



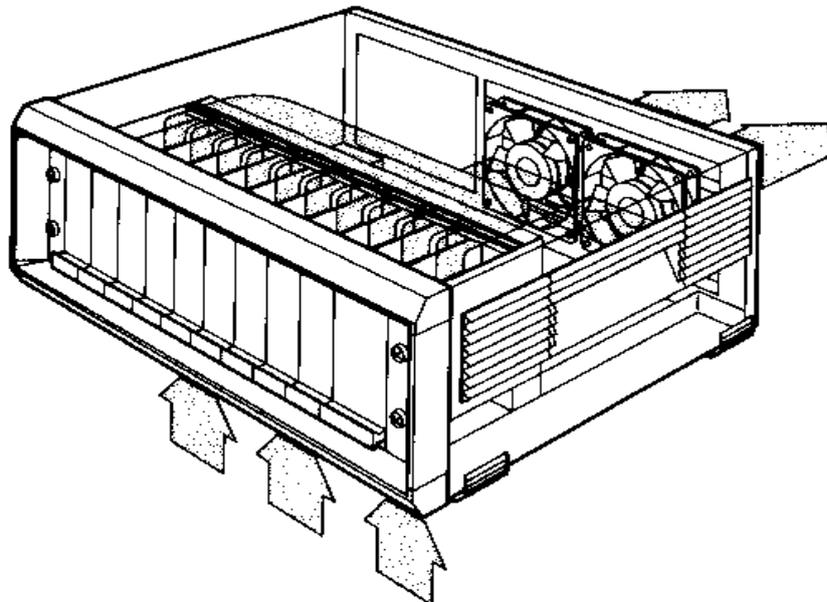
Кафедра конструирования  
и производства радиоаппаратуры

---

А.К.Кондаков

# РАСЧЁТ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА БЛОКА РЭС

Методическое пособие для выполнения практического занятия  
для студентов радиотехнического факультета по дисциплине  
«Основы конструирования и технологии производства  
радиоэлектронных средств»



Томск 2012

# 1 РАСЧЁТ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА БЛОКА РЭС ПРИ ЕСТЕСТВЕННОЙ КОНВЕКЦИИ МЕТОДОМ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ПРИБЛИЖЕНИЯ

Ниже приведена методика расчёта теплового режима блока РЭС методом последовательного приближения при естественной конвекции. Методика справедлива для блоков прямоугольной формы как с герметичным, так и с перфорированным кожухом. В результате расчёта определяется значение перегрева кожуха блока относительно температуры окружающей среды. Погрешность вычисления перегрева не превышает  $0.1^{\circ}\text{C}$ , однако за счёт того, что методика расчёта не является идеальной, а также за счёт неточного учета теплофизических параметров реальных устройств, следует принять погрешность определения перегрева кожуха приблизительно равной 10%, что является вполне приемлемым для инженерных расчётов. Приведённая методика справедлива для горизонтально ориентированной нагретой зоны.

## 1. Задание на расчёт

Требуется определить значение перегрева кожуха блока ( $\Delta t_k$ ) относительно температуры окружающей среды при естественной конвекции.

Для расчёта должны быть заданы численные значения: температура окружающей среды ( $t_c$ ); длина ( $L_1$ ), ширина ( $L_2$ ) и высота блока ( $L_3$ ); степень черноты наружной поверхности кожуха ( $\epsilon_n$ ); тепловая мощность, рассеиваемая внутри блока ( $P$ ); общая площадь перфорационных отверстий или коэффициент перфораций ( $S_p$ ).

Расчет проводится для нормального давления 101,3 кПа (760 мм рт.ст.) методом последовательных приближений.

## 2. Порядок расчета

2.1. Задаемся в первом приближении величиной перегрева кожуха блока ( $\Delta t_k$ ), например, в  $5^{\circ}\text{C}$ .

$$t_k = t_c + 5;$$

$$\Delta t_k = t_k - t_c,$$

$t_k$  - температура поверхности кожуха,  $t_c$  - температура окружающей среды.

