

ОДЕССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи

Парашкевов Иван Христов

УДК 621.396.6

УЛУЧШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК УСТРОЙСТВ
УПРАВЛЕНИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ ЗА СЧЕТ
ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИХ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА

Специальность 05.13.05 - Элементы и устройства вычислительной
техники и систем управления

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук

Одесса - 1994

АВ 29.730

Работа выполнена на кафедре "Конструирование и производство радиоаппаратуры" в Одесском Государственном политехническом университете.

ЛННБ України ім. В. Стефаника



00810398 (Т)

Научный руководитель:

доктор технических наук,
профессор

СПОКОЙНЫЙ Ю. Е.

Официальные оппоненты:

академик АНТ Украины,
доктор технических наук,
профессор

КОНОПЛЕВ И. Д.

кандидат технических наук
доцент

ПРЕПЕЛИЦА Г. П.

Ведущее предприятие

СКБ "Молния" г. Одесса

Защита состоится "19" мая 1994 г. в 14 час. 00 мин. в ауд. 115у на заседании специализированного совета К.088.19.04 по присуждению ученых степеней кандидата технических наук в Одесском Государственном политехническом университете.

Адрес: 270044, г. Одесса, пр. Шевченко, 1, ОПТУ.

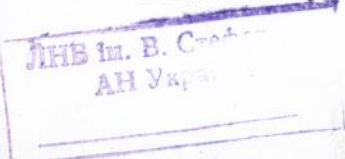
С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета.

Автореферат разослан "19" апреля 1994 г.

Отзыв, заверенный печатью, в 1-м экземпляре просим направить в наш адрес.

Ученый секретарь
специализированного совета
канд. техн. наук. ст. науч. сотр.

В.И. КАПИНОС



ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. Достижения электроники раскрывают большие перспективы дальнейшего улучшения качественных показателей разрабатываемой радиоэлектронной аппаратуры /РЭА/. В то же время непрерывное ее усложнение неразрывно связано с ростом количества используемых элементов, дальнейшим увеличением плотности монтажа и миниатюризации элементной базы. Это обуславливает рост удельной тепловой нагрузки на элементы и соответственно ухудшение надежности самих элементов. В свою очередь рост удельной тепловой нагрузки и задача обеспечения больших выходных мощностей РЭА связаны с проблемой отвода тепла - неизбежного побочного продукта работы ее элементов.

Обеспечение заданных тепловых режимов изделия используемых в различных средствах управления является одной из важнейших проблем конструирования устройств автоматического управления различного назначения. Повышение температуры изделия электронной техники /ИЭТ/ значительно снижает надежность их работы. Так например известно, что если уменьшить рабочую температуру полупроводникового прибора всего на 20%, то интенсивность отказов снизится в три раза.

По мере усложнения аппаратуры, увеличения количества применяемых в ней элементов и степени интеграция их, вопросы отвода тепла, а также разработка методов расчета тепловых режимов приобретают особую актуальность.

Отсутствие объективных данных о тепловых режимах часто приводит к необоснованно высоким запасам по току, напряжению, мощности входящих в аппаратуры элементов, что влечет за собой увеличение массы и габаритов радиоэлектронных блоков /РЭБ/. Устранение даже незначительных субъективных ошибок в схеме, конструкции, общей компоновке, следствием которых могут быть недопустимые локальные перегревы и температурные влияния, требуют больших дополнительных непроизводительных затрат на преработку всей конструкции.

Исследования в этой области показывают, что одним из возможных путей решения этой проблемы является разработка и внедрение прогрессивных методов теплового конструирования РЭБ на основе моделирования и принятия необходимых проектных решений.

Особенно актуальна эта проблема для радиоэлектронных блоков управления /РЭБУ/ в связи с тем, что этот класс аппаратуры характеризуется нерегулярной структурой. В них расположены наряду с печатными платами с установленными на них элементами, мощные полупроводниковые приборы /МПП/ с радиаторами. Параметры таких блоков

в значительной степени определяются их тепловым режимом. Поэтому одним из важнейших этапов проектирования РЭБ управления является их тепловое конструирование. Его цель - поиск оптимальной компоновки системы МПП - радиатор, платы с расположенными на них ИЭТ, силовой трансформатор, расположение других пассивных с точки зрения тепловых режимов элементов /ПСЭРЭ/, выбор геометрических и тепловых характеристик блоков, обеспечивающих заданный температурный режим РЭБУ.

