

Практическое занятие №1

Тема: Исследование тепловых характеристик герметичного, перфорированного, с принудительным охлаждением блока при естественной конвекции.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НАГРЕТОЙ ЗОНЫ

ОДИНОЧНОГО БЛОКА

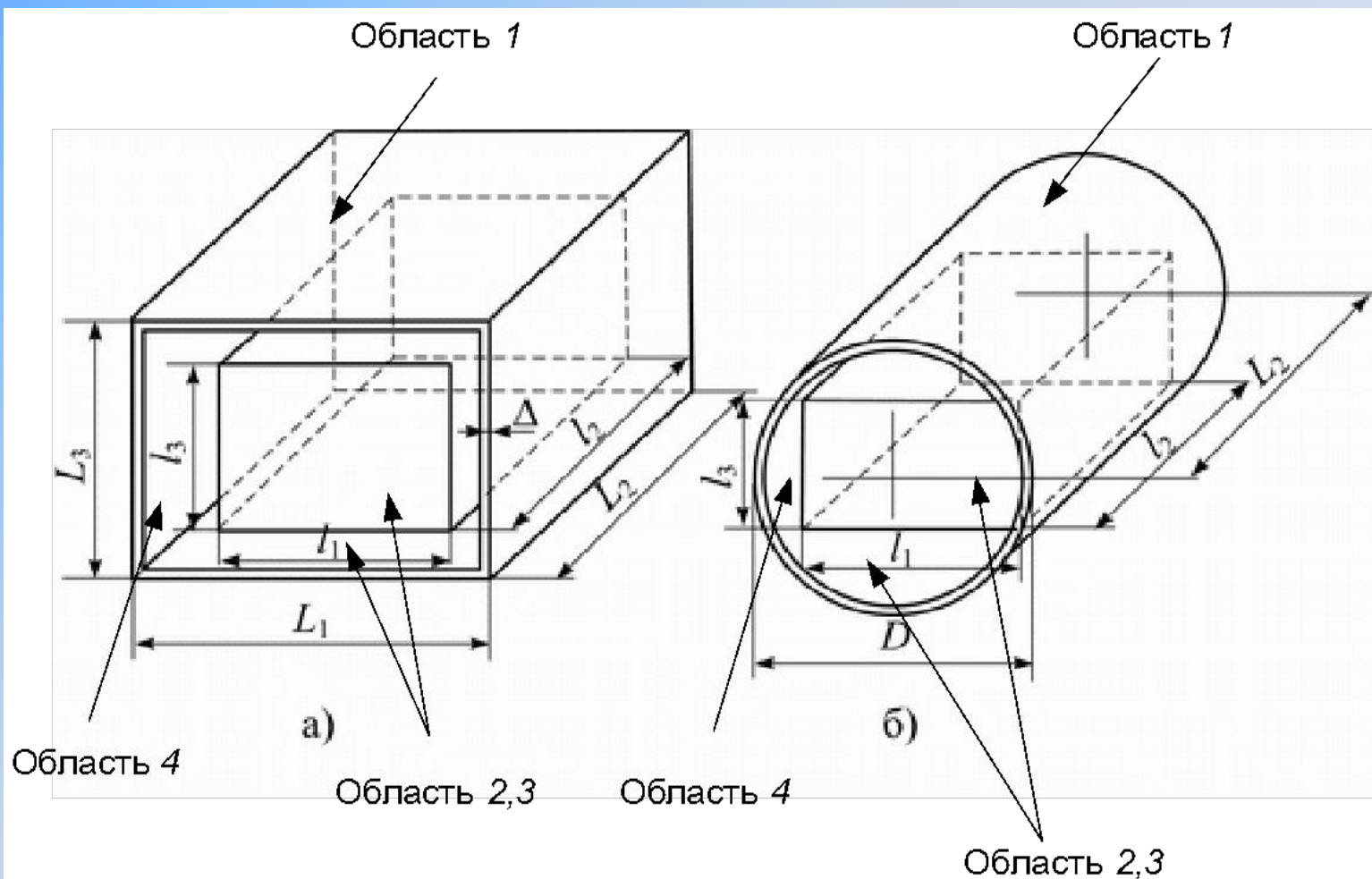
Приведённая ниже методика расчёта справедлива для одиночных блоков в РЭС, имеющих геометрические размеры в пределах 600 мм по трём измерениям. Предполагается, что блок имеет форму прямоугольного параллелепипеда или цилиндра, ось которого может быть расположена горизонтально или вертикально.

- Внутренняя архитектура блока может представлять собой различные конструктивные варианты: шасси с расположенными на нём крупными электрорадиоэлементами, кассеты или ячейки с микросхемами и отдельными дискретными элементами, имеющими геометрические размеры, соизмеримые с размерами микросхем. Кассеты или ячейки могут располагаться горизонтально или вертикально. При вертикальном расположении кассет или ячеек расчёт будет справедлив при условии, что расстояние между кассетами не превышает 3 мм, для горизонтального расположения кассет или ячеек такого ограничения нет.

- Исходные данные

-
- P – суммарная мощность тепловыделения в блоке (потребляемая мощность блока или определяемая из анализа схемы электрической принципиальной), Вт;
- $L_1, L_2, L_3, (D, H)$ – геометрические размеры блока прямоугольной формы (или цилиндрической), м;
- l_1, l_2, l_3 – размеры нагретой зоны, м; t_c – температура окружающей среды, °С.

- Последовательность расчёта
-
- 1. Определение размеров l_1, l_2, l_3 нагретой зоны. Для кассет или ячеек, объединённых в единый блок, размеры нагретой зоны определяются максимальными размерами этого блока. Если в качестве несущего элемента используется шасси с расположенными на нём крупногабаритными элементами, то размеры нагретой зоны будут следующими: два измерения совпадают с размерами шасси $l_1 \approx L_1, l_2 \approx L_2$, а третье l_3 определяется суммой высот шасси h и высотой средних размеров элементов, расположенных с одной и другой сторон шасси h_1 и h_2 (см. рис.



• **Рис. 1.2. Типы блоков:**

- **а** – прямоугольный; **б** – цилиндрический

- Средняя высота элементов определяется по формуле

$$h_{1(2)} = \frac{\sum_{i=1}^n V_i}{L_1 L_2}, \quad (1.6)$$

- где V_i – объём i -го элемента на поверхности шасси; L_1, L_2 – размеры шасси; n – количество элементов с одной стороны шасси.