2.2. Вычисляем лучевую составляющую тепловой проводимости кожуха блока, связанную с излучением тепла в окружающую среду:

$$\sigma_n = \epsilon_n \cdot \varphi_{KC} \cdot f(t_k, t_c) \cdot S, \text{ Вт/(град)}$$

где:  $\varphi_{KC}=1$  – коэффициент облученности среды корпусом блока.

$f(t_k, t_c)$  – функция температур, численно равная:

$$f(t_k, t_c) = 5.67 \cdot 10^{-8} [(t_k + 273)^4 - (t_c + 273)^4] / \Delta t_k; \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{град}}$$

$S$  – площадь поверхности кожуха блока, равная

$$S = 2[L_3 \cdot (L_1 + L_2) + L_1 \cdot L_2].$$

$\epsilon_n$  – степень черноты наружной поверхности кожуха.

2.3. Для определения конвективной составляющей тепловой проводимости блока проверяется условие режима охлаждения

$$\Delta t_k \leq \left( \frac{0.84}{\sqrt{L_2 \cdot L_3}} \right)^3 \text{ (размеры блока в метрах).}$$

2.4. Если это условие выполняется, то вычисление конвективной составляющей тепловой проводимости блока в окружающее пространство производится по формуле:

$$\sigma_k = 2 \cdot L_1 \cdot L_2 \cdot A_2 (\Delta t_k / L_2)^{1/4} + 2[L_3(L_1 + L_2) \cdot A_2 (\Delta t_k / L_3)^{1/4}],$$

в противном случае по формуле:

$$\sigma_k = A_3 \cdot S (\Delta t_k)^{1/3}.$$

Функции  $A_2$  и  $A_3$  определяются в зависимости от усредненной температуры  $t_m = 0.5 (t_k + t_c)$  по формулам:

$$A_2 = 1,42615 - 0,00262 t_m + 0,00001 t_m^2;$$

$$A_3 = 1,69129 - 0,00433 t_m.$$

2.5. Суммарная тепловая проводимость между кожухом блока и окружающей средой находится по формуле

$$\sigma_\Sigma = \sigma_k + \sigma_n.$$

2.6. Используя заданное значение мощности, находим перегрев поверхности кожуха в первом приближении по формуле:

$$\Delta t_k(1) = (P / \sigma_\Sigma) \cdot (0,29 + L_1 \cdot L_2 / (1,41 \cdot L_1 \cdot L_2 + 2,475 \cdot S_n)).$$

Для герметичного корпуса блока  $S_n = 0$ , вторая круглая скобка в этом выражении будет равна единице и выражение для  $\Delta t_k(1)$  примет вид

$$\Delta t_k(1) = (P / \sigma_\Sigma).$$

2.7. Если разность между предшествующим и новым значением перегрева кожуха блока  $\delta k = \Delta t_k - \Delta t_k(1)$  больше заданной погрешности вычислений ( $2^\circ\text{C}$ ), то используем вместо  $\Delta t_k$  для повторного цикла расчета по пунктам 2.1... 2.6 полученное значение перегрева  $\Delta t_k(1)$  – это будет второе приближение, и так далее пока не выполнится условие точности расчета. Когда полученная разность станет меньше допустимой погрешности  $2^\circ\text{C}$ , то последнее вычисленное значение принимаем за истинное значение перегрева поверхности корпуса герметичного блока  $\Delta t_k$ .

2.8. В случае наличия в кожухе корпуса блока перфорационных отверстий, расчет теплового режима такого блока проводится аналогично по вышеприведенным формулам, только конечное значение перегрева проводится по формуле для  $\Delta t_k(1)$  с учетом заданного коэффициента перфораций блока ( $S_n$ ), равного отношению площади отверстий на поверхности кожуха к суммарной поверхности верхней и нижней крышек кожуха блока.

