

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Воронежский государственный технический университет»

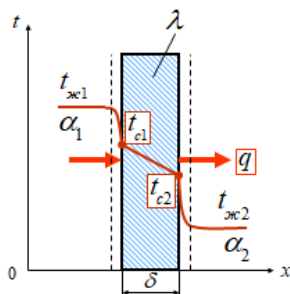
Кафедра конструирования и производства радиоаппаратуры

РАСЧЁТ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА БЛОКА РЭС

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

по выполнению практических работ

по дисциплинам «Теплофизические процессы в приборах»,
«Теплофизические процессы в электронных средствах» для
студентов направлений подготовки бакалавров 12.03.01
«Приборостроение» профиль «Приборостроение», 11.03.03,
«Конструирование и технология электронных средств» профиль
«Проектирование и технология радиоэлектронных средств»
очной и заочной форм обучения.



Воронеж 2022

Составители: канд. техн. наук Н.В. Ципина

УДК 621.3

Расчёт теплового режима блока РЭС: методические указания по выполнению практических работ по дисциплинам «Теплофизические процессы в приборах», «Теплофизические процессы в электронных средствах» для студентов направлений 12.03.01 «Приборостроение» профиль «Приборостроение», 11.03.03, «Конструирование и технология электронных средств» профиль «Проектирование и технология радиоэлектронных средств» очной и заочной форм обучения / ФГБОУ ВО "Воронежский государственный технический университет; сост. Н.В. Ципина. Воронеж, 2022. 27 с.

В методических указаниях приводятся краткие сведения и порядок расчета теплового режима РЭА при естественном воздушном охлаждении. Расчеты выполняются по вариантам, приведенным в приложении данного издания. Методические указания снабжены рекомендуемой литературой.

Методические указания подготовлены в электронном виде в текстовом редакторе MS Word 2007 и содержатся в файле ТПЛ_практика.doc.

Табл. 5. Ил. 9. Библиогр.: 5 назв.

Рецензент д-р техн. наук, проф. О.Ю. Макаров

Ответственный за выпуск зав. кафедрой д-р техн. наук, проф. А.В. Башкиров

Издается по решению редакционно-издательского совета Воронежского государственного технического университета

1. ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ЕГО ВЫПОЛНЕНИЮ

1.1. Общие положения и исходные данные

Одним из основных вопросов, определяющих эксплуатационную надежность РЭС, является вопрос создания в приборе таких температур, при которых интенсивность отказов используемых в нем элементов поддерживалась бы в пределах, предусмотренных ТУ.

Основная задача обеспечения необходимого теплового режима заключается в создании таких условий, при которых количество тепла, рассеянного в окружающую среду, будет равным мощности тепловыделения аппаратуры. Тогда температура нагретой зоны в приборе перестает нарастать, а тепловые параметры при всех прочих равных условиях стабилизируются. Такое состояние называют установившимся тепловым режимом, его можно получить при постоянстве всех параметров, участвующих в процессе теплопередачи.

Все схемные элементы РЭС делят на две группы. К первой относят источники тепла, или термоактивные элементы (электронные лампы, теплонагруженные ППП, ИМС, резисторы и др.), которые при работе рассеивают тепло в окружающую среду. Ко второй группе относятся схемные элементы, которые при работе не выделяют тепла и часто обладают сравнительно низкой термостойкостью (кварцевые стабилизаторы, термосопротивления, конденсаторы, слабонагруженные ППП и ИМС и др.) Такие элементы, нагретые от соседних источников тепла, могут изменить свои параметры или отказаться.

В РЭС из всей потребляемой мощности электрической энергии, как правило, на полезное преобразование расходуется лишь незначительная часть, а остальная, большая часть, преобразуется в тепловую, нагревает внутреннюю зону прибора

и окружающую среду.

Для определения воздействующей на элементы РЭС температуры в реальных условиях эксплуатации необходимо выполнить определенные расчеты, основными исходными данными для которых являются следующие.

1. Суммарная мощность P , выделяющаяся в блоке, Вт.
2. Мощность P_3 , выделяющаяся в теплонагруженном элементе, Вт.
3. Температура T_c окружающей среды, °С.
4. Геометрические характеристики блока: длина a , ширина b , высота h , диаметр (для цилиндрических объектов) D , м.

1.2 Расчёт теплового режима РЭС при естественном воздушном охлаждении

Тепловой режим РЭС при естественном воздушном охлаждении зависит от многих факторов. Связь между перегревом нагретой зоны и влияющими факторами можно представить в виде.

$$\vartheta_3 = \prod_i K_i, \quad (1)$$

где ϑ_3 – перегрев нагретой зоны относительно температуры окружающей среды, а каждый коэффициент K_i зависит от одного параметра (фактора), влияющего на величину ϑ_3 . Величина перегрева нагретой зоны аппаратов в герметичном и перфорированном корпусах, работающих при нормальном атмосферном давлении и при отсутствии наружного обдува корпуса и внутреннего перемешивания воздуха, определяется в основном удельной мощностью нагретой зоны и коэффициентом перфорации т. е.

$$g_3 = K_{q_3} K_{\Pi}, \quad (2)$$

где K_{q_3} – коэффициент, зависящий от удельной мощности нагретой зоны; K_{Π} – коэффициент, зависящий от коэффициента перфорации.

Удельная мощность нагретой зоны определяется как частное от деления мощности P_3 , рассеиваемой нагретой зоной, на условную поверхность нагретой зоны S_3 :

$$q_3 = P_3 / S_3, \quad (3)$$

где условная поверхность нагретой зоны определяется по формуле

$$S_3 = 2[l_1 l_2 + (l_1 + l_2) l_3 K_3]. \quad (4)$$

Здесь $l_1 l_2$ – горизонтальные размеры корпуса аппарата; l_3 – вертикальный размер корпуса аппарата; K_3 – коэффициент заполнения.

