводности в ребрах. При этом рассматривается одномерная или в лучшем случае двумерная теплопроводность.

Если для радиаторов с равномерным распределением теплового потока по основанию применение одномерных и двумерных моделей можно считать обоснованным, а полученные результаты удовлетворительными, то для радиаторов, предназначенных для охлаждения мощных локальных полупроводниковых приборов, что характерно для АВС, это является серьезным допущением.

На основании вышесказанного обоснованы и сформулированы цели работы и задачи исследования.

Во второй главе разработана тепловая модель АВС и ее математическое описание, создана методика определения расхода воздуха в естественно охлаждаемой АВС и разработана методика анализа теплового режима такой аппаратуры.

Выполненная схематизация тепло-аэродинамических процессов в АВС позволила представить тепловую модель в виде схемы соединения тепловых сопротивлений. Схема состоит из узлов, соответствующих изотермическим поверхностям ЭРЭ, участков корпуса стativa АВС, печатных узлов и блоков, радиаторам, объемам воздуха, протекающим через нагретую зону АВС, и окружающей среде (рис. 1).

Узловые точки схемы соединены между собой сопротивлениями, соответствующими реальным тепловым сопротивлениям между отдельными конструктивными элементами АВС, а также между последними и воздухом внутри и снаружи АВС. Источники теплоты, действующие в АВС, в тепло

вой модели представлены в виде генераторов тока, включенных в те узловые точки, которые характеризуют теплорассеивающие ЭРЭ. Производительность каждого генератора тока равна мощности соответствующего источника теплоты.

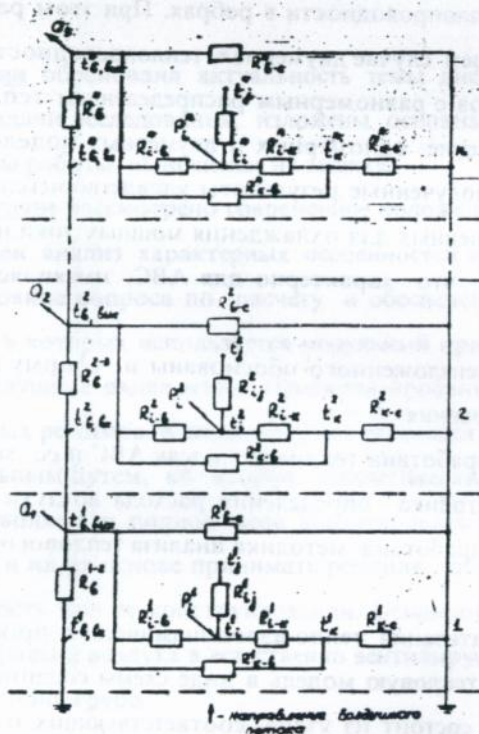


Рис. 1. Схема соединения тепловых сопротивлений в ABC

Аккумуляция тепловой энергии воздухом, протекающим через ABC, отражена нелинейными стоками. Они включены в те узловые точки, потенциалы которых равны температурам воздуха на выходе из каналов ABC. Производительность каждого стока определяется расходом охлаждающего воздуха

в каналах АВС. Расход воздуха определяется из рассмотрения уравнений теплопередачи и баланса механической энергии потоков воздуха в АВС. Получены уравнения, полностью определяющие тепло-аэродинамические пара-

метры АВС с естественной вентиляцией. Эти уравнения имеют вид:

$$H_i = g \cdot h_i \left[ \frac{\rho(t_{oc}) - 352,989}{t_{вых,j} - t_{вх,j}} \cdot \ln \frac{t_{вых,i} + 273}{t_{вх,i} + 273} \right]; \quad (1)$$

$$H = \sum_{i=1}^n H_i; \quad (2)$$

$$H_i = H_{тр} + H_{от}; \quad (3)$$

$$H_{от} = \left( 3,979 - \frac{5,92}{K_n} + \frac{3,087}{K_n^2} - \frac{8,801 \cdot 10}{K_n^3} \right) \cdot \rho \cdot V_i; \quad (4)$$