При выполнении расчета теплового режима блока РЭС методом последовательного приближения следует использовать программу MathCad (файл программы расчета прилагается).

## 2 РАСЧЁТ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА БЛОКА РЭС ПРИ ЕСТЕСТВЕННОЙ КОНВЕКЦИИ КОЭФФИЦИЕНТНЫМ МЕТОДОМ

Ниже изложен коэффициентный метод расчета средней поверхностной температуры корпуса блока РЭС в форме параллелепипеда, находящегося в условиях естественного теплообмена с окружающей средой.

Исходными данными для расчета являются следующие величины:

$P$  — мощность действующих в аппарате источников тепла, *вт*;

$L_1, L_2, h$  — габаритные размеры аппарата, *м*;

$\varepsilon$  — степень черноты участвующих в лучистом теплообмене поверхностей корпуса блока;

$t_c$  — температура среды,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$H$  — давление окружающего аппарат воздуха, *мм. рт. ст.*

Перегрев корпуса относительно температуры среды определяется по формуле

$$\mathcal{G}_k = \mathcal{G}_{Pk} k_S k_t k_\varepsilon k_H, \quad (2.1)$$

где каждый из сомножителей правой части представляет собой функцию одного аргумента, а именно:

$$\mathcal{G}_{Pk} = \mathcal{G}_{Pk}(P_{\text{уд.к}}); k_S = k_S(S_k); k_t = k_t(t_c); k_\varepsilon = k_\varepsilon(\varepsilon); k_H = k_H(H);$$

где:  $S_k$  — площадь поверхности корпуса,  $\text{м}^2$ ;

$P_{\text{уд.к}}$  — удельный тепловой поток с наружной поверхности корпуса,  $\text{вт}/\text{м}^2$ .

Значения аргументов  $S_k$  и  $P_{\text{уд.к}}$  определяются по формулам:

$$S_k = 2[L_1 L_2 + h(L_1 + L_2)], \quad P_{\text{уд.к}} = P/S_k. \quad (2.2)$$

Для определения параметров  $\mathcal{G}_{Pk}, k_S, k_\varepsilon, k_H$  построены графики двух серий зависимостей (рис.П2-1 и рис.П2-2). Графики на рис. П2-1 построены для диапазона изменения давления окружающей среды от 300 до 1520 *мм рт. ст.*, графики на рис.П2-2 — для давления от 5 до 300 *мм рт. ст.*

Функция  $k_t = k_t(t_c)$  рассчитывалась при изменении температуры среды в диапазоне  $0 \leq t_c \leq 60^{\circ}\text{C}$  и определяется по одной из следующих формул:

$$\text{для } H = 300 \dots 1520 \text{ мм рт. ст. } k_t = 1,09 - 0,45 \cdot 10^{-2} t_c; \quad (2.3)$$

$$\text{для } H = 5 \dots 300 \text{ мм рт. ст. } k_t = 1,12 - 0,6 \cdot 10^{-2} t_c; \quad (2.4)$$

Изложим **порядок расчета перегрева**  $\mathcal{G}_k$  герметичного корпуса аппарата:

1) по формулам (2.2) вычисляем площадь поверхности корпуса и значение удельного теплового потока с наружной поверхности корпуса  $P_{\text{уд.к}}$ ;

2) в зависимости от величины давления  $H$  по графикам рис.П2-1 или рис.П2-2 определяем значения параметров  $\mathcal{G}_{pk}$ ,  $k_s$ ,  $k_\varepsilon$ ,  $k_H$  и по формуле (2.3) или (2.4) значение  $k_t$ ;

3) по формуле (2.1) рассчитываем искомый перегрев герметичного корпуса  $\mathcal{G}_k$

$$\mathcal{G}_k = \mathcal{G}_{pk} k_s k_t k_\varepsilon k_H$$

Температура корпуса блока

$$t_k = \mathcal{G}_k + t_c \quad (2.5)$$

Вторая часть расчетного задания предусматривает учет перфорационных отверстий в корпусе блока. По заданному значению коэффициента перфораций ( $\Pi$ ), следует определить поправочный коэффициент ( $k_\Pi$ ), используя нижеприведенную таблицу. Значения поправочных коэффициентов ( $k_\Pi$ ) для промежуточных значений коэффициента перфораций ( $\Pi$ ) выбираются по нижеприведенной таблице используя метод аппроксимации.