Коэффициент перфорации определяется как отношение площади перфорационных отверстий S_{Π} к площади оснований корпуса аппарата:

$$\Pi = S_{\Pi} / 2l_1 l_2. \quad (5)$$

При создании методики расчёта использовались экспериментальные данные по тепловым режимам реальных РЭА различного конструктивного исполнения: на шасси, с кассетами и смешанной конструкции. Аппараты имели герметичный либо перфорированный корпус. Тепловой режим этих РЭС определялся при нормальном и пониженном атмосферном давлении, причём в некоторых случаях для интенсификации теплообмена применялись либо наружный обдув корпуса, либо внутреннее перемешивание воздуха. Из

анализа экспериментальных данных следует, что перегрев нагретой зоны нелинейно возрастает с ростом удельной мощности зоны и уменьшается с ростом коэффициента перфораций, асимптотически приближаясь к некоторой постоянной величине. Поэтому K_{q_3} и K_{Π} можно описать зависимостями вида

$$K_{q_3} = a_1 q_3 + a_2 q_3^2 + a_3 q_3^3, \quad (6)$$

$$K_{\Pi} = a_4 + \frac{1}{a_5 + a_6 \Pi}, \quad (7)$$

и вычислить их по формуле

$$K_{q_3} = 0,1390 q_3 - 0,1223 \cdot 10^{-3} q_3^2 + 0,0698 \cdot 10^{-6} q_3^3, \quad (8)$$

$$K_{\Pi} = 0,29 + \frac{1}{0,41 + 4,95 \Pi}. \quad (9)$$

Зависимости K_{q_3} и K_{Π} от q_3 и Π представлены на рис. 1 и 2 (на рис. 1 $K_{q_3} = \vartheta_2$).

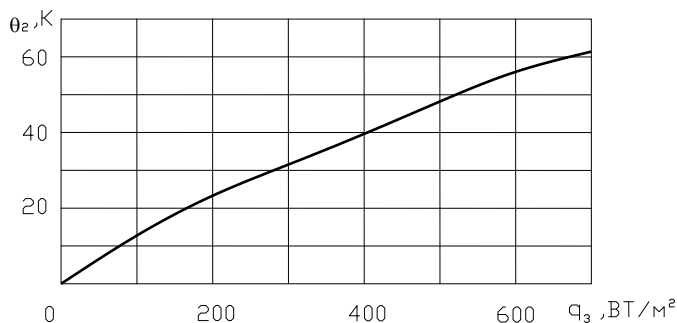


Рис. 1. Зависимость перегрева нагретой зоны от удельной мощности рассеивания.

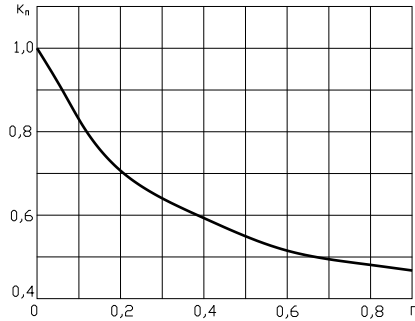


Рис. 2. Зависимость K_{II} от коэффициента перфораций.

Аналогично было найдено выражение для определения перегрева корпуса герметичного аппарата ($\vartheta_1 = K_{qK}$), работающего в нормальных условиях. Этот перегрев зависит от удельной мощности корпуса аппарата q_K , определяемой по формуле:

$$q_K = P_3 / S_K, \quad (10)$$

где

$$S_K = 2[l_1 l_2 + (l_1 + l_2) l_3]. \quad (11)$$

С использованием экспериментальных данных уравнение для K_{qK} имеет вид:

$$K_{qK} = \vartheta_1 = 0,1472 q_K - 0,2962 \cdot 10^{-3} q_K^2 + 0,3127 \cdot 10^{-6} q_K^3 \quad (12)$$

и графически представлено на рис. 3.

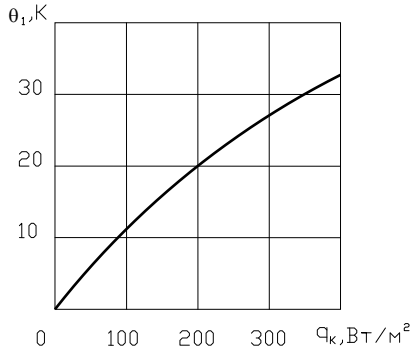


Рис. 3. Зависимость перегрева корпуса от удельной мощности.

Наличие наружного обдува и изменение атмосферного давления снаружи влияет на величину перегрева корпуса ϑ_1 относительно температуры окружающей среды. Наличие внутреннего перемешивания и изменение атмосферного давления внутри корпуса влияет на величину перегрева ($\vartheta_2 - \vartheta_1$) нагретой зоны относительно температуры корпуса аппарата.

В общем случае перегрев нагретой зоны определяется как

$$\vartheta_3 = \vartheta_1 K_{H_1} K_v + (\vartheta_2 - \vartheta_1) K_{H_2} K_w, \quad (13)$$

где K_{H_1} – коэффициент, зависящий от величины атмосферного давления снаружи корпуса аппарата H_1 ; K_v – коэффициент, зависящий от скорости наружного обдува корпуса аппарата v ; K_{H_2} – коэффициент, зависящий от величины атмосферного давления внутри корпуса аппарата H_2 ; K_w – коэффициент, зависящий от скорости перемешивания воздуха в аппарате W :

$$W = a \frac{G_B}{V_B}, \quad (14)$$

где G_B – производительность вентилятора; V_B – объём воздуха в аппарате; $a = 0,6 \text{ м}^4 / \text{кг}$.

Учитывая, что с ростом давления среды внутри и вне корпуса аппарата, скоростей наружного обдува и внутреннего перемешивания перегрев нагретой зоны уменьшается, коэффициенты K_{H1} , K_v , K_{H2} и K_w определялись в виде (7). Найденные с использованием экспериментальных данных по тепловым режимам реальных радиоэлектронных аппаратов уравнения для расчёта коэффициентов K_{H1} , K_v , K_{H2} и K_w имеют следующий вид:

$$K_{H1} = 0,82 + \frac{1}{0,925 + 4,6 \cdot 10^{-5} H_1}, \quad (15)$$

$$K_v = \frac{1}{1 + 0,347v}, \quad (16)$$

$$K_{H2} = 0,8 + \frac{1}{1,25 + 3,8 \cdot 10^{-5} H_2}, \quad (17)$$

$$K_w = 0,08 + \frac{1}{1,09 + 0,27W}. \quad (18)$$

Их графики показаны на рис. 4 – 7. Представленные выше коэффициенты получены в следующем диапазоне изменения исходных данных: $0 \leq q_3 \leq 600 \text{ Вт/м}^2$; $0 \leq \Pi \leq 0,8$, $0 \leq q_k \leq 400 \text{ Вт/м}^2$, $700 \leq H \leq 1,2 \cdot 10^5 \text{ Па}$, $0 \leq v \leq 3,0$, $0 \leq W \leq 4,0$.