- Высота нагретой зоны в этом случае

-

$$l_3 = h_{\text{ш}} + h_1 + h_2, \quad (1.7)$$

-

- где $h_{\text{ш}}$ – толщина шасси.

- 2. Расчёт площадей боковой $S_{\text{б}}$, верхней $S_{\text{в}}$ и нижней $S_{\text{н}}$ стенок блока:
 - $S_{\text{б}} = 2L_3(L_1 + L_2); \quad S_{\text{в}} = S_{\text{н}} = L_1L_2. \quad (1.8)$
- 3. Определение площадей нагретой зоны, обращённых в области 1, 2 и 4; здесь область 1 – расположена над нагретой зоной, область 2 – под нагретой зоной, а область 4 – между боковой поверхностью нагретой зоны и кожухом:
 - $S_{31} = S_{32} = l_1l_2; \quad S_{34} = 2l_3(l_1 + l_2). \quad (1.9)$
- 4. Приведённая степень черноты $\varepsilon_{\text{п}}$ нагретой зоны в областях 1 и 2 рассчитывается по формулам

$$\varepsilon_{\Pi} = \left[\frac{1}{\varepsilon_3} + \left(\frac{1}{\varepsilon_K} - 1 \right) \frac{S_3}{S_K} \right]^{-1} \quad (1.10)$$

где $\varepsilon_3, \varepsilon_K$ – степени черноты зоны и кожуха
выбираются из табл. 1.2.

- **1.2. Степень черноты различных**

Материал	ϵ
Алюминий полированный	0,05
Алюминий окисленный	0,25
Алюминий грубополированный	0,18
Алюминиевая фольга	0,09
Асбестовый картон	0,96
Бронза полированная	0,16
Бумага	0,92
Вольфрам	0,05
Графит	0,75

Материал	ε
Дюралюминий (Д16)	0,39
Железо полированное	0,26
Золото	0,10
Ковар	0,82
Краски эмалевые	0,92
Лак	0,88
Латунь полированная	0,03
Латунь прокатная	0,20
Медь полированная	0,02

Медь окисленная	0,65
Муар	0,90
Масляные краски	0,92
Никель полированный	0,08
Олово (луженое кровельное железо)	0,08
Платина	0,10
Резина твёрдая	0,95
Резина мягкая	0,86
Серебро полированное	0,05
Сталь никелированная	0,11

Сталь окисленная	0,80
Стальное литьё	0,54
Сатиса	0,96
Стекло	0,92
Силумин	0,25
Титан	0,63
Фарфор	0,92
Хром полированный	0,10
Цинк	0,25
Шеллак чёрный матовый	0,91

- Приведённая степень черноты нагретой зоны в области 4 равна

$$\bullet \quad \varepsilon_{п4} = \varepsilon_3 \varepsilon_{к'} \quad (1.11)$$

- так как размеры нагретой зоны, обращённой в область 4, могут значительно отличаться от размеров шасси. Для блоков с заполнением в виде кассет или ячеек рекомендуется степень черноты боковой поверхности нагретой зоны определять по выражению для $\varepsilon_{п}$.
- 5. Ориентировочное значение тепловой проводимости участка от нагретой зоны к кожуху рассчитывается по формуле

$$\sigma_3^I = 23(L_1 - 2\Delta_4)(L_2 - 2\Delta_4) \quad \bullet \quad (1.12)$$

- где Δ_4 – толщина корпуса блока (если блок имеет тонкостенный кожух, то толщину Δ_4 можно не учитывать).
- 6. Необходимо задать температуру перегрева кожуха Δt_k . Для блоков, имеющих мощность тепловыделения 100...200 Вт при размерах 300...400 мм, температура перегрева кожуха $\Delta t_k = 10...15$ С.
- В этом случае температура кожуха равна $t_k = t_c + \Delta t_k$. Определяющая (средняя) температура $t_m = (t_k + t_c) / 2$.

• 1.3. Теплофизические параметры сухого воздуха

$t_m, ^\circ\text{C}$	$\lambda_m \cdot 10^2, \text{Вт}/(\text{мК})$	$\mu \cdot 10^3, \text{м}^2/\text{с}$	Pr	$\rho, \text{кг}/\text{м}^3$
-50	2,04	9,23	0,728	1,584
-20	2,28	12,79	0,716	1,390
0	2,44	13,28	0,707	1,295
10	2,51	14,16	0,705	1,247
20	2,60	15,06	0,703	1,205
30	2,68	16,00	0,701	1,165
40	2,76	16,96	0,699	1,128
50	2,83	17,95	0,698	1,093
60	2,90	18,97	0,696	1,090
70	2,97	20,02	0,694	1,029
80	3,05	21,09	0,692	1,000
90	3,13	22,10	0,690	0,972
100	3,21	23,13	0,688	0,946
120	3,34	25,45	0,686	0,898

- 7. Для большинства одиночных блоков РЭС, имеющих небольшую мощность тепловыделения, конвективный теплообмен подчиняется закону степени $\frac{1}{4}$ [3], исходя из этого предположения, рассчитывается коэффициент теплоотдачи α_K для всех наружных поверхностей кожуха по формуле

$$\alpha_K = 0,54 (\text{Pr}_g \beta)_m^{1/4} \frac{\lambda_m}{\nu_m^{1/2}} \left(\frac{t_i - t_c}{L} \right)^{1/4} N \quad (1.13)$$

- где Gr – критерий Прандтля определяется из табл. 1.3; ν_m – кинематическая вязкость, $\text{м}^2/\text{с}$; α – коэффициент температуропроводности, $\text{м}^2/\text{с}$; g – ускорение силы тяжести, $\text{м}/\text{с}^2$; β – коэффициент объёмного расширения, К^{-1} ; λ_m – теплопроводность, $\text{Вт}/(\text{мК})$; $t_{i,m}$ – температура i -й грани кожуха; L – определяющий размер, м (для вертикально ориентированной поверхности это высота, для горизонтально ориентированной поверхности – меньшая сторона); N – коэффициент ориентации нагретой поверхности: для вертикальной стенки $N = 1$; для нагретой поверхности, обращённой вниз, $N = 0,7$ и вверх $N = 1,3$.