$\Pi$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
$k_\Pi$	1,00	0,83	0,71	0,5	0,58	0,55	0,51	0,48	0,47	0,46

Определить поправочный коэффициент ( $k_\Pi$ ) можно также пользуясь аналитическим выражением

$$k_\Pi = 0,29 + 1/(0,41 + 4,95 \Pi).$$

Далее следует учесть этот поправочный коэффициент в расчете теплового режима но уже перфорированного блока, добавив его как сомножитель в общую формулу (2.1).

$$\mathcal{G}_k = \mathcal{G}_{pk} k_s k_t k_\varepsilon k_H k_\Pi$$

**Пример.** Определить температуру корпуса радиоэлектронного аппарата, имеющего следующие размеры: длина  $L_l = 0,176$  м, ширина  $L_2 = 0,095$  м и высота  $h = 0,072$  м. Корпус окрашен эмалевой краской (степень черноты  $\varepsilon = 0,9$ ). Давление  $H$  среды, окружающей аппарат, нормальное; температура среды  $t_c = 20^\circ$  С. Мощность источников тепла, действующих в аппарате  $P = 16$  Вт

**Решение:** Площадь наружной поверхности корпуса

$$S_k = 2 [0,176 \cdot 0,095 + 0,072 \cdot (0,176 + 0,095)] = 0,0724 \text{ м}^2.$$

Удельный тепловой поток с наружной поверхности корпуса

$$P_{\text{уд.к}} = 16,0/0,0724 = 221 \text{ Вт/м}^2.$$

2. Так как давление среды  $H = 760$  мм рт. ст. больше 300 мм рт. ст.,

то при определении перегрева  $\mathcal{G}_{pk}$  и коэффициентов  $k_s$ ,  $k_t$ ,  $k_\varepsilon$  и  $k_H$  необходимо воспользоваться графиками рис.П2-1 и формулой (3).

$$\text{При этом } \mathcal{G}_{pk} = \mathcal{G}_{pk}(221) = 21,9 \text{ град}; \quad k_s = k_s(0,0724) = 0,93;$$

$$k_t = k_t(20) = 1,0; \quad k_\varepsilon = k_\varepsilon(0,9) = 1,0; \quad k_H = k_H(760) = 1,0$$

3. Определим перегрев корпуса аппарата:

$$\mathcal{G}_k = 21,9 \cdot 0,93 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 20,4 \text{ град.}$$

Температура корпуса  $t_k = 20,4 + 20 = 40,4^\circ$  С.