$$H_{тр} = 9,5 \cdot 10^{-4} \cdot d_i^{-1,75} \cdot V_i + 0,35 \cdot d_i^{-0,67} \cdot h^i \cdot V_i^2; \quad (5)$$

$$Q_i = C \cdot (t_{вх,i}) \cdot \rho(t_{вх,i}) \cdot G(t_{вых,i} - t_{вх,i}) + k_i \cdot F_i \cdot \left( \frac{t_{вых,i} + t_{вх,i}}{2} - t_{oc} \right); \quad (6)$$

Анализ этих уравнений показывает, что получить из них в явном виде уравнение для расчета расхода воздуха не представляется возможным. В этой связи разработан алгоритм расчета расхода воздуха численным методом, основанном на методе половинного деления. Указанный алгоритм реализован в виде программы на языке PASCAL.

Математическая модель, описывающая тепловую модель АВС, представлена системой уравнений

$$\left. \begin{aligned}
 t_i &= \frac{P_i + \left( \frac{t_j}{R_{ij}} + \frac{t_{b, \text{вых}}}{R_{i-b}} + \frac{t_k}{R_{i-k}} \right)}{\frac{1}{R_{ij}} + \frac{1}{R_{i-b}} + \frac{1}{R_{i-k}}}; \\
 t_j &= \frac{P_j + \left( \frac{t_i}{R_{ji}} + \frac{t_{b, \text{вых}}}{R_{j-b}} + \frac{t_k}{R_{j-k}} \right)}{\frac{1}{R_{ji}} + \frac{1}{R_{j-b}} + \frac{1}{R_{j-k}}}; \\
 t_{b, \text{вых}} &= \frac{\frac{t_i}{R_{i-b}} + \frac{R_{b-c} + R_b}{R_{b-c} \cdot R_b} t_c + \frac{t_k}{R_{k-b}}}{\frac{1}{R_{i-b}} + \frac{R_{b-c} + R_b}{R_{b-c} \cdot R_b} + \frac{1}{R_{k-b}}}; \\
 t_k &= \frac{\frac{t_i}{R_{i-k}} + \frac{t_c}{R_{k-c}} + \frac{t_{b, \text{вых}}}{R_{k-b}}}{\frac{1}{R_{i-k}} + \frac{1}{R_{k-c}} + \frac{1}{R_{k-b}}}.
 \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Приведенная система уравнений с использованием представленных в диссертации расчетных соотношений для определения входящих в нее тепловых сопротивлений позволяет определить температуру любого теплорассеивающего ЭРЭ в печатных узлах и блоках АВС с учетом как собственной мощности рассеяния, так и теплового взаимодействия с окружающими теплорассеивающими ЭРЭ.

Решение этой системы уравнений реализовано в виде программ на языке PASCAL. Описание всех разработанных программ и их содержание приведены в приложениях к диссертации.

**В третьей главе** приведен анализ влияния размещения печатных узлов и блоков на надежность АВС и сформулированы рекомендации по размещению печатных узлов и блоков в корпусе стива АВС.

Надежность РЭС зависит от большого числа факторов, важнейшим из которых является температура ЭРЭ. Оценка влияния температуры на надежность РЭС может быть выполнена по следующей приближенной формуле:

$$\lambda_i = A \cdot \lambda_{i0} \exp b[(t_{\text{эс}} - t_{\text{эс0}}) + R_{\text{г}}(P_{\text{эс}} - P_{\text{эс0}})]. \quad (8)$$

В состав РЭС входят различные ЭРЭ, причем их надежность по-разному зависит от температуры.

Для естественно охлаждаемых РЭС одним из основных методов повышения надежности за счет рационального обеспечения тепловых режимов ЭРЭ является соответствующее размещение печатных узлов и блоков по высоте шкафа в зависимости от отношения мощности печатного узла или блока к его коэффициенту надежности.

