

## 1.2. Тепловой режим блока РЭА в перфорированном корпусе

Для снижения температур радиоэлектронного аппарата широко применяется метод перфорирования кожуха и шасси аппарата.

Обобщенную тепловую модель такой системы с незамкнутой оболочкой можно представить из нагретой зоны - 1, незамкнутой оболочки - 2, внутренней и наружной сред - 3 и 4 (рис. 1.3). Необходимо найти среднеповерхностные температуры нагретой зоны ( $t_z$ ), поверхности кожуха ( $t_k$ ), а также среднеобъемную температуру воздуха внутри корпуса ( $t_c$ ).

Исходим из данных ТЗ и некоторых дополнительных допущений:

1. Температуру кожуха аппарата считаем изотермической, т.е. одинаковой в различных его частях.

2. Величину однородных коэффициентов теплоотдачи всех внутренних поверхностей аппарата считаем одинаковой.

Рассмотрим теплообмен, протекающий в данной системе тел

Тепловая энергия, выделяемая нагретой зоной, передается конвекцией воздуху, омывающему нагретую зону внутри корпуса и излучением внутренним стенкам корпуса (для теплового излучения воздух прозрачен); а также излучением через отверстия в корпусе внешней среде (в расчетах учитываться не будет).

Энергия, полученная кожухом корпуса, передается конвекцией воздуху внутри корпуса, а также излучением и конвекцией в окружающей среде.

Тепловая энергия, полученная воздухом внутри корпуса при конвективном теплообмене с зоной и внутренней поверхностью корпуса, уносится потоком проходящего воздуха в окружающую среду. Движение воздуха вызвано разностью температур, а следовательно, и давлений внутри и снаружи аппарата.

Процессы теплообмена, протекающие в системе, можно изобразить в виде тепловой схемы (рис. 1.4).

Неизвестными параметрами на схеме являются температуры  $t_z$ ,  $t_k$ ,  $t_c$  и тепловой поток  $Q$ , уносимый воздухом, проходящим через аппарат.

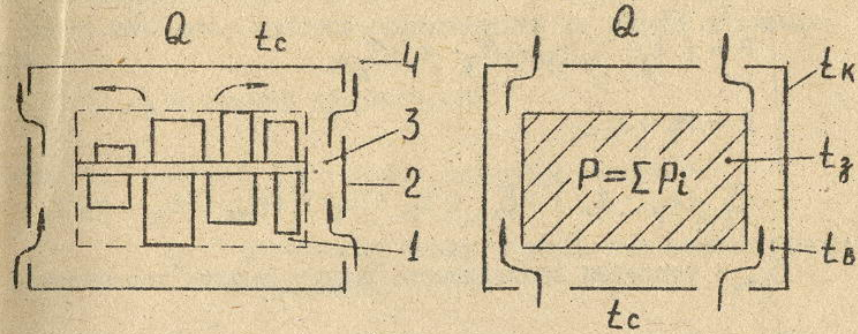


Рис. 1.3. Тепловая модель блока РЭА в перфорированном корпусе. 1-нагретая зона; 2-корпус блока; 3-воздух внутри блока.

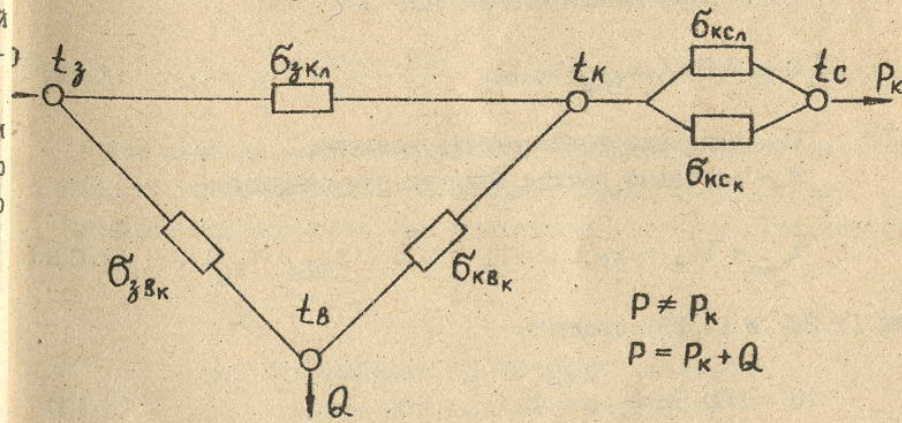


Рис. 1.4. Тепловая схема теплообмена блока РЭА в перфорированном корпусе с окружающей средой.

аппарат.