Известны различные методы расчета и обеспечения теплового режима РЭА, в том числе аппаратуры систем управления. Они, как правило, относятся к конструкциям с регулярным расположением активных элементов и равномерным распределением мощностей рассеивания. В этой связи использование таких методик для расчета теплового режима РЭБУ связано с большими трудностями. Серьезным затруднением при проектировании РЭБУ является и то, что отсутствуют рекомендации по целенаправленному синтезу их конструкций с условием обеспечения заданного теплового режима. Это приводит к вынужденной разработке РЭБУ методом проб и ошибок, что связано со значительными затратами времени и средств.

Поскольку тепловые процессы в РЭБ управления являются сложными и многофакторными, поиск необходимых решений связан с перебором множества вариантов определяющих факторов. Для снижения трудоемкости подобных задач, необходимо создать методику расчета их теплового режима и реализовать ее в виде комплекса программных средств для работы на ПЭВМ. Эта методика должна быть проверена экспериментально и установлена ее погрешность. Экспериментальная проверка связана с необходимостью проведения тепловых испытаний РЭБУ.

В настоящее время отсутствуют камеры для проведения тепловых испытаний РЭБУ, имеющих высокую точность задания и поддержания температуры воздуха. В связи с этим при создании экспериментального стенда для решения поставленной задачи необходимо разработать терморегулятор с термокамерой, которые эту точность обеспечивают.

Все сказанное подтверждает актуальность вопросов рассматриваемых в настоящей работе.

Цель работы - улучшение эксплуатационных характеристик РЭБ управления, содержащих кроме плат с смонтированными ИЭТ, также МПП на радиаторах, силовые трансформаторы и ПСЭРЭ, за счет создания необходимого температурного режима их работы и разработка средств для экспериментальной проверки теплового режима.

Основные задачи работы.

1. Разработать тепловые и математические модели блоков управления РЭА на базе которых разработать "точный" и "инженерный" метод расчета теплового режима РЭБУ при естественном воздушном охлаждении в герметичных и перфорированных кожухах.
2. Разработать методику измерения тепловых режимов РЭБУ.
3. Разработать экспериментальное оборудование с необходимыми устройствами для проведения исследований теплового режима РЭБУ.
4. Определить погрешность предлагаемых методик расчета.
5. Разработать рекомендации по конструированию РЭБ управления, обеспечивающие заданный тепловой режим входящих в них элементов.

Методы исследований. В работе использованы аналитические методы решения краевых задач математической физики, элементы статистического анализа и экспериментальные методы исследования.

Научная новизна.

1. Предложена классификация РЭБ управления с точки зрения их теплового режима. Классификация охватывает существующие и перспективные конструкции.

2. Разработаны тепловые и математические модели РЭБ управления с нерегулярной структурой с естественным воздушным охлаждением в герметичных и перфорированных кожухах, позволяющие проводить анализ конструкций РЭБУ с точки зрения заданных температурных условий их работы.

3. Выделены определяющие с точки зрения обеспечения теплового режима параметры в РЭБ управления и установлено их влияние на тепловой режим типичных конструкций РЭБУ в соответствии с разработанной классификацией, что позволяет осуществлять целенаправленное конструирование подобных блоков с заданными температурными условиями работы.

Практическая ценность.

1. Разработана "точная" и "инженерная" методика расчета тепловых режимов РЭБ управления с нерегулярной структурой. При создании "точной" методики использован метод тепловых схем, а при разработке "инженерной" - коэффициентный метод. Определены погрешности этих методик.

2. Разработана методика для измерения тепловых режимов РЭБУ.

3. Предложены варианты принципиальных схем многоточечных термометров на базе которых разработан "10 точечный термометр для измерения тепловых режимов РЭБУ".

4. Разработано экспериментальное оборудование с необходимыми

устройствами для исследования тепловых режимов РЭБУ.

5. Сформулированы рекомендации по выбору рациональных значений конструктивных параметров и способов организации охлаждения РЭБ управления.

Для удобства пользования разработанная методика и рекомендации реализованы в виде комплекса программных средств ориентированных на разработчика без специальной квалификации в области тепловых режимов. Пользователь работает в интерактивном режиме на персональном компьютере.

Реализация результатов работы. Основные научные и практические результаты диссертационной работы внедрены в виде методик, комплексных программ, измерительных устройств и использованы при проектировании ряда устройств в фирме "Экологическая электроника" г. Плевен Р.Болгария.

Апробация работы. Основные положения и результаты работы докладывались и обсуждались:

1. На Научно - технической конференции болгарских научных работников на Украине - г. Киев 1985 г.
2. На семинаре НИИ АПО РЭА и конференции профессорско - преподавательского состава ОПИ / Одесса, 1985 г. и 1987 г. /.
3. На Научно - технических конференциях подразделения 22810 г. София 1988 г. и 1991 г.

Публикации. По результатам выполненных исследований опубликовано 17 печатных работ.