Эта задача решалась путем моделирования влияния размещения по касетам АВС блоков и печатных узлов с различной мощностью рассеяния на температуру и расход воздуха в условиях естественной вентиляции. Моделирование проводилось на ЭВМ с помощью разработанных программ по расчету теплового режима АВС.

Влияние размещения блоков и печатных узлов в шкафу имитировалось различным распределением мощности рассеяния по касетам. При этом исследовались два крайних варианта размещения:

по убыванию мощности рассеяния блоков и печатных узлов по высоте шкафа в направлении движения воздуха и наоборот - по возрастанию. Кроме этого исследовано влияние коэффициента нагрузки блоков и печатных узлов на расход воздуха в шкафу при различном распределении мощности рассеяния по касетам.

Анализ результатов моделирования и проведенные исследования позволили сформулировать следующие рекомендации по размещению печатных узлов и блоков в АВС, направленных на повышение их надежности:

1. Если максимальный коэффициент нагрузки печатных узлов и блоков не превышает 1,4, последние по высоте шкафа следует располагать в порядке возрастания отношения их мощности рассеяния к коэффициенту надежности.

2. Если максимальный коэффициент нагрузки печатных узлов и блоков превышает 1,4, то лучшим вариантом их размещения с точки зрения повышения надежности является такой, когда мощность рассеяния по высоте шкафа убывает.

3. Если по схемотехническим, конструкторско-технологическим или иным причинам реализация сформулированных выше рекомендаций является затруднительной, задачу оптимального с точки зрения надежности расположения блоков и печатных узлов в конкретной конструкции шкафа АВС следует решать методом перебора с использованием разработанной в диссертации методики расчета теплового режима АВС.

В четвертой главе разработана методика оптимизации конструкции радиаторов для обеспечения теплового режима ЭРЭ в АВС на основе рассмотрения трехмерного дифференциального уравнения теплопроводности в радиаторе. При создании методики было принято, что длина радиатора  $L$ , его ширина  $B$  и высота  $h$  являются заданными, т.к. они определяют габариты радиатора и выбираются из соображений компоновки. В связи с этим задача оптимизации конструкции радиатора решалась в следующей постановке: для заданных длины и ширины радиатора, высоты ребра и удельной мощности рассеяния ЭРЭ определить такие значения толщины ребра  $\delta$  и межреберного расстояния  $b$ , при которых температура ЭРЭ будет минимальной. В качестве тепловой модели радиатора использовался неоднородный параллелепипед. Такая модель представляет собой многосоставное тело, состоящее из идеально контактирующих между собой однородных изотропных параллелепипедов. Для формализации процессов теплопередачи в указанной тепловой модели разработана математическая модель стационарного теплового режима радиатора. С учетом сделанных допущений математическая модель

представлена трехмерным линейным дифференциальным уравнением теплопроводности в кусочно-однородной изотропной среде

$$\lambda_i \cdot \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + Q_{vj} = 0; \quad (9)$$

$$Q_{vj} = \frac{P_j}{V_j}, \text{ в параллелепипедах-источниках теплоты,}$$

$$Q_{vj} = 0, \text{ в остальных параллелепипедах;}$$

$$i = \overline{1, N}; \quad j = \overline{1, M};$$

с граничными условиями 3-го и 4-го рода

$$q(x, y, z)|_S = \alpha(x, y, z) \cdot (T - T_c);$$

$$q_{i+1}(x, y, z) = q_i(x, y, z); \quad (10)$$

$$T_{i+1}(x, y, z) = T_i(x, y, z).$$

Для решения приведенного уравнения использован универсальный численный метод - метод конечных элементов. В этом случае осуществляется переход от дифференциальных уравнений к линейным алгебраическим по формулам:

$$k_{ij} = \int_{V^{(i)}} \lambda \cdot \left( \frac{\partial N_i}{\partial x} \cdot \frac{\partial N_j}{\partial x} + \frac{\partial N_i}{\partial y} \cdot \frac{\partial N_j}{\partial y} + \frac{\partial N_i}{\partial z} \cdot \frac{\partial N_j}{\partial z} \right) dV + \int_{S^{(i)}} \alpha \cdot N_i \cdot N_j \cdot dS; \quad (11)$$

$$r_i^{(i)} = \int_{V^{(i)}} Q_{vj} \cdot N_i \cdot dV + \int_{S^{(i)}} q_{sj} \cdot N_i \cdot dS + \int_{S^{(i)}} \alpha \cdot T_o \cdot N_i \cdot dS. \quad (12)$$

В качестве конечных элементов использованы параллелепипеды с линейной аппроксимацией температуры в пределах элемента.

Кроме соответствия тепловой модели по форме, такие конечные элементы позволяют значительно сократить требуемые машинные ресурсы за счет резкого упрощения процедуры интегрирования по поверхности и объему элемента.

Решение задачи оптимизации конструкции радиатора было проведено в следующих допустимых для АВС диапазонах значений исходных данных:  $40 \leq L \leq 200$  мм;  $3 \leq h \leq 20$  мм;  $20 \leq \Delta t_{\min} \leq 60$  °С.

На рис.2 в качестве примера представлена одна из полученных в работе графических зависимостей, которая позволяет определить оптимальные значения толщины ребра радиатора  $\delta_{оп}$  и межреберного расстояния  $b_{оп}$  для каждого сочетания характерных для АВС параметров радиатора  $L$ ,  $h$  и  $\Delta t$ .

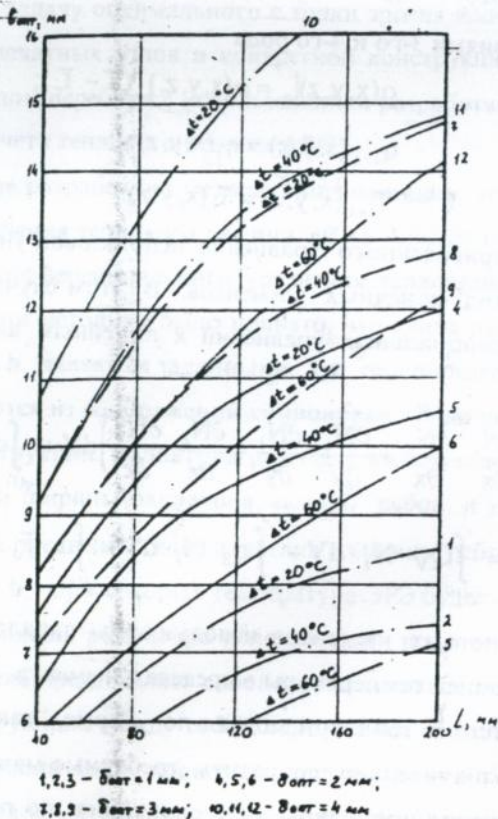


Рис. 2. Зависимость  $b_{оп} = f(L, \Delta t, \delta_{оп})$

Анализ этих зависимостей показал, что величина оптимальной толщины ребра лежит в интервале 1...4 мм, а межреберного расстояния 5...17 мм. Величина оптимального межреберного расстояния убывает с ростом  $\Delta t_{\text{min}}$  и увеличивается с увеличением длины радиатора. При постоянной длине радиатора и высоте ребра требуемое значение  $\Delta t_{\text{min}}$  можно обеспечить различным сочетанием  $\delta_{\text{оп}}$  и  $b_{\text{оп}}$ . При этом с уменьшением  $b_{\text{оп}}$  также уменьшается  $\delta_{\text{оп}}$ . В работе проведено сравнение полученных результатов с известными решениями, в которых используется одно или двумерное дифференциальное уравнение теплопроводности.

Сформулированы условия, когда использование трехмерного дифференциального уравнения является обязательным.