- Для воздуха значение

$$\alpha_{\kappa} = A_1 \left(\frac{t_i - t_c}{L} \right)^{1/4} \quad (1.14)$$

- Здесь коэффициент A_1 находится по табл. 1.4 в зависимости от температуры t_m °C.
- Для большинства блоков РЭС кожух выполнен из материала с хорошей теплопроводностью, поэтому его можно считать изотермической поверхностью и, следовательно, температуру кожуха в любой точке принимать одинаковой.
- 8. Расчёт коэффициента лучеиспускания выполняется следующим образом:

$$\alpha_{\text{л}} = \varepsilon_{\text{п}} \varphi_{12} f(t_1, t_2); \quad (1.15)$$

$$f(t_1, t_2) = 5,67 \frac{\left(\frac{t_1 + 273}{100}\right)^4 - \left(\frac{t_2 + 273}{100}\right)^4}{t_1 - t_2} \quad (1.16)$$

- где t_1 – температура кожуха; t_2 – температура среды; φ_{12} – коэффициент взаимного облучения (для одиночного блока $\varphi_{12} = 1$).

1.4. Значения A_1 для воздуха

$t_m, ^\circ\text{C}$	10	20	30	40	60	80	100
A_1	1,4	1,38	1,36	1,34	1,31	1,29	1,27

- 9. Далее рассчитываются полные коэффициенты теплоотдачи с поверхности кожуха:

$$\begin{aligned}
 & \bullet \alpha_{\text{в}} = \alpha_{\text{кв}} + \alpha_{\text{л}}; \quad \alpha_{\text{н}} = \alpha_{\text{кн}} + \alpha_{\text{л}}; \\
 & \bullet \alpha_{\text{б}} = \alpha_{\text{кб}} + \alpha_{\text{л}}, \quad (1.16)
 \end{aligned}$$

-
- где $\alpha_{\text{кв}}$, $\alpha_{\text{кн}}$, $\alpha_{\text{кб}}$ – коэффициенты теплоотдачи верхней, нижней и боковой поверхностей.

- 10. Тепловая проводимость кожуха в окружающую среду

-
- $\alpha_{\text{к}} = \alpha_{\text{в}} s_{\text{в}} + \alpha_{\text{н}} s_{\text{н}} + \alpha_{\text{б}} s_{\text{б}}. \quad (1.17)$

- 11. Температура нагретой зоны в первом приближении

$$t_3^I = t_c + (t_k - t_c) \left(1 + \frac{\sigma_k}{\sigma_3} \right). \quad (1.18)$$

- 12. Расчётная мощность P^I нагретой зоны в предположении, что кожух имеет перегрев Δt_k (заданный в п. 6):

$$P^I = \alpha_k (t_k - t_c). \quad (1.19)$$

- 12. Расчётная мощность P^1 нагретой зоны в предположении, что кожух имеет перегрев Δt_k (заданный в п. 6):
-
- $$P^1 = \alpha_k (t_k - t_c). \quad (1.19)$$
-
- На этом начальный этап заканчивается.
- Второй этап предполагает более точное определение тепловой проводимости от нагретой зоны к кожуху.

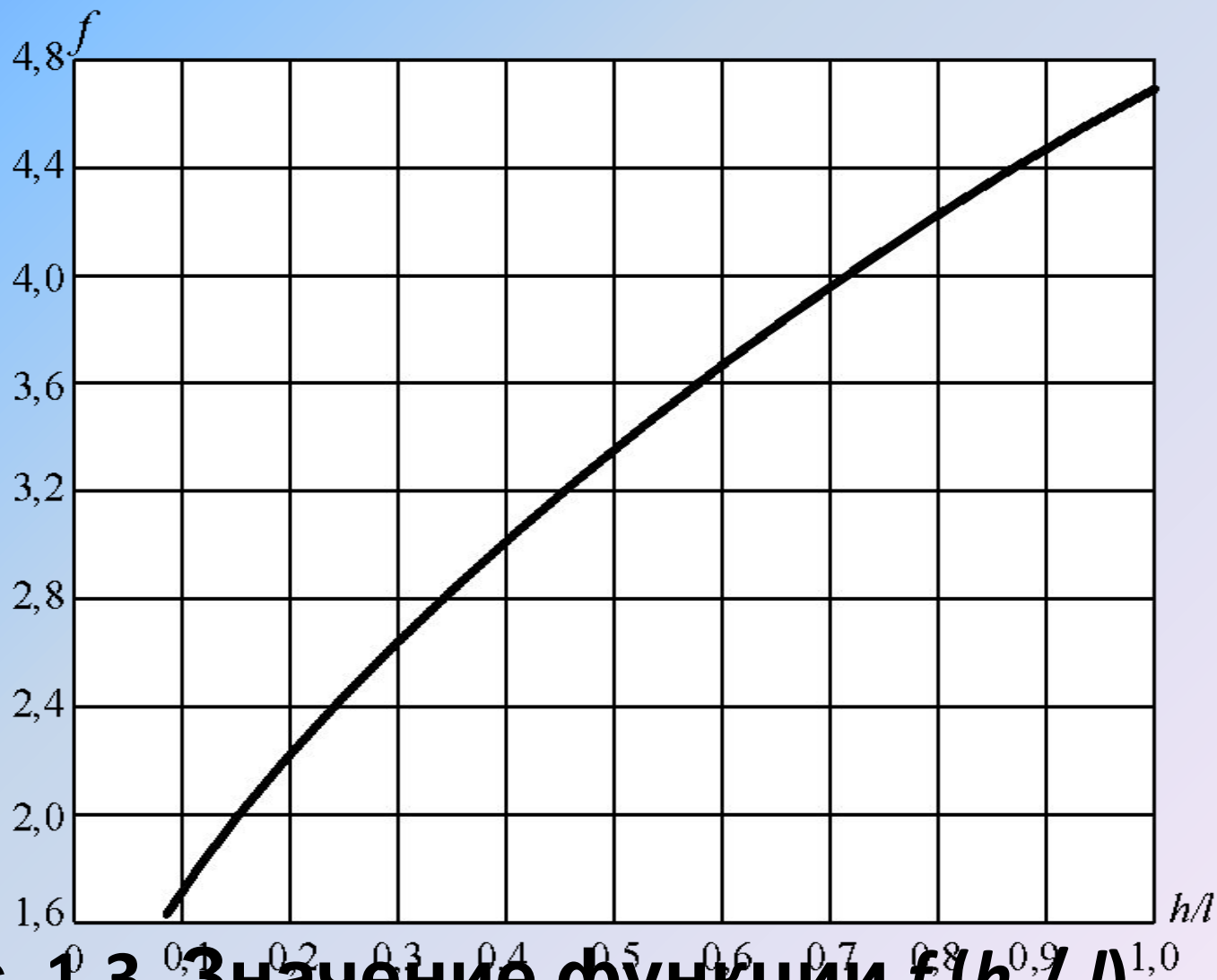
- 13. Поскольку область 1 (см. рис. 1.2) замкнутая, то используют конвективно-кондуктивные коэффициенты верхней K_v и боковой K_b воздушной прослойки между нагретой зоной и внутренней поверхностью кожуха:

$$k_i = Nf\left(\frac{h_i}{l}\right) A_2 \sqrt[4]{\frac{t_3^I - t_k}{h_i}}, \quad i \in \{v, b\}, \quad (1.20)$$

- где h_i – толщина воздушной прослойки между нагретой зоной и кожухом в соответствующей области; l – конвективная составляющая теплопередача, при этом $l = \sqrt{l_1 l_2}$ – для верхней области, $l = \sqrt{l_3 l_2}$ и $l = \sqrt{l_3 l_1}$ – для боковых областей нагретой зоны и кожуха. Значение A_2 находится из табл. 1.5, а величину $f(h_i / l)$ находят из графика (рис. 1.3).

- В области, расположенной под нагретой зоной и кожухом, конвекция всегда отсутствует, и теплопередача определяется теплопроводностью воздуха (среды).
- **1.5. Значения A_2 для воздуха**

$T_m, ^\circ\text{C}$	0	50	100	200
A_2	0,63	0,58	0,56	0,44



• Рис. 1.3. Значение функции $f(h_i/l)$

- 14. Определяют лучистую составляющую коэффициента теплопередачи областей 1, 2 и 4 (см. рис. 1.2) для воздушного зазора между боковой поверхностью нагретой зоны и кожухом. При этом величина приведённой степени черноты, полученная при расчёте в первом приближении, сохраняется, а коэффициент взаимной облучённости принимается равным единице; температура нагретой зоны берётся равной температуре, полученной при расчёте в первом приближении. В результате получают величины $\alpha_{\text{л1}}$, $\alpha_{\text{л2}}$,

- 15. Полные коэффициенты теплопередачи всех областей для нагретой зоны, расположенной горизонтально, рассчитываются следующим образом:
- $K_1 = k_1 + \alpha_{л1}; K_4 = k_4 + \alpha_{л4}; K_2 = \lambda_2 / h_n + \alpha_{л2}.$
(1.21)
-
- Для нагретой зоны, ориентированной вертикально, коэффициенты теплопередачи равны
-
- $K_1 = k_1 + \alpha_{л1}; K_2 = k_2 + \alpha_{л2}; K_4 = (k_1 + k_2) / 2 + \alpha_{л4}.$
(1.22)

- 16. Температура нагретой зоны во втором приближении определяется выражением

- $$t_3^{\text{II}} = t_c + P^{\text{I}} \left(\frac{1}{\sigma_{\text{K}}^{\text{I}}} + \frac{1}{\sigma_{\text{K}}^{\text{II}}} \right) , (1.23)$$

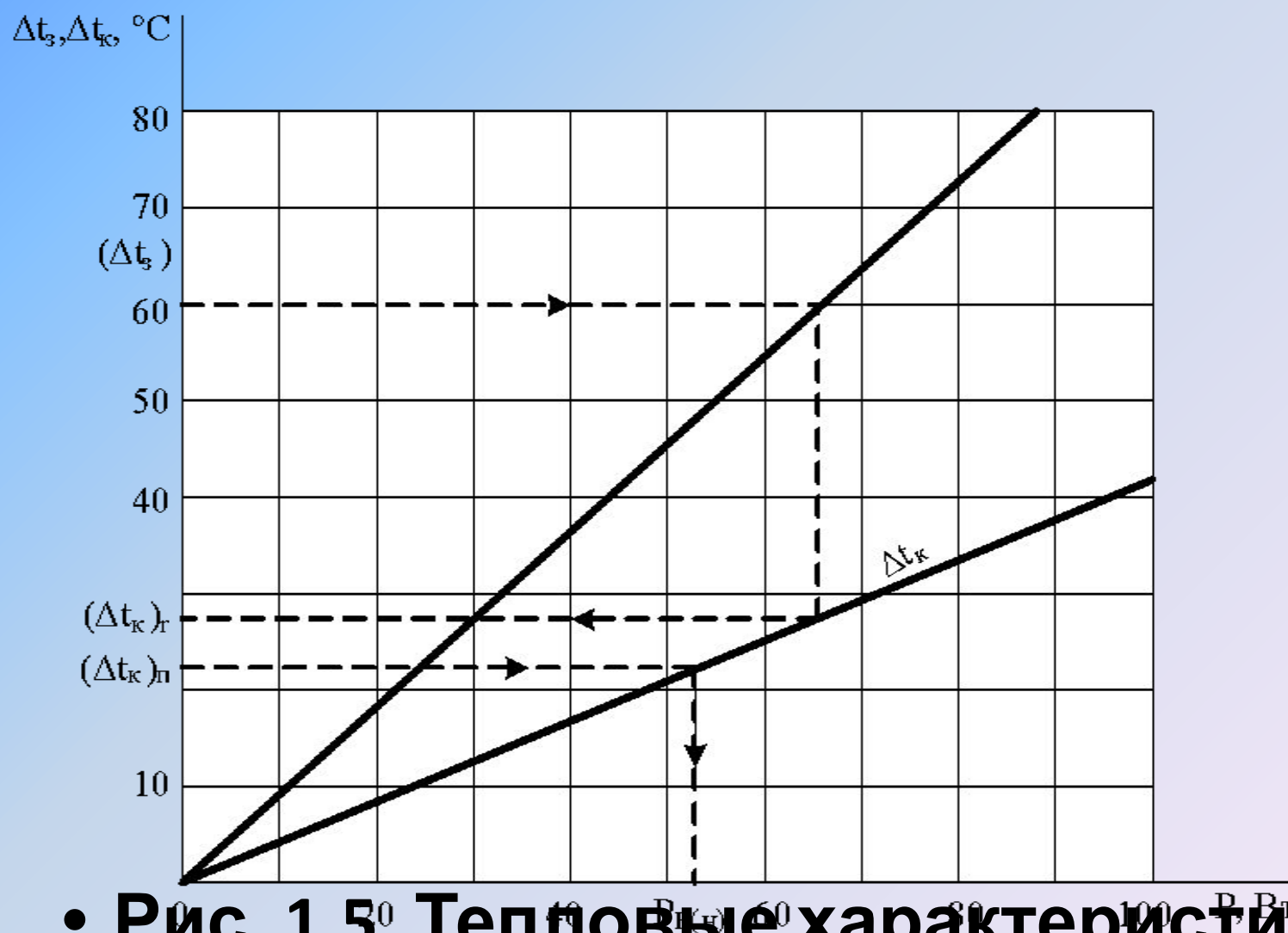
- где $\sigma_{\text{K}}^{\text{I}}$ – тепловая проводимость от кожуха в окружающую среду, $\sigma_{\text{K}}^{\text{II}}$ полученная при расчёте в первом приближении; $\sigma_{\text{K}}^{\text{II}}$ – тепловая проводимость от нагретой зоны к кожуху, рассчитанная во втором приближении по формуле .