Структура и объем. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 147 наименований и приложений. Работа общим объемом 328 стр. содержит 133 стр. основного текста, 112 рисунков, 78 таблиц, 16 приложений.

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 обоснована важность обеспечения заданных тепловых режимов для любой РЭА, а также для РЭБ управления. Показана связь между увеличением температуры корпуса отдельного ИЭТ и снижением надежности всей аппаратуры. Сформулирована основная задача теплового расчета РЭБУ - обеспечение теплового режима и следовательно и высокой надежности ИЭТ на всех стадиях проектирования. Рассмотрено также современное состояние исследований по анализу

теплового режима применяемому на различных стадиях конструирования блоков РЭА.

Проведен анализ конструкций существующих РЭБУ различного назначения. Такие РЭБУ применяются для управления нагревателями в технологических процессах производства, управления различного рода электронными и электромеханическими устройствами, управления двигателями и др. В этих блоках размещены разное количество вертикально ориентированных печатных плат с смонтированными на них ИЭТ, разное число мощных полупроводниковых приборов на радиаторах, силовые трансформаторы, разное количество пассивных с точки зрения тепловых режимов элементов.

На основе проведенного анализа, структура обобщенного блока управления с естественным воздушным охлаждением представлена в виде многосостовного, неоднородного, анизотропного тела с нерегулярной структурой, содержащее совокупность нагретых зон, которые находятся в тепловом взаимодействии между собой и окружающей средой / рис. 1 /.

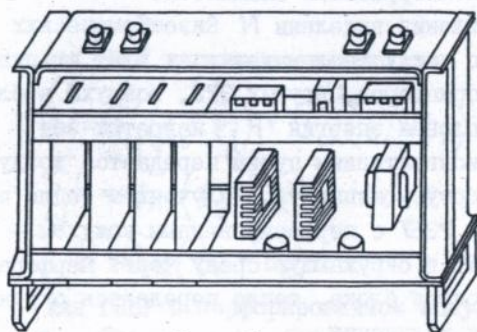


Рис. 1.

Рассмотрены также полувывшие развитие в настоящее время тепловые модели РЭА и методики их теплового расчета. Там же показано, что применительно к РЭБУ, структура которых представлена на рис. 1 они не позволяют адекватно описать тепловой режим таких блоков. Рассмотренные методики предназначены в основном для расчета теплового режима РЭБ, содержащих большое

количество одинаковых в конструктивном отношении элементов / детали, модули, платы с смонтированными на них ИЭТ / повторяющимися во всех измерениях.

В тоже время в практике создания блоков управления различной РЭА часто имеет место сочетание разнородных элементов / монтажные платы с электронными компонентами, МПП на радиаторах, силовые трансформаторы, другие ПСЭРЭ /. По таким блокам методики расчета теплового режима практически отсутствуют.

Также рассмотрены экспериментальные средства для оценки теплового режима устройств РЭА. Используемые в большинстве случаев

термоэлектрические преобразователи неудобны в работе, так как для точных измерений необходима жесткая термостабилизация их холодного спая, а также из-за сложностей возникающих в связи с закреплением термопреобразователей на ЭРЭ и их коммутацией со вторичными измерительными приборами. Отмечано, что четко сформулированной методики для проведения тепловых испытаний нет.

Сформулированы цели и задачи исследования.

Вторая глава посвящена разработке "точной" и "инженерной" методики расчета тепловых режимов РЭБУ с естественной вентиляцией в герметичном и перфорированном кожухе. Осуществлен анализ конструкций РЭБУ с точки зрения их теплового режима. Выделены ряд характерных особенностей относящихся к РЭБУ с естественным воздушным охлаждением. На основе этого анализа разработана классификация рассматриваемых конструкций РЭБУ с точки зрения их теплового режима. Эта классификация предусматривает разделение конструкции на две большие группы - в герметичном корпусе и в перфорированном корпусе. В каждой из этих групп блоки классифицируются по наличию в них различных теплонагруженных элементов.

В конструкциях РЭБ управления выделены N изотермических областей, соответствующих по числу тепловыделяющих плат, радиаторов с МПП, силовых трансформаторов, других ЭРЭ, воздуха в блоке, а также корпуса и среды. Тепловая энергия P нагретых зон рассеивается тремя путями: конвективным путем передается воздуху в аппарате и от воздуха к корпусу аппарата. Излучением тепло передается корпусу блока. Если РЭБУ с перфорированным кожухом - конвекцией часть тепла уходит в окружающую среду через перфорации в корпусе прибора. С корпуса блока, тепло передается окружающей среде путем конвекции и излучения.