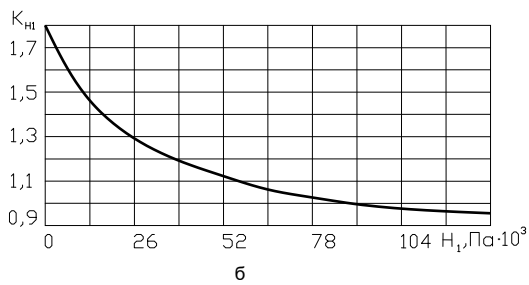
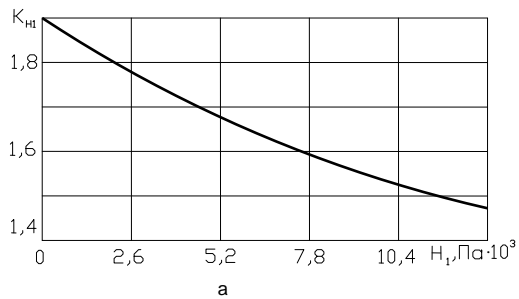


Рис. 4. Зависимость K_{H1} от давления окружающей среды: а) $0 \leq H_1 \leq 2,6 \cdot 10^3$ Па; б) $0 \leq H_1 \leq 130 \cdot 10^3$ Па.

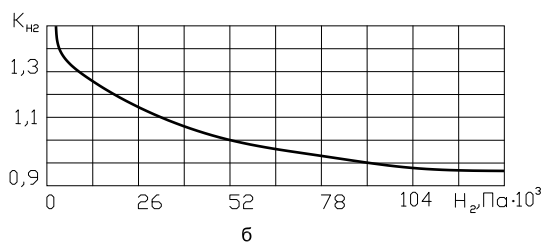
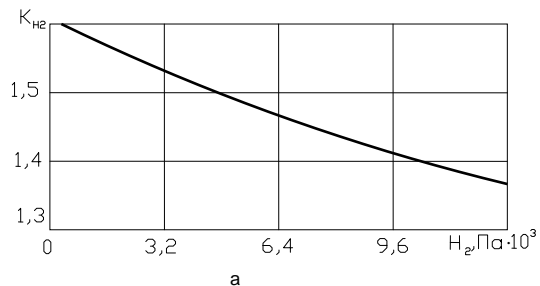


Рис. 5. Зависимость K_{H_2} от давления среды внутри аппарата: а) $0 \leq H_2 \leq 12,8 \cdot 10^3 \text{ Па}$; б) $0 \leq H \leq 130 \cdot 10^3 \text{ Па}$.

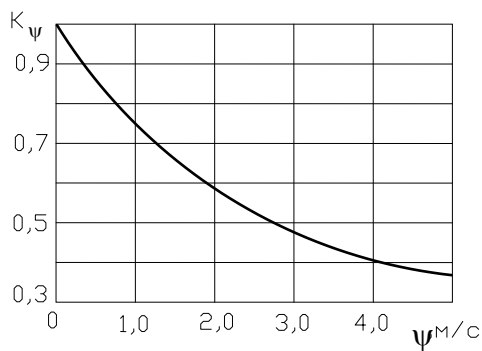


Рис. 6. Зависимость K_{ψ} от скорости обдува.

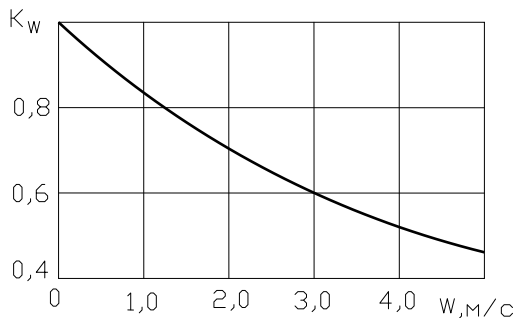


Рис. 7. Зависимость K_w от скорости перемешивания.

При определении вида зависимости величины перегрева поверхности элемента относительно температуры окружающей среды исходим из следующих рассуждений: тепловой поток, рассеиваемый элементом, поступает в нагретую зону и в окружающую среду, т.е.

$$P_{эл} = \sigma_{эл3}(\mathcal{G}_{эл} - \mathcal{G}_3) + \sigma_{элс}\mathcal{G}_{эл}, \quad (19)$$

где $P_{эл}$ – тепловой поток, рассеиваемый элементом; $\mathcal{G}_{эл}$ – перегрев поверхности элемента относительно температуры окружающей среды; \mathcal{G}_3 – перегрев нагретой зоны относительно температуры окружающей среды; $\sigma_{эл3}$ – тепловая проводимость между поверхностью элемента и нагретой зоной; $\sigma_{элс}$ – тепловая проводимость между поверхностью элемента и окружающей средой.

Из (19) следует, что

$$\mathcal{G}_{эл} = \mathcal{G}_3 \left[\frac{\sigma_{эл3}}{\sigma_{эл3} + \sigma_{элс}} + \frac{P_{эл}}{\mathcal{G}_3(\sigma_{эл3} + \sigma_{элс})} \right], \quad (20)$$

так как

$$\mathcal{G}_3 = P_3/\sigma_{3с}; \quad q_{эл} = P_{эл}/S_{эл}; \quad q_3 = P_3/S_3,$$

где σ_{3c} – тепловая проводимость между нагретой зоной и окружающей средой; $S_{эл}$ – площадь теплоотдающей поверхности элемента (при наличии радиатора учитывается и поверхность радиатора), то (20) можно переписать так:

$$\mathcal{G}_{эл} = \mathcal{G}_3 \left[\frac{\sigma_{эл3}}{\sigma_{эл3} + \sigma_{элc}} + \frac{q_{эл} \sigma_{3c} S_3}{q_3 S_{эл} (\sigma_{эл3} + \sigma_{элc})} \right], \quad (21)$$

т.е. перегрев поверхности элемента можно представить в виде

$$\mathcal{G}_{эл} = \mathcal{G}_3 \left(a + b \frac{q_{эл}}{q_3} \right). \quad (22)$$

Найденные методом наименьших квадратов с использованием экспериментальных данных по тепловым режимам реальных радиоэлектронных аппаратов коэффициенты a и b равны соответственно: $a = 0,75$; $b = 0,25$.

Формула (21) не учитывает особенностей монтажа элементов. Разработка методики, учитывающей особенности монтажа и конструкции элемента, позволит повысить точность расчёта температуры поверхности элемента.

Приведенные зависимости позволяют определить среднеповерхностную температуру нагретой зоны и температуры поверхности элементов РЭА при естественном воздушном охлаждении.