- 17. Сравнивают температуры нагретой зоны, полученные при расчётах в первом и во втором приближениях. Если разница составляет более 10%, то проводят расчёт в третьем приближении, при этом

- $$t_p^{\text{III}} = (t_3^{\text{I}} + t_3^{\text{II}}) / 2. \quad (1.24)$$
-

- Получают одну точку тепловой характеристики блока $\Delta t_3 = f(P)$ и $\Delta t_k = f(P)$ (рис. 1.5). Второй точкой будет начало координат. Для получения третьей точки задаются другим значением температуры перегрева кожуха и проводят расчёт заново. По трём полученным точкам строят характеристики $\Delta t_3 = f(P)$ и $\Delta t_k = f(P)$. Искомые температуры кожуха и зоны находят по этим характеристикам при мощности фактически рассеиваемой в блоке P_n .

- Если температура перегрева для элементов блока оказывается выше допустимой, то решают вопрос о применении другого вида охлаждения блока, например, использование жалюзей или перфорации в корпусе.



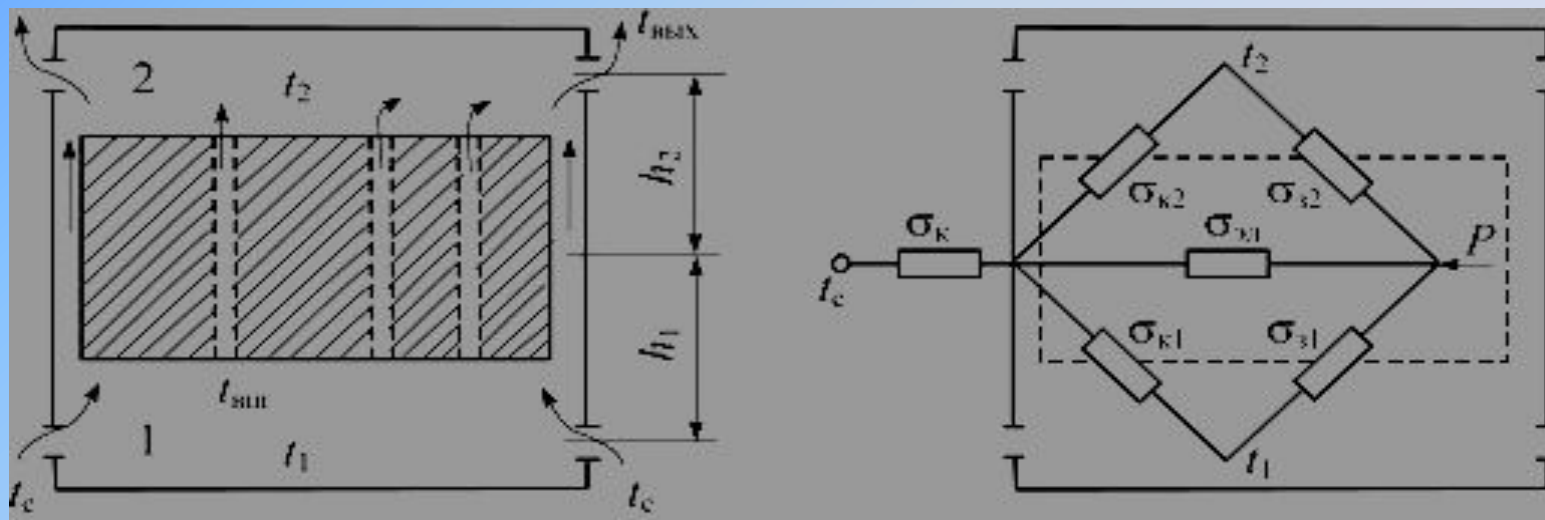
• Рис. 1.5. Тепловые характеристики

• ТЕМПЕРАТУРА ПЕРФОРИРОВАННОГО БЛОКА

- Для увеличения интенсивности теплоотвода кожух блока перфорируют либо в нём делают жалюзи. При равной площади перфорационных отверстий и жалюзи, последние пропускают несколько меньший поток воздуха. Необходимо иметь в виду, что при перфорированном кожухе внутренний объём блока скорее запыляется по сравнению с блоком, имеющим жалюзи. В зависимости от конструктивных особенностей внутреннего строения блока нагретую зону можно представить в нескольких вариантах:

-

- основной конструктив блока – горизонтальное шасси с расположенными на нём крупногабаритными теплоизлучающими элементами. Предполагается, что шасси имеет отверстия для прохода воздуха;
- блок состоит из ряда кассет или ячеек, расположенных горизонтально или вертикально;
- для шасси с крупногабаритными элементами и кассет, расположенных вертикально или горизонтально, размеры нагретой зоны определяются как и в случае «герметичного» блока.
- Тепловые модели блока, используемые при расчётах, приведены на рис. 1.6.



