ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ՏԵՂԵԿԱԳԻՐ
ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

Տեխնիկական գիտություններ, սերիա XXXII, № 1, 1979 Серия технических наук

ТЕПЛОТЕХНИКА

Г. С. МЕЛИК-АЛАВЕРДЯН, В. А. ТЕРЯН, Л. Б. ТЕР-КАЗАРОВ

ВЫБОР ТИПОРАЗМЕРОВ ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ КАМЕР НА ТЕПЛОУСТОЙЧИВОСТЬ

При испытаниях радиоэлектронных аппаратов (РЭА) возникает задача выбора испытательной камеры. Она заключается в том, чтобы физические явления, происходящие в испытательной камере, были бы адэкватны явлениям, происходящим в той среде, где должен по условиям ТУ работать РЭА.

Теплообмен РЭА в испытательной камере можно рассматривать как теплообмен внутри ограниченного пространства [1]. Однако, в [1] представлена упрощенная модель в условиях естественного охлаждения: РЭА расположен в центре камеры и имеет вид параллелепипеда; расстояние между поверхностями РЭА и внутренними стенками камеры одинаково во всех направлениях.

Рассмотрим теплообмен РЭА в испытательной камере при принудительной вентиляции (вентилятор расположен вверху камеры) в случае, когда РЭА стоит в центре на дне камеры, а расстояние между поверхностями РЭА и внутренними стенками камеры одинаково и равно b.

РЭА имеет форму параллелепипеда со сторонами A, B и C. Тогда условие теплообмена РЭА в камере характеризуется уравнением

$$P = \alpha S (t_s - t_{ср.}) + \alpha' S' (t_s - t_{ср.}), \quad (1)$$

где P — мощность, рассеиваемая РЭА, находящимся внутри камеры, α — коэффициент теплоотдачи от всей боковой поверхности S РЭА воздуху внутри камеры:

$$S = 2A (B + C); \quad (2)$$

α' — коэффициент теплоотдачи с верхней поверхности S' РЭА:

$$S' = BC; \quad (3)$$

t_s — среднеповерхностная температура РЭА, помещенного в испытательную камеру; $t_{ср.}$, $t_{вх}$, $t_{вых}$ — соответственно, температура воздуха внутри, на входе и выходе из камеры:

$$t_{ср.} = \frac{t_{вх} + t_{вых}}{2}. \quad (4)$$

С другой стороны, мощность, рассеиваемая с поверхности РЭА, идет на повышение теплосодержания воздуха внутри камеры, т. е.

$$t_{вых} - t_{вх} = \frac{P}{c_p \rho v S_f}, \tag{5}$$

где c_p, ρ, v — соответственно, теплоемкость, плотность и скорость воздуха, находящегося внутри камеры; S_f — площадь поперечного сечения канала внутри камеры, через который проходит воздух:

$$S_f = 2\delta (C + B) + 4\delta^2. \tag{6}$$

Решая совместно (4) и (5), получим

$$t_{п.к.} = t_{вх} + \frac{P}{2c_p \rho v S_f}. \tag{7}$$

Подставляя (2), (3) и (7) в (1), получим:

$$P = 2\alpha A (B + C)(t_п - t_{вх}) - \frac{P}{2c_p \rho v S_f} + \alpha' BC (t_э - t_{п.к}). \tag{8}$$

Теплоотдачу α с боковой поверхности S РЭА воздуху внутри камеры определим по формуле, определяющей ее при ламинарном режиме движения жидкости внутри трубы. В этом случае α определяется факторами как вынужденного, так и свободного движения.

В [2] для определения коэффициента теплоотдачи в рассматриваемом нами случае рекомендуется следующая формула

$$Nu_f = 0{,}13 \sqrt[3]{Re_f} Cr_f^{0{,}1} \varepsilon_l \varepsilon_R, \tag{9}$$

где Nu_f, Re_f, Cr_f — критерии Нуссельта, Рейнольдса и Грасгофа.