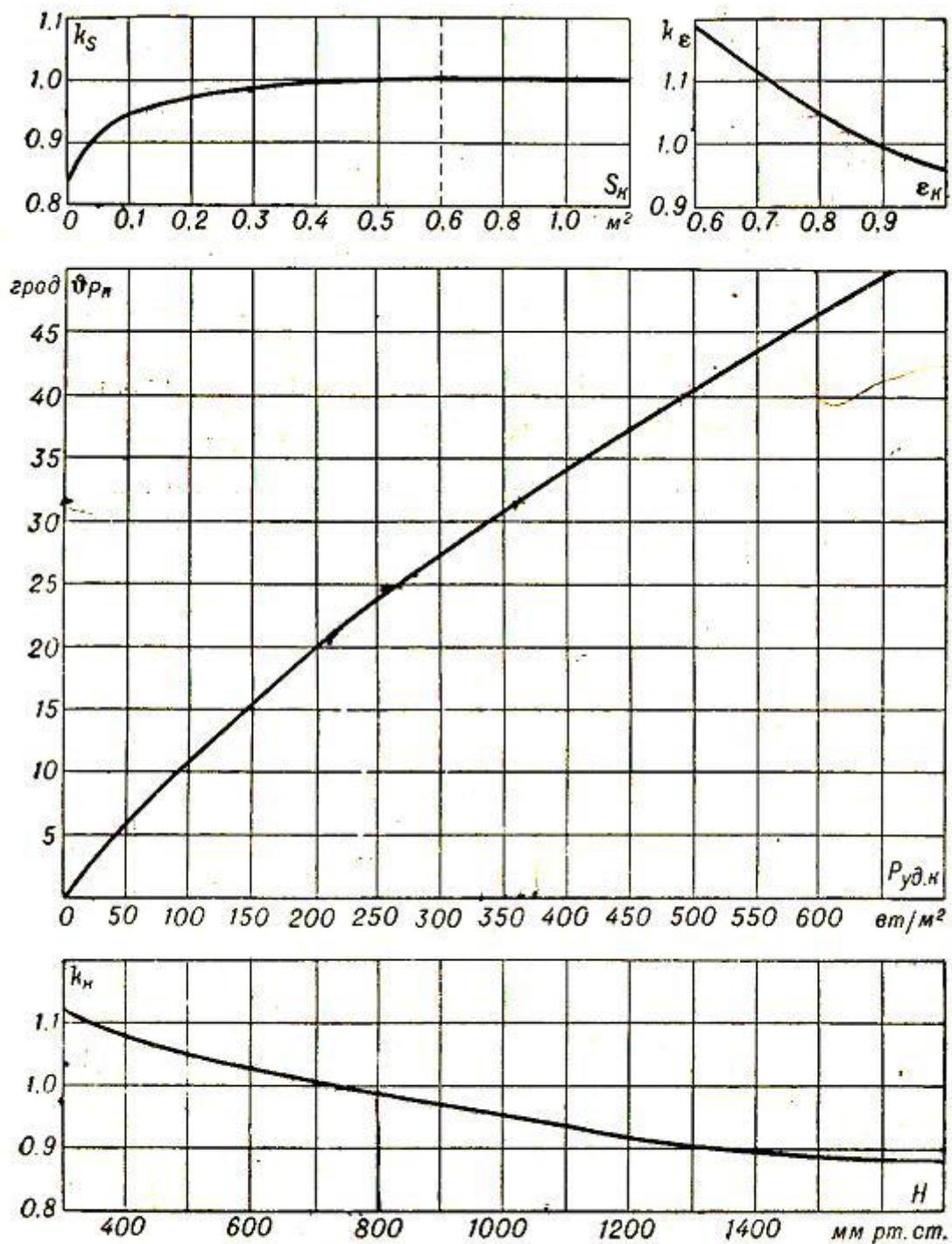


Рис. П2-1. Графики для расчета среднего перегрева  $\vartheta_K$  корпуса аппарата ( $300 \leq H \leq 1500$  мм рт. ст.)