- а) б)
- **Рис. 1.6. Тепловые модели блока:**
 - а – расчётная модель блока; б – эквивалентная схема тепловых проводимостей

- Исходные данные
- P – суммарная мощность тепловыделения в блоке (потребляемая мощность блока или выбирается из анализа схемы электрической принципиальной), Вт;
- L_1, L_2, L_3 – геометрические размеры блока, м;
- $s_1, s_2, s_{\text{ш}}$ – площади отверстий кожуха в областях 1 и 2 (см. рис. 1.6, а) и шасси, м^2 ;
- t_c – температура окружающей среды.

- Последовательность расчёта

-
- 1. Расчёт начинают с предположения, что кожух не имеет вентиляционных отверстий, т.е. блок «герметичный». Строят тепловые характеристики по методике расчёта температуры нагретой зоны одиночного блока (рис. 1.5).
- 2. Задаются перегревом нагретой зоны Δt_3 и находят перегрев кожуха герметичного блока для этой температуры. Перегрев кожуха перфорированного блока определяется по формуле

- $$(\Delta t_k)_п = 0,75(\Delta t_k)_г, \quad (1.25)$$

- где подстрочные индексы п, г означают соответственно перфорированный и герметичный корпус.
- Затем по графику рис. 1.3 находят мощность $P_{\kappa'}$, соответствующую этому перегреву.
- 3. Задаются коэффициентом теплоотдачи от зоны к кожуху (рекомендуется величину в первом приближении выбирать равной 4...6, Вт/(м² · К) [3, 4].
- 4. Мощность теплоотвода от зоны к кожуху за счёт лучеиспускания

- $$P_{3\text{п}} = \varepsilon_{\text{п}} f(t_3, t_{\text{к}}) (t_3 - t_{\text{к}}) \phi_{3\text{к}} S_3, \quad (1.26)$$

-

- где $\varepsilon_{\text{п}}$ – приведённая степень черноты нагретой зоны и внутренней поверхности кожуха (если ε_3 и $\varepsilon_{\text{к}}$ имеют значения больше 0,75, то $\varepsilon_{\text{п}} = \varepsilon_3 \varepsilon_{\text{к}}'$, величину $\varepsilon_{\text{п}}$ можно взять из расчёта блока при условии герметичности кожуха); $\phi_{3\text{к}} = 1$ – кожух «обтягивает» нагретую зону; S_3 – площадь поверхности нагретой зоны (определена ранее при расчёте «герметичного» блока).

- 5. Температура воздуха в первой (нижней) области определяется решением уравнения

$$at_1 + bt_1 + c = 0 \quad (1.27)$$

- 3.

$$a = 2(S_{31} + S_{K1}) - \frac{S_{K1}}{S_{K2}}(S_{32} + S_{K2} - S_{31} - S_{K1}) \quad (1.28)$$

$$b = \left(2 + \frac{S_{K1}}{S_{K2}}\right)A_1 + A_2 - D(S_{32} + S_{K2} - S_{31} - S_{K1}) + \left(S_{31} - S_{K1} \frac{S_{32}}{S_{K2}}\right)t_c \quad (1.29)$$

$$A_1 = S_{31}t_3 + S_{K1}t_K; \quad A_2 = S_{32}t_3 + S_{K2}t_K;$$

$$A = A_1 + A_2; \quad (1.30)$$

$$D = S_{\text{к}} \frac{t_{\text{к}}}{S_{\text{к2}}} - \frac{P_{3\text{л}} - P_{\text{к}}}{\alpha_{3\text{к}}^1 S_{\text{к2}}} \quad (1.31)$$

$$c = DA_1 + [A - (S_{32} + S_{\text{к2}})D] t_{\text{с}} \quad (1.32)$$

- где $S_{31}, S_{32}, S_{\text{к1}}, S_{\text{к2}}$ – поверхности нагретой зоны и кожуха в соответствующих областях.
- Из двух значений температур выбирают такое, чтобы выполнялось условие $t_1 \leq t_2$, так как температура воздуха в первой области (нижней) всегда ниже, чем во второй (верхней).

- 6. Температура воздуха во второй области в первом приближении равна

$$t_2^I = D - \frac{S_{k1}t_1}{S_{k2}} \quad (1.33)$$

- 7. Температура воздуха вблизи отверстий шасси или каналов между вертикальными кассетами $t_{вш}^I$ рассчитывается по формуле

$$t_{вш}^I = 2t_1^I - t_c \quad (1.34)$$

- 8. Температура воздуха на выходе из кожуха (из сечения I) равна

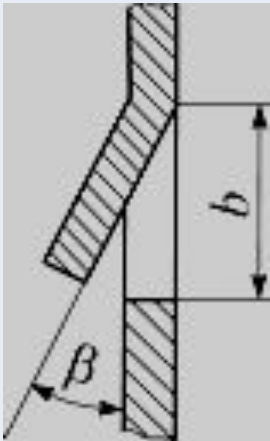
$$t_{вых}^I = 2t_2^I - t_{вш}^I \quad (1.35)$$

- 9. Количество протекающего воздуха через блок определяется выражением

$$G^I = S_1 \mu_1 T_c \rho_c \sqrt{2g} \sqrt{\frac{\frac{h_1 + h_2}{T_c} - \frac{h_1}{T_1} - \frac{h_2}{T_2}}{T_c + \left(\frac{S_1 \mu_1}{S_2 \mu_2}\right)^2 T_2 + \left(\frac{S_1 \mu_1}{S_{III} \mu_{III}}\right)^2 T_1}} \quad (1.36)$$