Индекс «f» в перечисленных критериях показывает, что значения физических параметров воздуха берутся при средней температуры воздуха внутри камеры:

$$\varepsilon_R = 1,$$

где ε_l' — поправочный коэффициент на ограниченность трубы.

Зависимость ε_l' от отношения диаметра трубы d к длине l приводится в виде таблицы [2].

Таблица

l/d	1	2	5	10	15	20	30	50
ε_l'	1,90	1,70	1,44	1,28	1,17	1,13	1,05	1,00

В логарифмических координатах зависимость $\varepsilon_0 = f\left(\frac{l}{d}\right)$ (рис. 1) хорошо описывается уравнением

$$\varepsilon_0 = K = 1{,}9\left(\frac{l}{d}\right)^{-0.164}. \qquad (10)$$

Здесь d — эквивалентный диаметр канала, который образуется при нахождении РЭА в камере

$$d = \frac{4f}{\Pi}, \qquad (11)$$

где f — площадь поперечного сечения канала:

$$f = 2B\delta + 2C\delta + 4\delta^2; \qquad (12)$$

Π — полный смачиваемый периметр поперечного сечения канала:

$$\Pi = 4(C + B) + 8\delta. \qquad (13)$$

Тогда (11) с учетом (12) и (13) примет вид

$$d = \frac{4(2B\delta + 2C\delta + 4\delta^2)}{4(C + B) + 8\delta} = 2\delta. \qquad (14)$$

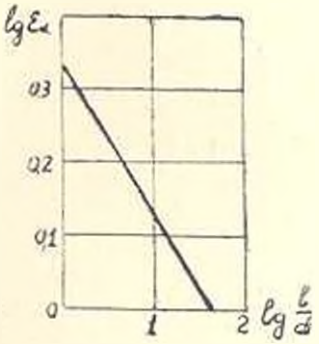

Рис. 1. Зависимость поправочного коэффициента ε_0 от $\frac{d}{l}$.

Коэффициент теплоотдачи α определим, как в [2]

$$\alpha = \frac{Nu\lambda}{d}. \qquad (15)$$

Здесь и в дальнейшем в критериях подобия за определяющий размер будем принимать $d = 2\delta$.

$$Re_f = \frac{v\cdot 2\delta}{\nu_f}, \qquad Cr_f = \frac{g\Delta t 2\delta}{T\nu_f^2}, \qquad (16)$$

где ν_f — коэффициент кинематической вязкости; g — ускорение силы тяжести.

Таким образом, подставляя в (15) выражение (9) с учетом (10), (14) и (16), получим

$$\alpha = 0{,}13\left(\sqrt[3]{\frac{2v}{\nu_f}}\right)\left(\frac{2g\Delta t_к}{T\nu_f^2}\right)^{0.1}\cdot 1{,}9\left(\frac{A}{2}\right)^{-0.164}\delta^{-0.4} \qquad (17)$$

или

$$\alpha = \bar{\alpha}\delta^{-0.4}, \qquad (18)$$

где

$$\bar{\alpha} = 0{,}013\,(0{,}13\cdot 10^6 v)^{0.333}(2{,}94\cdot 18^5\Delta t_к)^{0.1}\left(\frac{A}{2}\right)^{-0.164}. \qquad (19)$$

При определении α' с горизонтальной поверхности РЭА воспользуемся критериальным уравнением для теплоотдачи тел, омываемых поперечным потоком воздуха [2]

$$Nu_{l'} = 0{,}8 \sqrt{Re_{l'}}. \tag{20}$$

За определяющий размер в критериях примем длину обтекания горизонтальной поверхности $l' = \sqrt{BC}$:

$$Re_{b'} = \frac{v \sqrt{BC}}{\nu_f}. \tag{21}$$

Тогда коэффициент теплоотдачи α' определится следующим образом:

$$\alpha' = \frac{Nu \cdot \lambda}{\sqrt{BC}} \tag{22}$$

или

$$\alpha' = \frac{0{,}8 v^{0{,}5} \sqrt[4]{BC} \cdot \lambda}{\nu_f^{0{,}5} \sqrt{BC}}. \tag{23}$$