Разработанная тепловая модель исследуемых РЭБУ представлена совокупностью нагретых зон, которые обмениваются между собой конвективно - лучистым тепловым потоком через соответствующие тепловые проводимости. Для расчета их температур в работе предложена тепловая схема / рис. 2 / и использован принцип суперпозиции температурных полей.

Она содержит $N + 3$ узловых точек; точки $1, 2, \dots, N$ соответствуют пластинам /радиаторам с МПП, платам с ИЭТ, силового трансформатора, другие ЭРЭ/; $N + 1$ - воздуху внутри аппарата, $N + 2$ - корпусу и $N + 3$ - среде, окружающей РЭБУ. Узловым точкам / $N + 1$ / и / $N + 2$ / предписаны индексы "в" и "к", а среда обозначена символом "земля". Температуры узловых точек соответствуют среднепо-

верхностным температурам пластин, ЭРЭ и корпуса, а также среднеобъемной температуре воздуха в аппарате.

Применяя закон сохранения энергии к отдельным процессам теплообмена РЭБУ составим систему уравнений, решая которую найдем необходимые температуры, отвечающие принятой тепловой схеме.

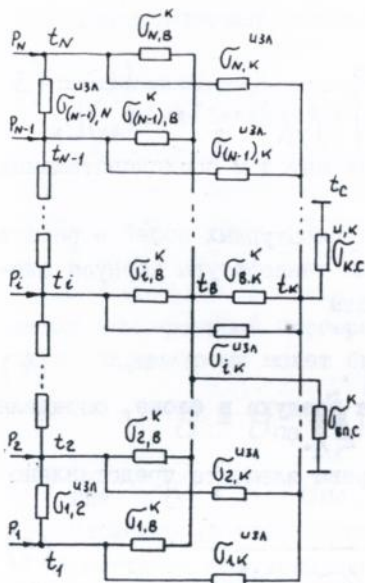


Рис. 2

для РЭБУ в герметичном кожухе

$$\left. \begin{aligned} P_i &= \tilde{G}_{ij}^k (t_i - t_j) + \tilde{G}_{iK}^k (t_i - t_K) + \tilde{G}_{iB}^k (t_i - t_B) \\ \sum_{i=1}^N P_i &= \tilde{G}_{KB}^k (t_B - t_K) \quad i=1 \dots N, j=1 \dots N \\ \sum_{i=1}^N P_i &= \tilde{G}_{KC}^k (t_K - t_C) \quad i \neq j \end{aligned} \right\} (1)$$

для РЭБУ в перфорированном кожухе

$$\left. \begin{aligned} P_i &= \tilde{G}_{ij}^k (t_i - t_j) + \tilde{G}_{iK}^k (t_i - t_K) + \tilde{G}_{i,вп}^k (t_i - t_{вп}) \\ &\quad i=1 \dots N, j=1 \dots N, i \neq j \\ \sum_{i=1}^N P_i &= \tilde{G}_{K,вп}^k (t_{вп} - t_K) + \tilde{G}_{вп,с}^k (t_{вп} - t_C) \\ \sum_{i=1}^N P_i &= \tilde{G}_{K,с}^k (t_K - t_C) + G_{РЭБУ} \rho C_p (t_{вых} - t_{вх}) \end{aligned} \right\} (2)$$

Здесь и далее \tilde{G} — тепловые проводимости между соответствующими изотермическими поверхностями. Например $\tilde{G}_{K,C}^k$ — тепловая проводимость между кожухом и средой.

Используя расчетные соотношения для скорости воздуха в перфорированном блоке получено выражение для расчета температуры воз-

духа на выходе из нагретой зоны РЭБУ

$$t_{\text{вых}} = t_{\text{вх}} + \frac{Q_{\text{РЭБУ}}}{\rho c_p S_{\text{перф}} \frac{1}{\beta/2 (\sum_{n_1}^{\beta_{\text{вх}}} + \sum_{n_2}^{\beta_{\text{вх}}})} \sqrt{\beta \rho g (\frac{t_{\text{вых}} + t_{\text{вх}}}{2} - t_{\text{вх}})} L_x} \quad (3)$$

Значение температуры $t_{\text{вых}}$ находится методом последовательных приближений.

Согласно принципу суперпозиций температурных полей в работе использовано выражение для определения температуры корпуса элемента смонтированного на печатной плате

$$T_j = \tilde{T}_j + \theta_{jj} + \sum_{i=1, i \neq j}^5 \theta_{ij}, \quad (4)$$

где \tilde{T}_j - среднеобъемная температура воздуха в блоке, определяемая из решения уравнения / 1 / или / 2 /.