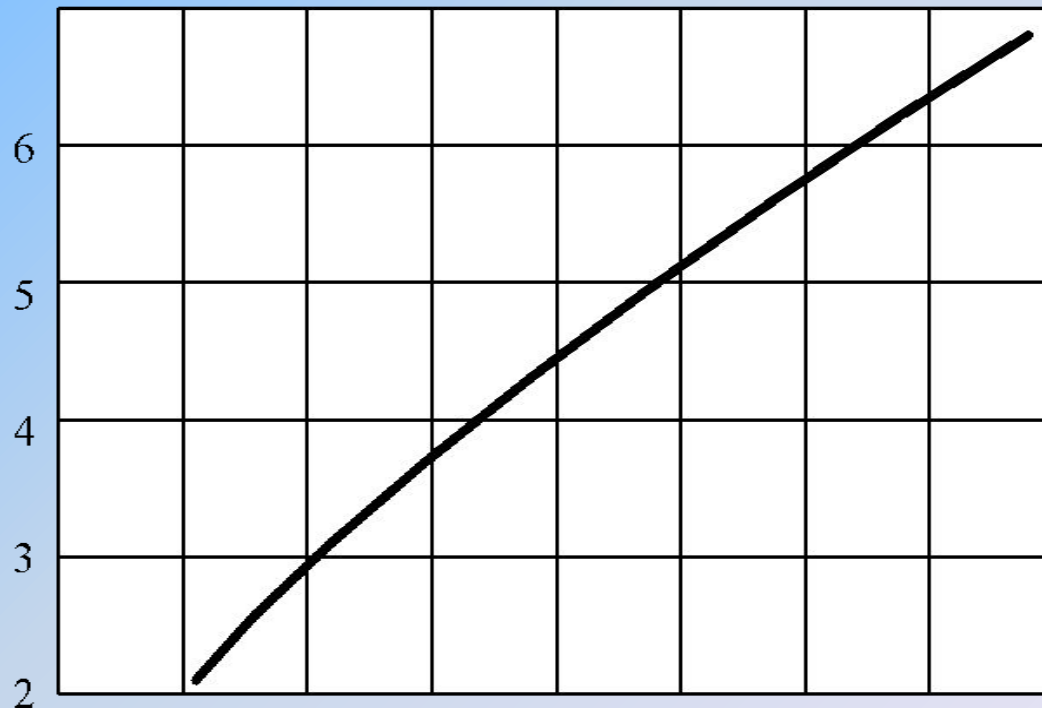
- где $S_1, S_2, S_{\text{ш}}$ – площади перфораций в областях 1, 2 и шасси (нагретой зоне); h_1 и h_2 – средневзвешенные расстояния от середины нагретой зоны в областях 1 и 2 до центра группирования отверстий; $\mu_1, \mu_2, \mu_{\text{ш}}$ – коэффициенты расхода воздуха через жалюзи в соответствующих областях (если имеются перфорации, то $\mu = 0,65$). Величина μ для жалюзи зависит от их формы и угла раскрыва (табл. 1.6); T_1, T_2, T_c – абсолютные температуры соответствующих областей.

- 1.6. Величина μ для жалюзи при разных углах раскрыва

β , град.	Значение μ при b / l			Эскиз жалюзи
	1:4	1:3	1:2	
15	0,30	0,27	0,23	
30	0,45	0,43	0,39	
45	0,56	0,54	0,50	
60	0,62	0,60	0,56	
90	0,65	0,64	0,62	

- 10. По графику (рис. 1.7) уточняют коэффициент теплоотдачи α'' .
- Масса воздуха, заполняющего блок, при температуре 20 °С равна
-
- $G_0 = V_{\text{бл}} K_3 \rho_v, \quad (1.37)$
-
- где $V_{\text{бл}}$ – внутренний объём блока; K_3 – коэффициент заполнения блока ($K_3 = V_{\text{дет}} / V_{\text{бл}}$); $\rho_v = 1,2 \text{ кг/м}^3$ – плотность воздуха при температуре 20 °С.

α , Вт/м²К



- **Рис. 1.7. Зависимость коэффициента теплопередачи от количества протекающего воздуха и массы заполняющего блок воздуха**

- 11. По уточнённому значению α^{II} повторяют расчёт во втором приближении, при этом принимают температуру зоны t_3 , температуру кожуха t_k , мощности $P_{\text{зл}}$ (получена по п. 4) и P_k (получена из графика на рис. 1.3 при перегреве кожуха на Δt_k) оставляют неизменными.
- 12. В результате расчёта во втором приближении находят температуры и G^{II} . Затем находят величину отношения G^{II} / G_0 и по графику (рис. 1.5) уточняют значение α^{III} .

- 13. Мощность, рассеиваемая блоком, во втором приближении равна

-

- $$P^{\text{II}} = P_{\text{к}} + 2G^{\text{II}} c_p (t_2^{\text{II}} - t_1^{\text{II}}) \quad (1.38)$$

-

- где $c_p = 1,01 \cdot 10^3 \text{ Дж/}(\text{кг} \cdot \text{К})$ – удельная теплоёмкость воздуха при температуре 20 °С.

- 14. Температура во втором приближении рассчитывается по формуле

$$t_{\text{к}}^{\text{II}*} = \frac{1}{S_{\text{к1}}} \left[\frac{2c_p G^{\text{II}}}{\alpha^{\text{II}}} (t_1 - t_c) + (S_{31} + S_{\text{к1}}) t_1^{\text{II}} - S_{31} t_3^{\text{II}} \right] \quad (1.39)$$

- 15. Если величина разности температур t_K и составляет более 5%, то проводят расчёт в третьем приближении:

- $$t_K^{III} = t_K^{II} - 0,1(t_K - t_K^{II}) \quad (1.40)$$

- Для найденной температур t_K^{III} по графику (рис. 1.3) находят мощность, рассеиваемую кожухом блока, в третьем приближении P_K^{III} .

- 16. Находят значение функции

$$f(t_3; t_K^{\text{III}})$$

$$P_{3\text{Л}}^{\text{III}}$$

- по формуле (11) и определяю $(P_{3\text{Л}}^{\text{II}} - P_K^{\text{III}})$

Далее у P_K^{III} находят величину D^{III} с учетом

; здесь t_K^{III} получена из град $t_1^{\text{III}}, t_2^{\text{III}}, t_3^{\text{III}}$

температуре t_K^{III} . Рассчитывают

и находят G^{III} .