Подставляя в (23) численные значения физических параметров воздуха, получим

$$\alpha' = 5{,}42 \sqrt{\frac{v}{BC}}. \tag{24}$$

Обозначим: $t_s - t_{ss} = \Delta t_s$. Тогда среднеповерхностный перегрев РЭА в камере относительно температуры воздуха на входе в камеру ($t_s - t_{ss}$) из уравнения (8) определится следующим образом:

$$\Delta t_s = \frac{P \left| 1 + \frac{\alpha A (B + C)}{c_p \rho v S_f} \right|}{2\alpha A (B + C) + \alpha' BC}, \tag{25}$$

где α и α' рассчитываются согласно (18), (19) и (24).

Теперь запишем условие теплообмена РЭА в неограниченной среде, т. е.

$$P = \alpha_0 S \Delta t_s + \alpha_0 S' \Delta t_s, \tag{26}$$

где $\Delta t_s = t_s - t_{cp}$ — среднеповерхностный перегрев корпуса РЭА относительно температуры окружающей среды.

Из (26) определим значение

$$\Delta t_s = \frac{P}{\alpha_0 S + \alpha_0 S'} = \frac{P}{2\alpha_0 A (B + C) + \alpha_0 BC}, \tag{27}$$

где α_0 и α_0 — соответственно, коэффициенты теплоотдачи с боковой и верхней горизонтальной поверхностей корпуса РЭА в неограниченной среде.

Так как температурный напор $\Delta t_s > \left(\frac{840}{A}\right)^2$, то для определения коэффициента теплоотдачи с вертикально ориентированной поверхности [2] справедлив закон $^1/_3$, т. е.

$$\alpha_0 = A_1 \Delta t_s^{1/3}, \tag{28}$$

где A_1 — коэффициент, характеризующий все физические параметры среды [2]:

$$A_1 = 0{,}135 (\beta g P_r)_m^{1/3} \frac{\lambda_m}{\nu_m^{1/3}} \left[вт/м^2 \cdot град^{4/3}\right]. \tag{29}$$