Выражение для собственного перегрева элемента представлено в виде

$$\theta_{jj} = \frac{P_j}{\sigma_{\text{к-ср}} + (1/\sigma_{\text{к-пл}} + 1/\sigma_{\text{пл-ср}})^{-1}} \quad (5)$$

Наведенные перегревы от других элементов θ_{ij} определяются по формуле

$$\theta_{ij} = \theta_{jj} \frac{K_o(B_{rij})}{K_o(B_{Ri})} \quad (6)$$

Для расчета теплового режима МШП расположенного на радиаторе использовано уравнение для теплового сопротивления радиатора

$$R_{\text{пр.к}} + R_{\text{к.р}} + R_{\text{р.ос}} = \frac{t_{\text{пр.дан}} - t_{\text{ос}}}{P_c} = R_{\text{пр.ос}} \quad (7)$$

На основании решения систем уравнений / 1 / и / 2 /, а также соотношений / 3 /.../ 7 / разработан алгоритм и "точная" методика расчета теплового режима РЭБУ и предложена программа, реализующая этот алгоритм для ПЭВМ.

Для оперативной оценки теплового режима РЭБУ, а также для оценки влияния определяющих параметров конструкций на тепловой режим РЭБУ разработана упрощенная математическая модель РЭБУ, которую возможно представить наиболее простым способом с использованием небольшого числа основных параметров. Эта модель основана на так называемом коэффициентном методе расчета в котором определяется тепловой режим РЭБ управления в зависимости от изменения каждого из основных параметров.

Математическая модель имеет вид

$$\theta = \theta_{no} f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n), \quad (8)$$

Для определения входящих в / 8 / параметров x_1, \dots, x_n все эти параметры поочередно фиксируются и изучается влияние на тепловой режим только одного из них.

В соответствии с представленной моделью, разработана "инженерная" методика расчета теплового режима РЭБУ в которой, связь между температурой перегрева кожуха, нагретой зоны и определяющими их параметрами может быть представлена в виде произведения

$$\theta = \theta_{no} \prod_{i=1}^n K_i, \quad (i=1, 2, \dots, n),$$

где $K_i = \theta_i / \theta_{no}$; $\theta_{no} = \theta_{no}(x_{10}, x_{20}, \dots, x_{i0}, \dots, x_{n0})$. (9)

Зависимость коэффициентов K_i от соответствующих параметров в диссертации получены экспериментально и изображены в виде графиков для получения которых было найдено отношение θ_i / θ_{no} при различных значениях выбранного x_i и базовых /фиксированных/ значений всех остальных параметров.

Результаты обработки полученных данных на основе коэффициентного метода позволили предложить в диссертации графоаналитический метод для определения средних поверхностных температур корпуса и нагретой зоны РЭБУ соответственно в герметичном или перфорированном корпусе пригодном для ручного счета.

Определенные по / 9 / перегревы нагретой зоны и кожуха РЭБУ позволяют рассчитать температуры перегревов воздуха в блоке и корпусах ЭРЭ, МПП, используя известные зависимости.

В третьей главе разработан стенд для экспериментального исследования тепловых режимов РЭБУ в герметичных и перфорированных кожухах.

Стенд состоит из: 1. оригинального специально разработанного терморегулятора с термокамерой в которой задается температура воздуха от 30 до 99°C с точностью не хуже $\pm 0,1^\circ\text{C}$; 2. оригинального специально разработанного 10 точечного термометра с термодатчиками в виде транзисторов в пластмассовом корпусе; блок питания совмещающий в себе четыре одинаковых по параметрам стабилизированных выпрямителя. Дополнительно предложены тепловые имитаторы печатных плат и радиаторов, а также устройство для подбора транзисторных термодатчиков.

Стенд позволяет экспериментально получить зависимость перегревов элементов и корпуса РЭБУ от: габаритных размеров блока, коэффициента заполнения блока, мощности рассеивания, степени черноты поверхности, температуры окружающей среды и площади перфорационных отверстий в блоке.

Для решения этой задачи стенд обеспечивает:

контролируемое электрическое питание с целью поддержания требуемой мощности рассеивания в имитаторах всех компонентов РЭБУ;

возможность задания различной температуры окружающей среды РЭБУ и поддержания ее с необходимой точностью при непрерывном ее контроле;

возможность подключения набора термодатчиков в виде корпусных транзисторов, их поочередного переключения с целью измерения температуры корпусов ЭРЭ, МПП, воздушных прослоек, радиаторов, а также корпуса исследованного РЭБУ;

возможность подключения имитаторов печатных плат с смонтированными на них ЭРЭ и имитаторов МПП с радиаторами;

возможность менять взаимное расположение печатных плат, радиаторов, силового трансформатора.