- 17. По полученным данным из графика (рис. 1.7) находят α^{III} . Мощность, рассеиваемая блоком, в третьем приближении равна

- $$P^{\text{III}} = P_{\text{к}}^{\text{III}} + 2G^{\text{III}} c_p (t_2^{\text{III}} - t_1^{\text{III}}) \quad (1.41)$$

- 18. Температура кожуха в третьем приближении определяется выражением

- $$t_{\text{к}}^{\text{III}*} = \frac{1}{S_{\text{к1}}} \left[\frac{2G^{\text{III}} c_p}{\alpha^{\text{III}}} (t_1^{\text{III}} - t_2) + (S_{31} + S_{\text{к1}}) t_1^{\text{III}} - S_{31} t_3 \right] \quad (1.42)$$

- 19. Окончательные значения температуры кожуха t_K и рассеиваемой мощности P в блоке находятся из соотношений

-

- $$\frac{t_K - t_K^{\text{III}}}{t_K - t_K^{\text{III}*}} = \frac{t_K^{\text{II}} - t_K^{\text{III}}}{t_{K1}^{\text{II}*} - t_{K1}^{\text{III}*}}; \quad P = P^{\text{III}} + \frac{t_K - t_K^{\text{III}}}{t_K^{\text{II}} - t_K^{\text{III}}} (P^{\text{II}} - P^{\text{III}}) \quad (1.43)$$

- Полученные в результате расчёта мощность P и соответствующая ей температура t_k наносятся на график рис. 1.5. По двум точкам строят характеристику $\Delta t_k = f(P)$ (начало координат и t_k). Зная фактическую мощность, рассеиваемую в блоке, по этим двум характеристикам окончательно находят температуры перегрева зоны и кожуха. В случае если они оказываются больше допустимых, необходимо увеличить площадь перфорационных отверстий либо перейти на принудительное охлаждение (вентиляцию) блока.

- **Вывод:** в ходе выполнения практического занятия была освоена методика теплофизического конструирования блоков, был определен перегрев блока, который соответствует заданным климатическим воздействиям.

- **На самостоятельное изучение**
- **Тема ТЕМПЕРАТУРА ЭЛЕМЕНТОВ БЛОКА**
- **С ПРИНУДИТЕЛЬНЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ**

- СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

- **Основная литература**

1. Конструирование узлов и устройств электронных средств: учебное пособие/Д.Ю. Муромцев, И.В. Тюрин, О.А. Белоусов, -Ростов н/Д: Феникс, 2013-504с
2. Моделирование конструкций и технологических процессов производства электронных средств: учебное пособие по курсовому проектированию /Д.Ю. Муромцев, О.А. Белоусов.- Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ»,2013. Ч. I.- 80с.
3. Проектирование и технология радиоэлектронных средств: учебное пособие / З. М. Селиванова, [и др.]; - Тамбов: Тамб. гос. техн. ун-т., 2011. - 164 с.
4. Моделирование конструкций и технологических процессов производства электронных средств: учебное пособие по курсовому проектированию /Д.Ю. Муромцев, О.А. Белоусов.- Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ»,2013. Ч. I.- 80с.-100 экз.
5. Кольтюков Н.А. Проектирование несущих конструкций радиоэлектронных средств [Электронный ресурс]: учеб. пособие для студ. обучающихся по направл. 210200, 210300./ Н. А. Кольтюков, О. А. Белоусов. - Тамбов: ТГТУ, 2009.- Режим доступа: http://window.edu.ru/window_catalog/files/r68310/Koltukov-l.pdf. – Заглавие с экрана.
6. Проектирование и технология электронных средств: учебное пособие / З. М. Селиванова, Д. Ю. Муромцев, О. А. Белоусов; Тамб. гос. техн. ун-т. - Тамбов: ФГБОУ ВПО "ТГТУ", 2012. - 140 с.

- **Дополнительная литература**

1. Основы конструирования и технологии радиоэлектронных средств: Учебное пособие / Баканов, Г. Ф. [и др.]. Изд-во: Академия, 2007. -368с.
2. Основы конструирования и технологии РЭС: учеб. пособие для вузов / Ю. Л. Муромцев [и др.]. - Тамбов: ТВВАИУ, 2007. - 267 с.
3. Белоусов О.А. Основные конструкторские расчеты в РЭС [Электронный ресурс]: Учебное пособие/ О.А. Белоусов, Н.А. Кольтюков, А.Н. Грибков - Тамбов: Изд-во Тамб.гос.тех.ун-та,2007. - Режим доступа: http://window.edu.ru/window_catalog/files/r56836/k_Belousov.pdf. – Заглавие с экрана.
4. Кольтюков, Н.А Экранирование в конструкциях РЭС [Электронный ресурс]: Методические указания по выполнению лабораторных работ. (учебно- методическая разработка)/ Н.А. Кольтюков, О.А. Белоусов. - Тамбов: Изд-во Тамб.гос.тех.ун-та, 2007. - Режим http://window.edu.ru/window_catalog/files/r56800/k_Koltukova.pdf. – Заглавие с экрана.
5. Конструирование и микроминиатюризация РЭА: Учебник для вузов/ П.П. Гелль [и др.]. - Л.: Энергоатомиздат. Ленинградское. отд., 1984. - 535с.
6. Несущие конструкции РЭА/ П.И. Овсищер [и др.]. - М.: Радио и связь, 1988. - 232с.
7. Проектирование конструкций РЭА/ Е.М. Парфенов [и др.].- М.: Радио и связь, 1989. - 272с.
8. Надежность радиоэлектронных и микропроцессорных систем / Ю.Л. Муромцев [и др.] - М.: МИХМ, 1989. - 104с.

- **Периодическая литература**

- ЭЛЕКТРОНИКА: науч.- технический журн. /Изд-во. «Техносфера». Издаётся с 1996г. – 8 раз в год.
- РАДИОТЕХНИКА: науч.- технический журн. /Изд-во. «Радиотехника». Издаётся с 1937г. – 12 раз в год.
- МИКРОЭЛЕКТРОНИКА : науч.- технический журн. /Изд-во. «Наука». Издаётся с 1972г. – 6 раз в год.

- **Internet-ресурсы**

- «Лань» [Электронный ресурс]: электронно-библиотечная система «Издательства «Лань».- Режим доступа: <http://e.lanbook.com/>
- «Единое окно доступа к образовательным ресурсам» [Электронный ресурс]: информационная система.- Режим доступа: <http://window.edu.ru/>
- «eLIBRARY.RU» [Электронный ресурс]: научная электронная библиотека.- Режим доступа: <http://elibrary.ru>
- «[Научная библиотека Тамбовского государственного технического университета](http://www.lib.tstu.ru)» [Электронный ресурс]: электронная библиотека. .- Режим доступа: <http://www.lib.tstu.ru>