На основании сравнения расчётных и экспериментальных данных были построены гистограммы погрешностей расчёта перегревов нагретой зоны (рис. 8) и элементов (рис. 9). Анализ гистограмм показал, что среднеквадратическая погрешность предлагаемой методики составляет 8 К при расчёте перегрева поверхности элемента. Следовательно, погрешность этой методики имеет точность, рекомендованную нами в

предыдущем параграфе для инженерных расчётов. Методика достаточно универсальна и при использовании рис. 1 – 7 является простой.

Для облегчения пользования методикой теплового расчёта РЭА с естественным воздушным охлаждением приведём ряд алгоритмов и примеры расчёта по ним.

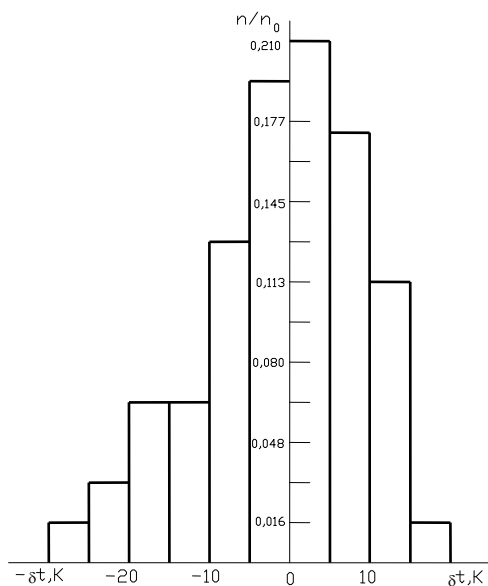


Рис. 8. Гистограмма погрешностей расчёта перегревов нагретой зоны: n/n_0 – относительное число блоков.

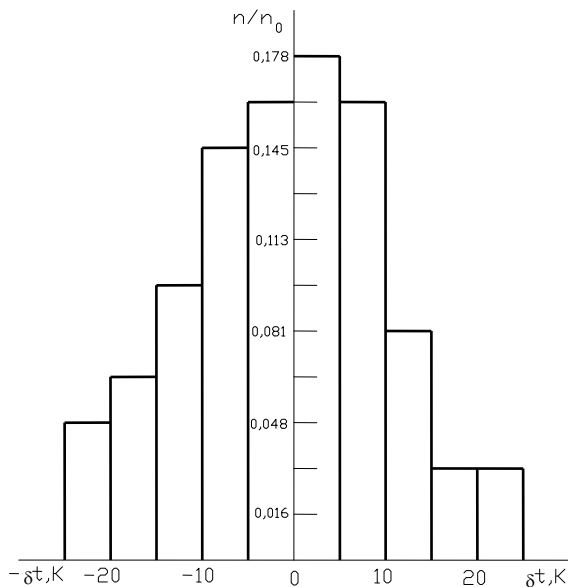


Рис. 9. Гистограмма погрешностей расчёта перегревов элементов: n/n_0 – относительное число элементов.

2. ПОРЯДОК РАСЧЁТА ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА

2.1. Расчёт теплового режима блока в герметичном корпусе

1. Рассчитывается поверхность корпуса блока по (11), где $l_1 l_2$ – горизонтальные размеры корпуса блока; l_3 – вертикальный размер корпуса блока.
2. Определяется условная поверхность нагретой зоны по (4).
3. Определяется удельная мощность корпуса блока по (10).
4. Рассчитывается удельная мощность нагретой зоны по (3).

5. Находится коэффициент \mathcal{G}_1 в зависимости от удельной мощности корпуса блока (рис. 3).

6. Находится коэффициент \mathcal{G}_2 в зависимости от удельной мощности нагретой зоны (рис. 1).

7. Находится коэффициент K_{H1} в зависимости от давления среды вне корпуса блока H_1 (рис. 4).

8. Находится коэффициент K_{H2} в зависимости от давления среды внутри корпуса блока H_2 (рис. 5).

9. Определяется перегрев корпуса блока

$$\mathcal{G}_K = \mathcal{G}_1 K_{H1}. \quad (23)$$

10. Рассчитывается перегрев нагретой зоны

$$\mathcal{G}_3 = \mathcal{G}_K + (\mathcal{G}_2 - \mathcal{G}_1) K_{H2}. \quad (24)$$

11. Определяется средний перегрев воздуха в блоке

$$\mathcal{G}_B = 0,5(\mathcal{G}_K + \mathcal{G}_3). \quad (25)$$

12. Определяется удельная мощность элемента

$$q_{эл} = P_{эл} / S_{эл}, \quad (26)$$

где $P_{эл}$ – мощность, рассеиваемая элементом (узлом), температуру которого требуется определить; $S_{эл}$ – площадь поверхности элемента (вместе с радиатором), омываемая воздухом.

13. Рассчитывается перегрев поверхности элемента по (22).

14. Рассчитывается перегрев окружающей элемент среды

$$\mathcal{G}_{эс} = \mathcal{G}_B \left(0,75 + 0,25 \frac{q_{эл}}{q_3} \right). \quad (27)$$

15. Определяется температура корпуса блока

$$T_K = \mathcal{G}_K + T_c, \quad (28)$$

где T_c – температура окружающей блок среды.

16. Определяется температура нагретой зоны

$$T_3 = \mathcal{G}_3 + T_c. \quad (29)$$

17. Находится температура поверхности элемента

$$T_{эл} = \mathcal{G}_{эл} + T_c. \quad (30)$$

18. Находится средняя температура воздуха в блоке

$$T_B = \mathcal{G}_B + T_c. \quad (31)$$

19. Находится температура окружающей среды

$$T_{эс} = \mathcal{G}_{эс} + T_c. \quad (32)$$

Данные для расчета приведены в приложении 1.

2.2. Расчёт теплового режима блока в герметичном корпусе с внутренним перемешиванием

1. Рассчитывается поверхность корпуса блока по (11).

2. Рассчитывается условная поверхность нагретой зоны по (4).

3. Находится удельная мощность корпуса блока по (10).

4. находится удельная мощность нагретой зоны по (3).

5. Определяется коэффициент \mathcal{G}_1 в зависимости от удельной мощности корпуса блока (рис. 3).

6. Определяется коэффициент \mathcal{G}_2 в зависимости от удельной мощности нагретой зоны (рис. 1).

7. находится коэффициент K_{H1} в зависимости от атмосферного давления вне корпуса блока H_1 (рис. 4).

8. Рассчитывается объём воздуха в блоке

$$V_B = l_1 l_2 l_3 (1 - K_3). \quad (33)$$

9. Рассчитывается средняя скорость перемешивания воздуха в блоке по (14) (при пониженном давлении внутри корпуса блока в (14) должна входить производительность вентилятора с учётом изменения давления).