Теплообмен, представленный эквивалентной схемой, описывается системой уравнений, которые представляют уравнения теплового баланса:

$$\begin{cases} P = (t_z - t_a) b_{zвк} + (t_z - t_k) b_{zкл} \\ P = P_k + Q \\ b_{zкл} (t_z - t_k) = b_{квк} (t_k - t_b) + b_{кс} (t_k - t_c), \end{cases} \quad (1.21)$$

где  $b_{zвк}$  - тепловая проводимость "зона - воздух" конвекцией;  
 $b_{zкл}$  - тепловая проводимость "зона - корпус" излучением;  
 $b_{квк}$  - тепловая проводимость "корпус - воздух" внутри аппарата конвекцией;  
 $b_{кс}$  - суммарная тепловая проводимость конвекцией и излучением корпус - среда;  
 $Q$  - тепловая энергия, выносимая воздухом из корпуса в окружающую среду:

$$Q = C G_m (t_{в\text{вых}} - t_c), \quad (1.22)$$

где  $C$  - удельная теплоемкость воздуха;  
 $G_m$  - массовый расход воздуха при самоходе:

$$t_{в\text{вых}} = 2t_b - t_c; \quad t_b = 0,5 (t_{в\text{вых}} + t_{в\text{вх}}). \quad (1.23)$$

Из (1.22) и (1.23) следует:

$$Q = 2Cp G_m (t_b - t_c). \quad (1.24)$$

Система уравнений полностью описывает процесс теплообмена в перфорированном аппарате, если задано (или известно)  $G_m$ . Если не задано и неизвестно  $G_m$ , четвертое уравнение можно составить

из условия воздухообмена, учитывая аэродинамику, т.е. разность давлений снаружи (на уровне отверстий) и внутри аппарата для самотяги.

Величина самотяги равна полному аэродинамическому сопротивлению аппарата, которое складывается из потерь давления:

$$\Delta H_c = \Delta H_{тр} + \sum \Delta H_m + \Delta H_k, \quad (1.25)$$

где  $\Delta H_c = h (p_c - p_b)$  - величина самотяги;

$h$  - расстояние между нижними и верхними отверстиями перфорации;

$$\Delta H_{тр} = \chi h_z / d_z \frac{\rho V^2}{2} - \text{потери давления на трение;}$$

$\chi$  - коэффициент сопротивления, определяется из графиков в зависимости от величины  $Re$ ;

$$\Delta H_m = \sum_{i=1}^n \xi \frac{\rho V^2}{2} - \text{местные потери давления;}$$

$\xi$  - коэффициент местных потерь, зависит от типа отверстий, рассчитывается по формулам;

$$\Delta H_k = \gamma \frac{t_a - t_c}{T_b} \frac{\rho V^2}{2} - \text{кинематические потери давления.}$$

Для решения системы уравнений теплообмена необходимо выразить тепловые проводимости,  $b_{звк}$ ,  $b_{зкл}$ ,  $b_{квк}$  и  $b_{кс}$ .

Тепловая проводимость "нагретая зона - воздух" конвекцией:

$$b_{звк} = \alpha_k S_z, \quad (1.26)$$

где  $\alpha_k$  - коэффициент теплоотдачи конвекцией;  
 $S_z$  - площадь поверхности нагретой зоны.

Коэффициент теплоотдачи определяется из критериального уравнения в зависимости от характера движения воздуха при самотяге:

при ламинарном движении, если число Рейнольдса  $Re < 2200$ ,

расчет можно вести по приближенной формуле

$$Nu_f = 0,13 Re_f^{1/3} Gr_f^{0,1} \epsilon_i, \quad (1.27)$$

$Nu = \frac{\alpha_k d_3}{\lambda}$  - критерий Нусельта;

$Re_f = v d_3 / \nu$  - критерий Рейнольдса;

$Gr = \beta g d_3^3 / \nu^2 (t_z - t_0)$  - критерий Грасгофа;

при переходном режиме движения ( $2200 < Re < 10^4$ ) расчет можно вести по формуле

$$Nu_f = 0,87 K, \quad (1.28)$$

где  $K$  - значение коэффициента  $K$  находят из таблиц; при турбулентном режиме движения ( $Re > 10^4$ ) применяют формулу

$$Nu_f = 0,018 Re_f^{0,8}. \quad (1.29)$$

Площадь поверхности нагретой зоны

$$S_z = 2 [L_1 L_2 + h_z (L_1 + L_2)], \quad (1.30)$$

Тепловая проводимость "нагретая зона - корпус" излучением

$$\sigma_{z,k} = \alpha_n S_z = \frac{C_0 \left[ \left( \frac{T_z}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_k}{100} \right)^4 \right]}{\frac{1}{\epsilon_z} + \frac{S_z}{S'_k} \left( \frac{1}{\epsilon_k} - 1 \right)} S_z, \quad (1.31)$$

где  $S'_k$  - площадь поверхности корпуса аппарата, участвующая в конвективном теплообмене:

$$S'_k = S_k - \sum_{i=1}^n S_{\pi_i}$$

где  $\sum S_{\pi_i}$  - суммарная площадь перфорационных отверстий.