Разработана также методика для измерения тепловых режимов РЭБУ. Сделан вывод о том, что контроль теплового режима необходимо проводить в два этапа. Первый этап /предварительный/ - измерение температур на рабочем месте конструктора РЭБУ. Второй этап - тепловые испытания блока в термокамере при максимально заданной температуре окружающей среды. Предложены приемы установки и крепления термочувствительных транзисторов.

В четвертой главе представлены результаты экспериментальных исследований, графики показывающие влияние различных конструктивных и эксплуатационных параметров РЭБУ на тепловой режим этих блоков. Осуществлен сравнительный анализ погрешности разработанных "точных" и "инженерных" методик расчета теплового режима РЭБУ путем их сравнения с экспериментальными данными. На базе проведенных исследований разработаны рекомендации по целенаправленному синтезу конструкций РЭБУ с заданными температурными условиями, необходимыми для достижения требуемой надежности.

В качестве объекта исследования использованы реальные конструкции РЭБУ и их макеты, разработанные исходя из положения о максимальном соответствии между макетом и реальной конструкцией и охватывающие все группы предложенной классификации конструкций РЭБУ. Расчетные исследования указанных образцов проведены с помощью раз-

работанной программы реализующей "точные" методики и с помощью предложенных графоаналитических методов реализующие "инженерные" методики расчета тепловых режимов блоков РЭУ в герметичных и перфорированных кожухах. Экспериментальные исследования проделаны на разработанном стенде.

На рис. 3 представлены сравнительные характеристики расчетных и экспериментальных значения температуры корпусов различных элементов в РЭУ.

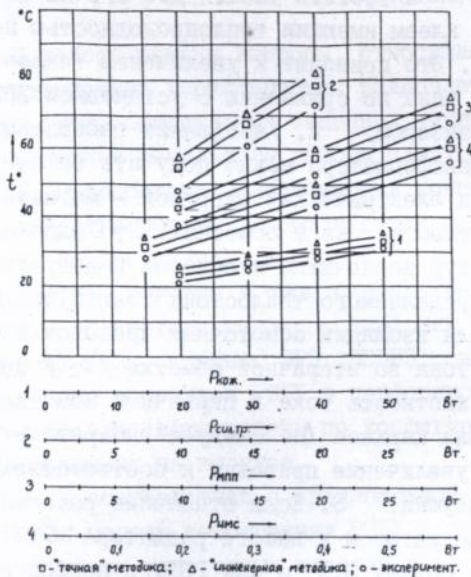


Рис. 3.

Сравнение экспериментальных и расчетных данных показало, что расхождение между ними для всех рассмотренных конструкции РЭУ составляет величину порядка 10...20% для "точных" методик и не более 30% для "инженерных", что вполне приемлемо для инженерной практики. Сделан вывод о том, что разработанные методики могут быть использованы при проведении анализа теплового режима конструкций РЭУ.

На базе проведенных исследований сформулированы рекомендации по конструированию РЭУ, основными из которых являются следующие:

- 1.1. Внешние и внутренние поверхности кожуха РЭУ, поверхности радиаторов следует окрашивать красками или оксидировать с высоким значением степени черноты $\epsilon \geq 0,9$.
- 1.2. Общая площадь перфорации кожуха блока при необходимости можно изменять в пределах до 30...35% от общей поверхности кожуха. Дальнейшее увеличение с точки зрения уменьшения температуры воздуха в блоке нецелесообразно.
- 1.3. Наибольшую эффективность снижения теплового сопротивления $R_{к-р}$ МШ может дать: 1/ увеличение площади непосредственного контакта МШ и теплоотвода, что достигается оптимальным условием затяжки винтов; 2/ введением в контактную зону вязкого вещества с хорошей теплопроводностью, например смазок типа КПТ-8, ПМС.
- 1.4. Если схема