10. Определяется коэффициент K_w в зависимости от средней скорости перемешивания (рис. 7).

11. Определяется перегрев корпуса блока по (23).

12. Определяется перегрев нагретой зоны

$$\mathcal{G}_3 = \mathcal{G}_1(K_{H1} - 1) + \mathcal{G}_2 K_w. \quad (34)$$

13. Определяется средний перегрев воздуха в блоке

$$\mathcal{G}_B = 0,75\mathcal{G}_3. \quad (35)$$

14. Находится удельная мощность элемента по (26).

15. Рассчитывается перегрев поверхности элемента по (22).

16. Рассчитывается перегрев окружающей элемент среды по (27).

17. Находится температура корпуса блока по (28).

18. Находится температура нагретой зоны, поверхности элемента, средняя температура воздуха в блоке и температура окружающей элемент среды по формулам (29) – (32).

Данные для расчета приведены в приложении 2.

2.3. Расчёт теплового режима блока в герметичном корпусе с наружным обдувом

1. Рассчитывается поверхность корпуса блока по (11).

2. Рассчитывается условная поверхность нагретой зоны по (4).

3. Определяется удельная мощность корпуса блока по (10).

4. Определяется удельная мощность нагретой зоны по (3).

5. Находится коэффициент \mathcal{G}_1 в зависимости от удельной мощности корпуса блока (рис. 3).

6. Находится коэффициент \mathcal{G}_2 в зависимости от удельной мощности нагретой зоны (рис. 1).

7. Находится коэффициент K_{H2} в зависимости от давления внутри корпуса блока H_2 (рис. 5).

8. Рассчитывается перегрев между нагретой зоной и корпусом блока

$$\mathcal{G}_{21} = (\mathcal{G}_2 - \mathcal{G}_1)K_{H2}. \quad (36)$$

9. Рассчитывается перегрев корпуса блока с наружным обдувом

$$\mathcal{G}_k = q_k / (12 + 4,17\nu), \quad (37)$$

где \mathcal{G} – скорость обдува (при пониженном давлении в (37) должна входить скорость с учётом изменения давления).

10. Определяется перегрев нагретой зоны блока с наружным обдувом

$$\mathcal{G}_3 = \mathcal{G}_k + \mathcal{G}_{21}. \quad (38)$$

11. Определяется средний перегрев воздуха в блоке по (35).

12. Рассчитывается удельная мощность элемента, перегревы его поверхности и окружающей среды по (26), (22), (27).

13. Находятся температуры корпуса блока, нагретой зоны, поверхности элемента, воздуха в блоке и окружающей элемент среды по формулам (28) – (32).

Данные для расчета приведены в приложении 3.

2.4. Расчёт теплового режима блока в герметичном оребрённом корпусе

1. Определяется поверхность неоребрённого корпуса блока по (11).

2. Определяются условная поверхность нагретой зоны, удельная мощность неоребрённого корпуса блока, удельная мощность нагретой зоны по формулам (4), (10), (3).

3. Определяется коэффициент \mathcal{G}_1 в зависимости от удельной мощности корпуса блока (рис. 3).

4. Определяется коэффициент \mathcal{G}_2 в зависимости от удельной мощности нагретой зоны (рис. 1).

5. Рассчитывается перегрев между нагретой зоной и корпусом неоребрённого блока

$$\mathcal{G}_{21} = \mathcal{G}_2 - \mathcal{G}_1. \quad (39)$$

6. Рассчитывается поверхность оребрённого корпуса блока

$$S_{KP} = S_{KH} + S_P, \quad (40)$$

где S_{KH} – поверхность корпуса, не занятая рёбрами; S_p – поверхность рёбер.

7. Рассчитывается удельная мощность оребрённого корпуса блока

$$q_{KP} = P/S_{KP}. \quad (41)$$

8. Определяется коэффициент \mathcal{G}_p в зависимости от удельной мощности оребрённого корпуса блока (рис. 3).

9. Находятся коэффициенты K_{H1} и K_{H2} в зависимости от атмосферного давления вне и внутри корпуса блока – H_1 и H_2 (рис. 4 и 5).

10. Рассчитывается перегрев оребрённого корпуса блока

$$\mathcal{G}_K = \mathcal{G}_p K_{H1}. \quad (42)$$

11. Рассчитывается перегрев нагретой зоны с оребрённым корпусом

$$\mathcal{G}_3 = \mathcal{G}_K + (\mathcal{G}_2 - \mathcal{G}_1)K_{H2}. \quad (43)$$

12. Рассчитывается средний перегрев воздуха в блоке по (35).

13. Определяется удельная мощность элемента, перегревы его поверхности и окружающей среды по (26), (22) и (27).

14. Находятся температуры поверхности корпуса блока, нагретой зоны, поверхности элемента, воздуха в блоке и окружающей элемент среды по (28) – (32).

Данные для расчета приведены в приложении 4.

2.5. Расчёт теплового режима блока в перфорированном корпусе

1. Рассчитываются: поверхность корпуса блока, условная поверхность нагретой зоны, удельная мощность корпуса блока, удельная мощность нагретой зоны по (11), (4), (10) и (3).

2. Находятся коэффициенты \mathcal{G}_1 и \mathcal{G}_2 в зависимости от удельной мощности корпуса блока и удельной мощности нагретой зоны (рис. 1 и 3).

3. Находятся коэффициенты K_{H1} и K_{H2} в зависимости от давления вне и внутри корпуса блока – H_1 , H_2 (рис. 4 и 5).

4. Рассчитывается площадь перфорационных отверстий. Для прямоугольных отверстий $S = nl_1l_3$, где n – количество отверстий; l_1 – горизонтальный размер отверстия; l_3 – вертикальный размер отверстия. Для круглых отверстий $S = n\pi d^2/4$, где d – диаметр отверстия.

5. Рассчитывается коэффициент перфораций по (5).

6. Находится коэффициент K_{Π} в зависимости от перфораций (рис. 2).

7. Определяется перегрев корпуса блока

$$\mathcal{G}_k = \mathcal{G}_1 K_{H1} K_{\Pi} \cdot 0,93. \quad (44)$$

8. Определяется перегрев нагретой зоны

$$\mathcal{G}_3 = 0,93 K_{\Pi} \left[\mathcal{G}_1 K_{H1} + \left(\mathcal{G}_2 \frac{1}{0,93} - \mathcal{G}_1 \right) K_{H2} \right]. \quad (45)$$

9. Определяется средний перегрев воздуха в блоке

$$\mathcal{G}_B = \mathcal{G}_3 \cdot 0,6. \quad (46)$$

10. Рассчитываются удельная мощность элемента, перегрев поверхности элемента, перегрев окружающей элемент среды по (26), (22) и (27).