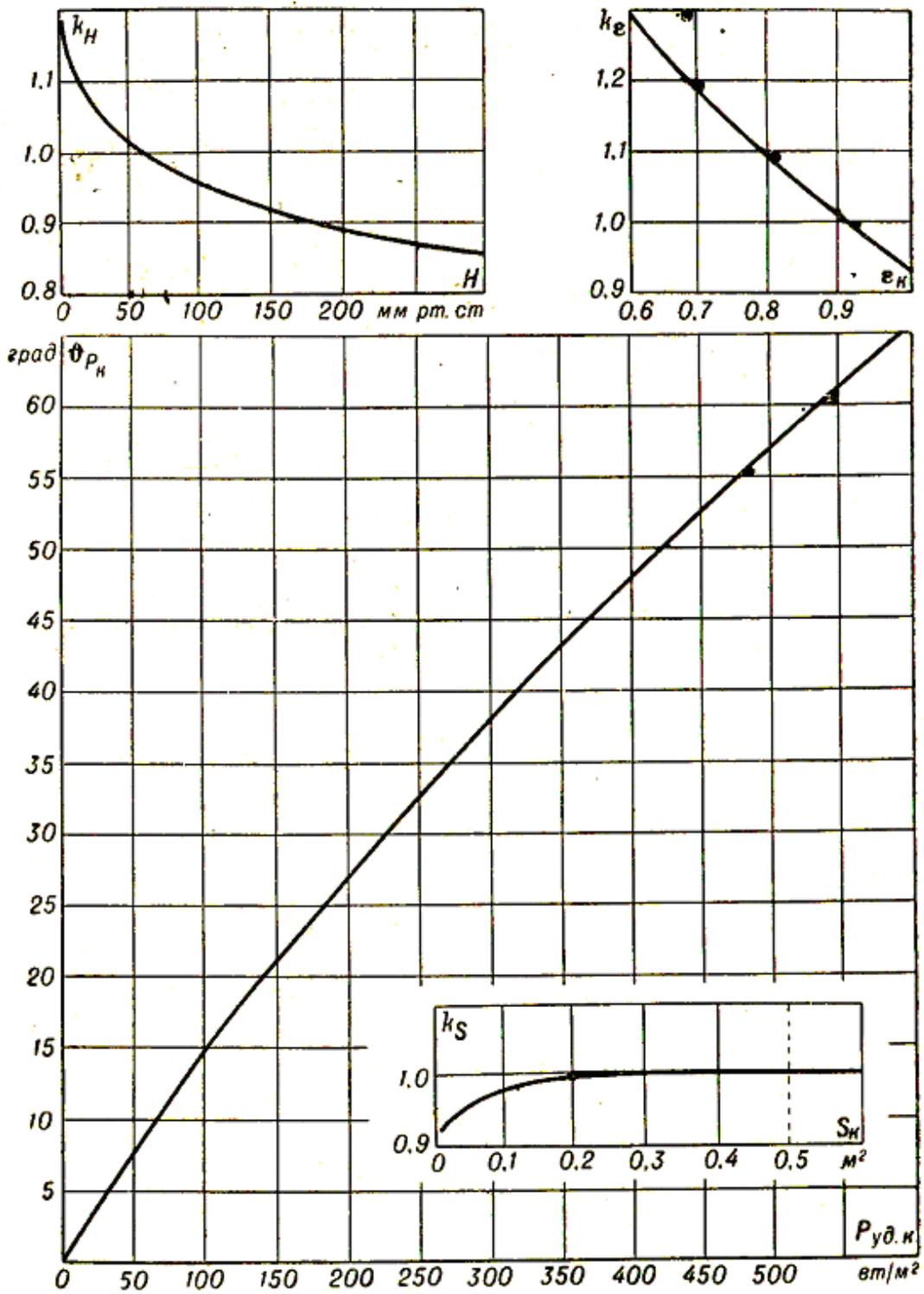


Рис. П2-2. Графики для расчета среднего перегрева  $\vartheta_k$  корпуса аппарата ( $5 \leq H \leq 300$  мм pt. ст.)

### **3 ИСПОЛЬЗУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА**

3.1 Материалы для расчетов тепловых режимов РЭС: Учебно-методическое пособие / Чернышев А.А., - Томск, ТУСУР, 2010г., 32 с.

3.2 Козлов В.Г., Кобрин Ю.П., Кондаков А.К. Основы проектирования электронных средств: Методическое пособие / Томск, ТУСУР, 2006г., 172 с.

3.3 Основы проектирования электронных средств. Общие принципы проектирования : учебное пособие / В. Г. Козлов, А. П. Бацула, Ю. П. Кобрин ; - Томск : ТУСУР, 2005. - 150 с.

3.4 Роткоп Л.П., Спокойный Ю.Е. Обеспечение тепловых режимов при конструировании РЭС. – М.: Сов. Радио, 1990 г., - 230 с.