и конструкция РЭБУ позволяют, то следует при необходимости изолировать сам радиатор от шасси изделия, а МШП - крепить к радиатору без изоляционных прокладок. Следует иметь в виду, что любая изоляционная прокладка увеличивает тепловое сопротивление $R_{к-р}$. Например введение прокладки из слюды толщиной 0,025...0,05 мм увеличивает $R_{к-р}$ в 1,5...2 раза. 1.5. В РЭБУ следует применять покрытия печатных плат с смонтированными ЭРЭ лаком с максимально возможным значением степени черноты до $\epsilon = 0,9$. Это приводит к увеличению тепловой проводимости $\sigma_{пл-пл}$ в 1,5...2 раза. 1.6 ЭРЭ на печатной плате следует приклеивать клеем имеющей теплопроводностью порядка $\lambda = 0,5...0,96$ Вт/м. °С. Это приводит к увеличению тепловой проводимости $\sigma_{кэл,пл}$ в 1,2...2 раза по сравнению с установкой ЭРЭ на печатной плате с воздушным зазором. 2. Уменьшение габаритных размеров и массы силового трансформатора можно получить за счет увеличения электромагнитных и электрических нагрузок - магнитной индукции в сердечнике и плотности тока в обмотках. Это однако приводит к возрастанию температур сердечника и обмоток и допустимо лишь до некоторого предела, определяемого теплостойкостью и сроком службы материалов, применяемых для изоляции обмоточных проводов и всей обмотки в целом. Плотность тока во вторичной обмотке $/\delta_2 /$ целесообразно задать больше чем, плотность тока в первичной обмотке на 15...30%. Толщину материала каркаса Δ_k следует выбирать в пределах 0,5...1,5 мм. Дальнейшее увеличение приводит к соответственному увеличению температуры катушки. 3. Если отношение расстояния между платой с ЭРЭ и МШП с радиатором к высоте радиатора e/H для РЭБУ в герметичном кожухе больше 0,9, а для РЭБУ в перфорированном кожухе больше 0,8, то ограничения на размещения МШП с точки зрения теплового режима нет. Если для РЭБУ в герметичном кожухе $e/H < 0,9$, а для РЭБУ в перфорированном кожухе $e/H < 0,8$, то имеет место влияние МШП на температуры печатной платы и проявляется в увеличении этой температуры, причем ее рост зависит также от отношения $R_{мпп}/R_{пл}$. В случае установки в РЭБУ только трансформатора и печатных плат, их тепловое взаимовлияние следует учитывать при $e/H < 0,7$ для РЭБУ в герметичном корпусе и при $e/H < 0,6$ для РЭБУ в перфорированном корпусе.

В приложениях к диссертации содержатся текст программы для расчета теплового режима РЭБУ в герметичном и перфорированном кожухе; примеры расчетов теплового режима РЭБУ с помощью "точных" и "инженерных" методиках; результаты расчетных и экспериментальных исследований; методики для расчета тепловых проводимостей; методика

для расчета теплового режима силового трансформатора; принципиальные схемы и их подробное объяснение различных разработанных и используемых в конструкторской практике электронных термометров для измерения тепловых режимов РЭБУ; принципиальная схема терморегулятора с термокамерой экспериментального стенда; принципиальная схема 10 точечного термометра для измерения температурных режимов РЭБУ; описание конструкции макетов РЭБУ; справки отражающие внедрение результатов диссертационной работы.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

В работе решены вопросы, относящиеся к проблеме улучшения эксплуатационных характеристик радиоэлектронных блоков систем управления путем обеспечения заданных тепловых режимов их работы.

Основные результаты работы следующие:

1. Разработана классификация конструкции РЭБУ с точки зрения их теплового режима в соответствии с которой конструкции РЭБУ разделены на две группы. К первой группе относятся РЭБУ в герметичном кожухе, которые в свою очередь разделены на 5 подгрупп в зависимости от состава теплорассеивающих компонентов, образующих нагревательную зону /МПП, платы с ЭРЭ, ПСЭРЭ, силовые трансформаторы/. Ко второй группе относятся РЭБУ в перфорированном кожухе, которые дополнительно классифицированы по конфигурации перфорационных отверстий, расположенных на корпусе.

2. В соответствии с предложенной классификацией разработана тепловая модель конструкции РЭБУ с нерегулярной структурой в виде совокупности однородных пластин и составлено ее математическое описание.

3. Разработаны "точная" и "инженерная" методика анализа теплового режима РЭБУ с естественным охлаждением. "Точная" методика основана на использовании метода тепловых схем, максимальную автоматизацию составляющих методику процедур и использование принципа суперпозиции. Разработан алгоритм решения для использования на ЦЭВМ. Разработана программа, которая эксплуатируется на производстве. "Инженерные" методики разработаны на основе коэффициентного метода и пригодны для ручного счета. Методики учитывают степень влияния различных конструктивных и эксплуатационных параметров. Экспериментально получены значения коэффициентов, в виде графиков, позволяющие конструктору еще на ранних стадиях проектирования оценить достигнутый тепловой режим сконструированного ими блока не прибегая к громоздким и длительным расчетам.

4. Разработана методика для экспериментальной оценки тепловых режимов РЭБУ. Предложены способы крепления термодатчиков для измерения температур теплонагруженных ЭРЭ, радиаторов, силового трансформатора, корпуса, воздуха в блоках. Методика в одинаковой степени подходит к применению на ранних стадиях конструирования РЭБУ и при их тепловых испытаниях в термокамере.

5. Разработаны и экспериментально проверены варианты принципиальных схем различных электронных термометров на базе которых разработан "10 точечный термометр для измерения тепловых режимов РЭБУ". Предложенный термометр использован при экспериментальной оценке тепловых режимов различных РЭБУ на производстве.