11. Находятся температуры корпуса блока, нагретой зоны, поверхности элемента, воздуха в блоке, окружающей элемент среды по (28) – (32).

Данные для расчета приведены в приложении 5.

3. Контрольные вопросы

1. Какие методы отвода тепла имеют место при естественной воздушной конвекции?
2. От чего зависит эффективность охлаждения изделия?
3. С какой целью используются перфорация и жалюзи?
4. В каких условиях эксплуатации целесообразно использование перфорации, а в каких – жалюзи?
5. Чем обусловлены рекомендации по формированию геометрических размеров корпуса?
6. Какие материалы используются при производстве корпусов?
7. Оцените эффективность применения различных материалов корпусов с точки зрения обеспечения нормального теплового режима РЭС.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Определить тепловой режим блока в герметичном корпусе и его элементов

№	P, Вт	Рэл, Вт		Размеры корпуса, м			S _{эл} , 10 ⁻³ м ²		K _з	T _с , °C	H ₁ = H ₂ , МПа
		1	2	l ₁	l ₂	l ₃	1	2			
1	30	2,8	2,1	0,16	0,15	0,19	8	110	0,3	+20	0,1
2	25	2,6	2,2	0,18	0,19	0,21	10	100	0,4	+21	0,3
3	25	2,5	2,3	0,12	0,15	0,18	12	99	0,5	+19	0,2
4	35	2,3	2,4	0,15	0,14	0,19	7	118	0,6	+25	0,1
5	30	2,6	2,5	0,12	0,15	0,20	6	115	0,5	+30	0,2
6	40	2,8	2,6	0,17	0,18	0,19	13	120	0,6	+20	0,3
7	35	2,5	2,7	0,18	0,19	0,21	15	121	0,6	+28	0,4
8	40	2,6	2,8	0,14	0,16	0,20	14	101	0,3	+21	0,5
9	30	2,7	2,1	0,15	0,12	0,18	9	103	0,7	+20	0,2
10	25	2,8	2,3	0,13	0,19	0,19	8	109	0,5	+23	0,1
11	25	2,1	2,4	0,15	0,14	0,19	6	110	0,6	+21	0,5
12	30	2,3	2,5	0,12	0,15	0,20	14	112	0,5	+24	0,3
13	30	2,4	2,8	0,16	0,15	0,19	11	100	0,6	+26	0,2
14	35	2,5	2,6	0,18	0,19	0,21	12	118	0,6	+21	0,1
15	40	2,8	2,5	0,12	0,15	0,18	15	115	0,3	+20	0,4
16	30	2,1	2,3	0,13	0,19	0,19	6	120	0,6	+21	0,1
17	25	2,4	2,6	0,15	0,17	0,17	18	121	0,6	+19	0,4
18	25	2,5	2,8	0,17	0,18	0,19	12	101	0,3	+25	0,4
19	30	2,6	2,5	0,18	0,19	0,21	11	103	0,7	+30	0,1
20	30	2,7	2,8	0,14	0,16	0,20	10	109	0,5	+20	0,2
21	35	2,8	2,6	0,16	0,15	0,19	16	110	0,3	+21	0,3
22	25	2,1	2,5	0,18	0,19	0,21	8	112	0,4	+20	0,4
23	35	2,3	2,7	0,12	0,15	0,18	9	108	0,5	+23	0,2
24	40	2,8	2,1	0,16	0,15	0,19	8	110	0,3	+20	0,4
25	30	2,6	2,2	0,18	0,19	0,21	10	100	0,4	+21	0,1
26	25	2,5	2,3	0,12	0,15	0,18	12	99	0,5	+19	0,3

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Определить тепловой режим блока в герметичном корпусе с внутренним перемешиванием и его элементов

№	P, Вт	Рэл, Вт		Размеры корпуса, м			S _{эл} , 10 ⁻³ м ²		K ₃	T _с , °C	H ₁ , М Па	G _в , 10 ⁻³ кг/с
		1	2	l ₁	l ₂	l ₃	1	2				
1	130	5,8	8,1	0,20	0,50	0,19	30	11	0,3	+40	0,1	50
2	125	5,6	7,2	0,18	0,19	0,21	10	10	0,4	+35	0,3	60
3	190	5,5	7,3	0,20	0,15	0,18	12	10	0,5	+30	0,2	55
4	135	5,3	7,4	0,20	0,40	0,19	17	18	0,6	+35	0,1	65
5	160	5,6	7,5	0,25	0,15	0,20	16	15	0,5	+30	0,2	70
6	140	5,8	7,6	0,17	0,20	0,19	30	20	0,6	+40	0,3	65
7	150	5,5	7,7	0,18	0,19	0,21	15	21	0,6	+38	0,4	60
8	140	5,6	7,8	0,30	0,40	0,20	14	10	0,3	+30	0,05	59
9	180	5,7	8,1	0,15	0,50	0,18	10	10	0,7	+40	0,2	61
10	190	2,8	8,3	0,30	0,19	0,19	15	10	0,5	+33	0,1	60
11	200	6,1	8,4	0,15	0,20	0,19	20	8	0,6	+35	0,05	66
12	180	6,3	8,5	0,20	0,40	0,20	15	12	0,5	+34	0,3	67
13	170	6,4	7,8	0,16	0,30	0,19	30	10	0,6	+36	0,2	58
14	150	5,5	8,6	0,18	0,19	0,21	20	18	0,6	+40	0,1	57
15	140	5,8	8,5	0,20	0,30	0,18	15	15	0,3	+30	0,4	64
16	130	6,1	8,3	0,30	0,19	0,19	20	20	0,6	+35	0,1	63
17	160	6,4	7,6	0,15	0,40	0,17	18	12	0,6	+40	0,05	62
18	170	5,5	7,8	0,17	0,18	0,19	20	10	0,3	+35	0,4	61
19	130	5,6	7,5	0,18	0,19	0,21	30	10	0,7	+30	0,1	60
20	130	5,7	7,8	0,40	0,40	0,20	10	10	0,5	+30	0,2	59
21	160	5,8	8,6	0,16	0,15	0,19	15	11	0,3	+36	0,3	58
22	170	5,1	7,5	0,18	0,19	0,21	25	12	0,4	+38	0,4	70
23	180	6,3	8,7	0,30	0,30	0,18	30	8	0,5	+33	0,2	65
24	140	5,8	7,5	0,20	0,20	0,18	15	15	0,3	+38	0,4	66
25	130	6,1	8,3	0,30	0,19	0,19	30	12	0,6	+35	0,1	68
26	180	5,4	7,6	0,15	0,17	0,17	20	12	0,6	+39	0,05	67