**В пятой главе** представлены результаты экспериментальных исследований, проведенных с целью оценки погрешности методики расчета теплового режима АВС, оценки правомерности принятых в методике допущений и подтверждения рекомендаций по размещению печатных узлов и блоков в АВС, полученных в результате моделирования теплового режима АВС на ЭВМ.

В качестве объекта исследования была выбрана реальная аппаратура типа АВСЗ.

Для оценки погрешности методики теплового расчета аппаратура АВСЗ использовалась в штатном режиме, когда мощности рассеяния ЭРЭ соответствовали карте электрических режимов.

Подтверждение рекомендаций по рациональному размещению печатных узлов и блоков требует изменения их топологии в шкафу или изменения мощности рассеяния отдельных блоков, что в реальной аппаратуре не представляется возможным. В этой связи для реализации различной топологии распределения мощности в шкафу использовались тепловые имитаторы модулей.

В результате сравнения расчетных и экспериментальных данных установлено, что максимальная погрешность методики теплового расчета АВС не превышает 20%, а рекомендации по рациональному размещению блоков и печатных узлов полностью подтвердились. Сделан вывод о том, что разработанная методика удовлетворительно согласуется с экспериментальными данными и может использоваться при конструировании АВС.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Предложены тепловая и математическая модели многоблочных РЭС с естественным воздушным охлаждением, отличительной особенностью которых является учет изменения расхода и температуры воздуха по высоте РЭС в зависимости от мощности рассеяния ЭРЭ.
2. На основе предложенных моделей разработана методика и программа расчета на ЭВМ теплового режима АВС, позволяющая определить температуру ЭРЭ в зависимости от конструктивных параметров АВС.
3. Впервые для многоблочных РЭС с естественным воздушным охлаждением предложены зависимости, позволяющие учесть влиянием на температуру и расход воздуха в АВС размещения и расположения отдельных печатных узлов и блоков. На основе анализа полученных результатов разработаны рекомендации по рациональному с точки зрения повышения надежности размещению печатных узлов и блоков в АВС.
4. Разработаны тепловая и математическая модели радиаторов для ЭРЭ в АВС, отличительной особенностью которых является учет гребенчатых температурных полей в конструкции радиаторов.
5. На основе предложенных моделей применительно к АВС разработана методика и программа расчета на ЭВМ температуры ЭРЭ, установленных на радиаторах, а также решена задача оптимизации конструктивных параметров радиаторов в АВС с естественным воздушным охлаждением. Приведены графические зависимости, позволяющие определить оптималь-

ные значения толщины ребра и межреберного расстояния в ребристых радиаторах.

6. Результаты проведенных исследований используются на ряде предприятий отрасли при проектировании АВС и аналогичных многоблочных РЭС с естественным воздушным охлаждением.

**Основное содержание работы отражено в следующих публикациях:**

1. Ткаченко В.Б. Расчет тепловых режимов естественно вентилируемых шкафов аппаратуры высокочастотной связи // Вопросы радиоэлектроники. Сер. ТРТО. - 1995. - Вып.1-2.

2. Ткаченко В.Б. Влияние размещения многоблочной РЭА с естественной вентиляцией на ее надежность // Вопросы радиоэлектроники. Сер. ТРТО. - 1995. - Вып.1-2.

3. Разработка методики расчета температуры ЭРЭ в печатных узлах и блоках аппаратуры высокочастотной связи / Ткаченко В.Б.; Одес. гос. политехн. ун-т. - Одесса, 1995. - 21 с.: ил. - 1: Библиогр.: 12 назв. - Рус. - Деп. в ГНТБ Украины N1462 - Ук95.

Подписано к печати 2.11.95г. Объем 1,05 печатных листов  
Формат 60x84<sup>1</sup>/16. Зак.159. Тираж 120

Издательство Одесского ГО "Нептун". Одесса, Промышленная, 23

ЛНБ ім. В. Стефаніка  
АН України

ци 7323

THE M. S. COMPANY  
ALL RIGHTS RESERVED



AB 33.570