Тепловая проводимость "корпус - воздух" внутри корпуса конвекцией:

$$\sigma_{kвк} = \alpha_k S'_k. \quad (1.32)$$

Тепловой поток, рассеиваемый кожухом аппарата,

$$P_k = P_{конв} + P_{излуч}. \quad (1.33)$$

Конвекционный поток вычисляется при помощи выражения

$$P_{конв} = (\alpha_{kS} S_S + \alpha_{kB} S_B) (t_k - t_c), \quad (1.34)$$

где  $\alpha_{kS}, \alpha_{kB}$  - коэффициенты теплоотдачи с боковой и верхней поверхностей, определяются по формулам законов  $1/3$  или  $1/4$  степени в зависимости от выполнения неравенства  $(T_k - T_c) \leq \left( \frac{0,84}{L} \right)^3$  - см. (1.11);  $S_B$  и  $S_S$  - площади соответственно боковой и верхней поверхностей кожуха.

$$P_{излуч} = \epsilon f (t_k, t_c) (t_k - t_c) S_k, \quad (1.35)$$

где  $\epsilon$  - степень черноты корпуса.

В этом случае площадь поверхности корпуса рассчитывается без учета площади отверстий для подвода и отвода тепла. Некоторое увеличение площади поверхности корпуса компенсирует не учтенную ранее лучистую тепловую связь зоны со средой вне аппарата через отверстия в его корпусе.

Для практических целей важно провести расчеты тепловых характеристик на основании формул (1.2)-(1.20) и (1.21)-(1.35), т.е. представить результаты в простой, наглядной и достаточно общей форме.

Расчет ТР целесообразно проводить в три этапа. На первом этапе определяются среднеповерхностные температуры шасси (платы) с расположенными на них ЭРИ, кожуха и температуры воздуха внутри РЭА.

На втором этапе определяются среднеповерхностные температуры корпусов элементов, используя результаты первого этапа.

На третьем этапе определяются максимальные температуры критических зон элементов и их функциональные связи со среднеповерхностной температурой как корпусов, так и шасси (плат).

Существует значительное число методик расчета ТР, обладающих различной точностью и трудоемкостью. Эта задача достаточно доступно и с высокой точностью может быть решена с помощью коэффицентного метода [12]. Его суть состоит в следующем.

Тепловой режим блока РЭА при естественном воздушном охлаждении зависит от многих факторов. Связь между перегревом нагретой зоны и влияющими факторами можно определить следующей формулой:

$$\Theta_z = \prod_{i=1}^n K_i$$

где  $\Theta_z$  - перегрев нагретой зоны относительно температуры окружающей среды;

$K_i$  - коэффициент, зависящий от одного из параметров (фактора), влияющего на величину  $\Theta_z$ .

Величина перегрева нагретой зоны аппаратов в герметичном и перфорированном корпусах, работающих при нормальном атмосферном давлении и при отсутствии наружного обдува корпуса и внутреннего перемещения воздуха определяется, в основном, удельной мощностью нагретой зоны и коэффициентом перфорации, т. е.:

$$\Theta_z = K_{g_z} \cdot K_p$$

где  $K_{g_z}$  - коэффициент, зависящий от удельной мощности нагретой зоны;

$K_p$  - коэффициент перфорации.

Изменение атмосферного давления снаружи и внутри корпуса аппарата учитывается с помощью коэффициентов  $K_{n_1}$  и  $K_{n_2}$ , где  $K_{n_1}$  - коэффициент, зависящий от величины атмосферного давления снаружи корпуса аппарата  $n_1$ ;  $K_{n_2}$  - коэффициент, зависящий от величины атмосферного давления внутри корпуса аппарата  $n_2$ .

В разделе 2 приводится упрощенная схема расчета (алгоритм) температурного поля аппаратов в герметичном и перфорированном корпусах, базирующаяся на коэффицентном методе и используемая для инженерных расчетов на первом и втором этапах.

### 1. 3. Контрольные вопросы по разделу.

1. Какими способами передается тепловая энергия нагретых тел в окружающую среду ?
2. Законы теплообмена в зависимости от способа передачи энергии.
3. Какие факторы влияют на характер конвективных потоков при естественном охлаждении ?
4. Какие данные являются исходными для расчета тепловых характеристик блоков РЭА ?
5. Тепловая модель герметичного и перфорированного аппаратов.
6. Как протекает теплообмен в герметичном, перфорированном аппаратах ?
7. Тепловая схема теплообмена в зависимости от конструкции корпуса.
8. Как определяется конвективный коэффициент теплопередачи?
9. Как определяется тепловая проводимость в зависимости от способа передачи энергии ?
10. Как определяется тепловая проводимость кожуха ?
11. Как определить тепловую проводимость от нагретой зоны к кожуху - в герметичном, в перфорированном аппаратах ?
12. На каких предположениях базируется инженерный расчет тепловых характеристик блоков РЭА ?