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Определить тепловой режим блока в герметичном корпусе с наружным обдувом

№	P, Вт	Pэ л, Вт	Размеры корпуса, м			T _{ср} , °C	S _{эпл} , 10 ⁻³ м ²	H ₁ =H ₂ , МПа	K ₃	V, м/с
			l ₁	l ₂	l ₃					
1	30	7,8	0,16	0,15	0,19	+20	8,3	0,1	0,3	3
2	25	7,6	0,18	0,19	0,21	+21	8,4	0,3	0,4	4
3	25	7,5	0,12	0,15	0,18	+19	8,5	0,2	0,5	4
4	35	7,3	0,15	0,14	0,19	+25	8,6	0,1	0,6	4
5	30	7,6	0,12	0,15	0,20	+30	8,5	0,2	0,5	3
6	40	7,8	0,17	0,18	0,19	+20	8,6	0,3	0,6	3
7	35	7,5	0,18	0,19	0,21	+28	8,6	0,4	0,6	3
8	40	7,6	0,14	0,16	0,20	+21	8,3	0,05	0,3	4
9	30	7,7	0,15	0,12	0,18	+20	8,7	0,2	0,7	4
10	25	7,8	0,13	0,19	0,19	+23	8,5	0,1	0,5	2
11	25	7,1	0,15	0,14	0,19	+21	8,6	0,05	0,6	2
12	30	7,3	0,12	0,15	0,20	+24	8,5	0,3	0,5	3
13	30	7,4	0,16	0,15	0,19	+26	8,6	0,2	0,6	3
14	35	7,5	0,18	0,19	0,21	+21	8,6	0,1	0,6	3
15	40	7,8	0,12	0,15	0,18	+20	8,3	0,4	0,3	4
16	30	7,1	0,13	0,19	0,19	+21	8,6	0,1	0,6	4
17	25	7,4	0,15	0,17	0,17	+19	8,6	0,05	0,6	3
18	25	7,5	0,17	0,18	0,19	+25	8,3	0,4	0,3	3
19	30	7,6	0,18	0,19	0,21	+30	8,7	0,1	0,7	2
20	30	7,7	0,14	0,16	0,20	+20	8,5	0,2	0,5	3
21	35	7,8	0,16	0,15	0,19	+21	8,3	0,3	0,3	3
22	25	7,1	0,18	0,19	0,21	+20	8,4	0,4	0,4	2
23	35	7,3	0,12	0,15	0,18	+23	8,5	0,2	0,5	3
24	40	7,8	0,16	0,15	0,19	+20	8,3	0,4	0,3	3
25	30	7,6	0,18	0,19	0,21	+21	8,4	0,1	0,4	2
26	25	7,5	0,12	0,15	0,18	+19	8,5	0,05	0,5	2

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Рассчитать тепловой режим герметичного блока с оребренным корпусом

№	Р, Вт	Рэл, Вт		Размеры корпуса, м			S _{эл} , 10 ⁻³ м ²		K _э	Т _с , С	H ₁ , МПа	H ₂ , МПа	S _{кр} , 10 ⁻³ м ²
		1	2	l ₁	l ₂	l ₃	1	2					
1	30	2,8	2,1	0,16	0,15	0,19	8	110	0,3	+20	5,1	9,2	0,3
2	25	2,6	2,2	0,18	0,19	0,21	10	100	0,4	+21	5,3	9,5	0,4
3	25	2,5	2,3	0,12	0,15	0,18	12	99	0,5	+19	5,2	9,2	0,4
4	35	2,3	2,4	0,15	0,14	0,19	7	118	0,6	+25	5,1	9,3	0,4
5	30	2,6	2,5	0,12	0,15	0,20	6	115	0,5	+30	5,2	9,4	0,3
6	40	2,8	2,6	0,17	0,18	0,19	13	120	0,6	+20	5,3	9,2	0,3
7	35	2,5	2,7	0,18	0,19	0,21	15	121	0,6	+28	5,4	9,3	0,3
8	40	2,6	2,8	0,14	0,16	0,20	14	101	0,3	+21	5,05	9,4	0,4
9	30	2,7	2,1	0,15	0,12	0,18	9	103	0,7	+20	5,2	9,2	0,4
10	25	2,8	2,3	0,13	0,19	0,19	8	109	0,5	+23	5,1	9,2	0,2
11	25	2,1	2,4	0,15	0,14	0,19	6	110	0,6	+21	5,05	9,5	0,2
12	30	2,3	2,5	0,12	0,15	0,20	14	112	0,5	+24	5,3	9,2	0,3
13	30	2,4	2,8	0,16	0,15	0,19	11	100	0,6	+26	5,2	9,3	0,3
14	35	2,5	2,6	0,18	0,19	0,21	12	118	0,6	+21	5,1	9,4	0,3
15	40	2,8	2,5	0,12	0,15	0,18	15	115	0,3	+20	5,4	9,2	0,4
16	30	2,1	2,3	0,13	0,19	0,19	6	120	0,6	+21	5,1	9,3	0,4
17	25	2,4	2,6	0,15	0,17	0,17	18	121	0,6	+19	5,05	9,4	0,3
18	25	2,5	2,8	0,17	0,18	0,19	12	101	0,3	+25	5,4	9,2	0,3
19	30	2,6	2,5	0,18	0,19	0,21	11	103	0,7	+30	5,1	9,2	0,2
20	30	2,7	2,8	0,14	0,16	0,20	10	109	0,5	+20	5,2	9,3	0,3
21	35	2,8	2,6	0,16	0,15	0,19	16	110	0,3	+21	5,3	9,4	0,3
22	25	2,1	2,5	0,18	0,19	0,21	8	112	0,4	+20	5,4	9,2	0,2
23	35	2,3	2,7	0,12	0,15	0,18	9	108	0,5	+23	5,2	9,3	0,3
24	40	2,8	2,1	0,16	0,15	0,19	8	110	0,3	+20	5,4	9,4	0,3
25	30	2,6	2,2	0,18	0,19	0,21	10	100	0,4	+21	5,1	9,5	0,2
26	25	2,5	2,3	0,12	0,15	0,18	12	99	0,5	+19	5,05	9,2	0,2