6. Разработана конструкция стенда, содержащего терморегулятора с термокамерой в которой температуру воздуха можно поддерживать с точностью $\pm 0,1^\circ\text{C}$ в диапазоне от 30 до 99 $^\circ\text{C}$.

7. Разработаны имитаторы печатных плат и радиаторов с МШП, а также устройство для подбора транзисторных термодатчиков при многоточечном измерении тепловых режимов РЭБУ.

8. Выделены определяющие с точки зрения теплового режима параметры и исследовано их влияние на тепловой режим типичных конструкции РЭБУ в рамках разработанной классификации. На базе проведенных исследований сформулированы рекомендации по целенаправленному синтезу конструкции РЭБУ с заданными температурными условиями, необходимыми для разработки РЭБУ с требуемой надежностью. Для удобства пользования, разработанные методики и рекомендации реализованы в виде комплекса программных средств, ориентированных на разработчика без специальной квалификации в области теплового режима, работающего в интерактивном режиме с персональным компьютером.

9. Результаты работы использованы при проектировании РЭБУ с заданным уровнем надежности, для управления нагревателями используемыми в технологических процессах, различного рода устройства электронного или электромеханического отображении информации, осветительными лампами и нагревателями для поддержания температуры при лечении в медицине и др.

Основное содержание диссертации отражено в следующих публикациях:

1. Парашкевов И.Х. Разработка многоточечного термометра для измерения тепловых режимов РЭА с помощью термопар медь - константан. НТК болгарских научных работников на Украине. г. Киев, 1985.

2. Парашкевов И.Х. Исследование теплового режима радиозлектрон-

ного блока с горизонтально ориентированной платой. НТК подел. 22810, г. София, 1988, ДСП.

3. Парашкевов И.Х. Расчет теплового режима радиоэлектронных блоков с нерегулярной структурой в герметичном кожухе. НТК подел. 22810, г. София, 1991, ДСП.

4. Парашкевов И.Х. Устройство для многоточечного измерения температуры.- "Радио, телевизия, електроника".- 1987.- № 7.- С. 28-31.

5. Парашкевов И.Х. Измерение теплового режима электронной аппаратуры.- "Радио, телевизия, електроника".- 1989.- № 12.- С. 7-9.

6. Парашкевов И.Х. Измерение температуры в градусах Цельсия и Кельвина.- "Радио, телевизия, електроника".- 1991.- № 1,2.- С. 23-24.

7. Парашкевов И.Х. Термометр с полупроводниковым датчиком.- "Радио, телевизия, електроника".- 1991.- № 1,2.- С. 3.

8. Парашкевов И.Х. Измерение температуры радиоэлементов.- "Радио, телевизия, електроника".- 1992.- № 5.- С. 5-7.

9. Парашкевов И.Х. Терморегулятор для испытания радиоэлектронных узлов.- "Радио, телевизия, електроника".- 1992.- № 12.- С. 17,18.

10. Парашкевов И.Х. Устройство для подбора транзисторных термодатчиков.- "Радио, телевизия, електроника".- 1993.- № 5.- С.7,8.

11. Парашкевов И.Х. Измерение теплового режима радиоэлектронной аппаратуры с помощью термопар медь - константан.- "Радио, телевизия, електроника".- 1993.- № 7.- С. 3-5.

12. Парашкевов И.Х. Электронный термометр в двух вариантах.- "Радио, телевизия, електроника".- 1993.- № 7.- С. 9-11.

13. Парашкевов И.Х. Термопреобразователь.- "Радио, телевизия, електроника".- 1993.- № 8.- С. 12,17.

14. Спокойный Ю.Е., Трофимов В.Е., Парашкевов И.Х. 10 точечный термометр для измерения тепловых режимов РЭА//Научно-технический сборник.- "Тепловые режимы и охлаждения РЭА".- 1993.- Вып.2, С.53-57.

15. Парашкевов И.Х., Мачев М.А. Измерение теплового режима термокамеры.- "Радио, телевизия, електроника".- 1993.- № 10.- С. 4-7.

16. Парашкевов И.Х. Многоточечный термопреобразователь.- "Радио, телевизия, електроника".- 1993.- № 11.- С. 9-12.

17. Мачев М.А., Парашкевов И.Х. Электронный термометр с интегральной схемой СМ757.- "Радио, телевизия, електроника".- 1993.- № 12.- С. 4,5.

И.Х. Парашкевов

ЛНБ им. В. Ст
АН Укран

Handwritten text at the top of the page, possibly a name or title, which is mostly illegible due to fading and blurring.

462350

AB 29.730

AB 29.730