ПРИЛОЖЕНИЕ 5

Рассчитать тепловой режим блока в перфорированном корпусе и его элементов

№	P, Вт	Рэл, Вт			Размеры корпуса, м			S _{эл} , 10 ⁻³ м ²			K _з	d 10 ⁻³ м	T _с , °C	H ₁ , МПа
		1	2	3	l ₁	l ₂	l ₃	1	2	3				
1	230	1,2	1,8	2,1	0,36	0,45	0,19	2,7	7,2	2,1	0,3	7	+20	0,1
2	225	2,1	2,6	2,2	0,28	0,19	0,21	3,0	8,0	2,0	0,4	8	+21	0,3
3	225	3,2	2,5	2,3	0,32	0,15	0,18	2,6	9,9	3,1	0,5	5	+19	0,2
4	235	2,4	1,3	2,4	0,25	0,14	0,19	3,7	6,8	4,2	0,6	9	+25	0,1
5	230	4	2,6	2,5	0,32	0,15	0,20	2,6	8,5	2,2	0,5	6	+30	0,2
6	140	3,2	2,8	2,6	0,27	0,18	0,19	3,3	7,2	3,2	0,6	8	+20	0,3
7	135	2,3	1,5	2,7	0,28	0,19	0,21	1,5	8,1	4,0	0,6	9	+28	0,4
8	240	3,1	2,6	2,8	0,24	0,16	0,20	1,4	9,0	4,8	0,3	10	+21	0,05
9	130	2,6	2,7	2,1	0,35	0,12	0,18	2,9	7,3	3,5	0,7	8	+20	0,2
10	125	3,2	1,8	2,3	0,33	0,19	0,19	2,8	6,8	2,8	0,5	9	+23	0,1
11	225	2,2	2,1	2,4	0,25	0,14	0,19	3,6	8,0	3,1	0,6	7	+21	0,05
12	130	3,2	1,3	2,5	0,32	0,15	0,20	1,4	6,8	4,0	0,5	6	+24	0,3
13	230	1,2	2,4	2,8	0,26	0,15	0,19	1,1	9,0	5,2	0,6	8	+26	0,2
14	235	2,3	1,5	2,6	0,28	0,19	0,21	1,2	8,9	2,2	0,6	9	+21	0,1
15	240	2,5	2,8	2,5	0,32	0,15	0,18	1,5	7,7	1,9	0,3	10	+20	0,4
16	130	2,7	2,1	2,3	0,33	0,19	0,19	3,6	7,6	1,8	0,6	9	+21	0,1
17	125	3,2	2,4	2,6	0,25	0,17	0,17	1,8	7,8	2,4	0,6	12	+19	0,05
18	225	3,7	1,5	2,8	0,27	0,18	0,19	1,2	8,1	2,7	0,3	8	+25	0,4
19	130	2,1	2,6	2,5	0,38	0,19	0,21	3,1	8,3	3,0	0,7	9	+30	0,1
20	230	1,6	1,7	2,8	0,24	0,16	0,20	4,0	8,9	2,5	0,5	10	+20	0,2
21	135	1,5	2,8	2,6	0,26	0,15	0,19	2,6	9,1	2,6	0,3	9	+21	0,3
22	225	1,2	1,1	2,5	0,28	0,19	0,21	2,8	7,2	3,7	0,4	9	+20	0,4
23	135	3,2	2,3	2,7	0,22	0,15	0,18	3,9	7,6	2,1	0,5	11	+23	0,2
24	140	3,4	2,8	2,1	0,26	0,15	0,19	2,8	8,3	2,2	0,3	12	+20	0,4
25	230	3,5	2,6	2,2	0,28	0,19	0,21	4,0	9,1	2,8	0,4	9	+21	0,1
26	225	3,2	1,5	2,3	0,22	0,15	0,18	3,2	9,1	2,0	0,5	8	+19	0,05

Количество перфорационных отверстий для вариантов 1-5 n=500;

6-10 n= 600; 10-15 n= 550; 16-20 n=700; 21-26 n=650.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1 Дульнев, Г. Н. Тепло- и массообмен в радиоэлектронной аппаратуре [Текст]: учеб. пособие / Г.Н. Дульнев. - М.: Высш. шк., 1984. – 247 с.

2 Роткоп, Л. Л. Обеспечение тепловых режимов при конструировании радиоэлектронной аппаратуры [Текст] / Л. Л. Роткоп. – М.: Советское радио, 1976. – 472 с.

3 Ашков, Е. М. Теплофизическое проектирование современных радиоэлектронных средств [Текст]: учеб. пособие / Е.М. Ашков, А.В. Муратов. - Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2001. - 132 с.

4 Скрипников, Ю. Ф. Радиаторы для полупроводниковых приборов [Текст] / Ю. Ф. Скрипников. – М.: «Энергия», 1973. - 48 с.

5 Дульнев, Г. Н. Методы расчета теплового режима приборов [Текст] / Г. Н. Дульнев, В. Г. Парфенов, А. В. Сигалов. - М.: Радио и связь, 1990. - 312 с.

СОДЕРЖАНИЕ

1. ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ЕГО ВЫПОЛНЕНИЮ.....	1
1.1. Общие положения и исходные данные.....	1
1.2. Расчёт теплового режима РЭА при естественном воздушном охлаждении.....	2
2. ПОРЯДОК РАСЧЁТА ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА	
2.1. Расчёт теплового режима блока в герметичном корпусе.....	13
2.2. Расчёт теплового режима блока в герметичном корпусе с внутренним перемешиванием.....	15
2.3. Расчёт теплового режима блока в герметичном корпусе с наружным обдувом.....	16
2.4. Расчёт теплового режима блока в герметичном оребрённом корпусе.....	17
2.5. Расчёт теплового режима блока в перфорированном корпусе.....	18
3. Контрольные вопросы.....	20
Библиографический список.....	26

РАСЧЁТ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА БЛОКА РЭС

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

по выполнению практических работ
по дисциплинам «Теплофизические процессы в приборах»,
«Теплофизические процессы в электронных средствах» для
студентов направлений подготовки бакалавров 12.03.01
«Приборостроение» профиль «Приборостроение», 11.03.03,
«Конструирование и технология электронных средств» профиль
«Проектирование и технология радиоэлектронных средств»
очной и заочной форм обучения.

Составитель:

Ципина Наталья Викторовна

В авторской редакции

Подписано к изданию . .2022.

Уч.-изд. л. 1,6.

ФГБОУ ВО "Воронежский государственный
технический университет"
394026 Воронеж, Московский просп., 14