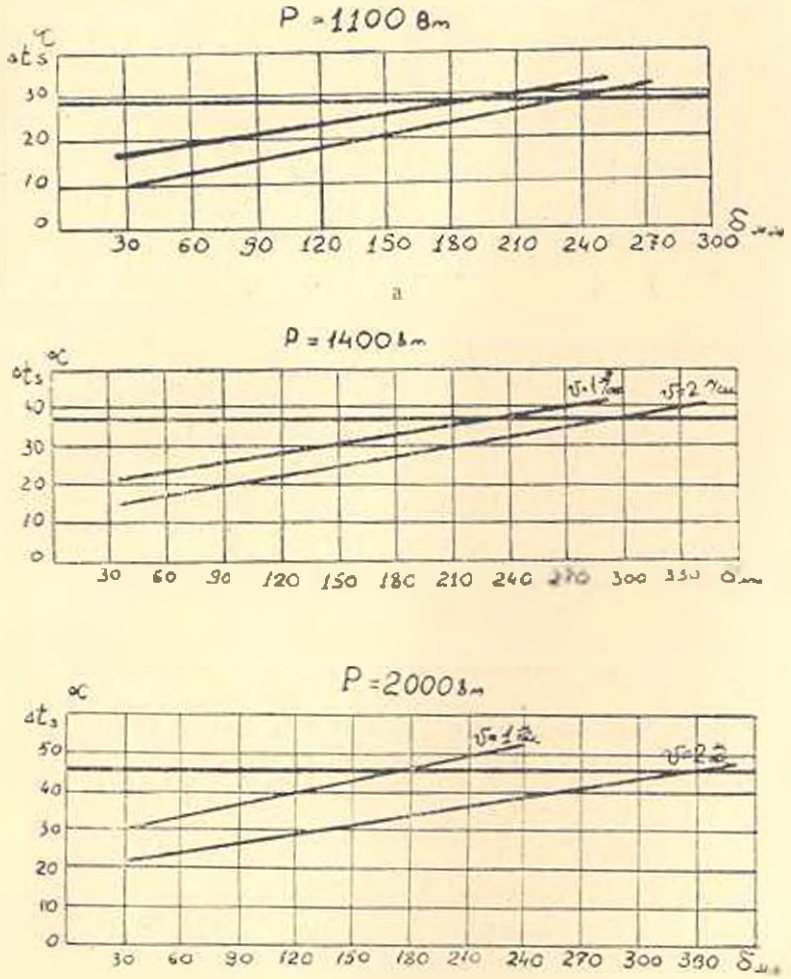

Рис. 2. Зависимость среднеповерхностного перегрева корпуса РЭА относительно температуры окружающей среды от расстояния между поверхностями РЭА и внутренними стенками камеры при:
а) $P = 1100$ *Вт*; б) $P = 1400$ *Вт*; в) $P = 2000$ *Вт*.

Коэффициент теплоотдачи с верхней горизонтальной поверхности корпуса РЭА рассчитывается как для горизонтально-ориентированной плоской поверхности, обращенной нагретой стороной вверх [2]

$$\alpha_0' = 1{,}3 A_3 \Delta t_s^{1/3}. \qquad (30)$$

Подставляя в (27) значения α_0 и α_0' из (28) и (30), получим выражение для определения среднеповерхностного перегрева корпуса РЭА Δt_s в неограниченной среде

$$\Delta t_s = \left\{\frac{P}{A_3\,[2A(B+C)+1{,}3BC]}\right\}^{3/4}. \qquad (31)$$

Условия теплообмена РЭА в камере адэкватны условиям теплообмена в неограниченной среде, когда выполняется равенство (25) и (31), т. е.

$$\frac{P\left[1+\dfrac{\alpha A(B+C)}{c_p\rho v S_l}\right]}{2\alpha A(B+C)+\alpha' BC} = \left\{\frac{P}{A_3\,[2A(B+C)+1{,}3BC]}\right\}^{3/4}. \qquad (32)$$

Аналитическое решение уравнения (32) относительно δ представляется весьма громоздким, поэтому целесообразно решать его графически. С этой целью построим зависимость $\Delta t_s = f(\delta)$, соответствующую выражению (25). Точка пересечения этой кривой с прямой, параллельной оси абсцисс (зависимость 31), определяет размер, который позволит выбрать испытательную камеру.

На рис. 2 приведены графические решения по определению величины δ при испытании ЭВМ при мощности рассеивания $P = 1100$, 1400, 2000 *Вт* и скоростях воздуха внутри камеры $v = 1$ и 2 *м/с*.

ВНИИРИ Поступило 22.IX.1978

Գ. Ս. ՄԵԼԻՔ-ԱԼԱՎԵՐԴՅԱՆ, Վ. Ա. ՏԻՐՅԱՆ, Լ. Ռ. ՏԵՐ-ԿԱԶԱՐՈՎ

ՋԵՐՄԱԿԱՅՈՒՆՈՒԹՅԱՆ ՓՈՐՁԱՐԿՄԱՆ ԽՑԵՐԻ ՏԵՍԱԿԻ ԵՎ ՉԱՓԵՐԻ ԸՆՏՐՈՒԹՅՈՒՆԸ

Ա մ փ ո փ ո ւ մ

Ուսումնասիրվում է ջերմակայունության փորձարկման խցի ընտրությունը, որում ջերմափոխանակման և շահագործման իրական պայմանները համընկնում են:

Դիտարկվում է ջերմափոխանակության փորձարկման խցում հարկադիր օդափոխության ժամանակ (օդափոխիչը դրված է խցի վերևում), երբ զուգահեռանիստի ձև ունեցող ռադիոէլեկտրոնային սարքավորումը (ՌԷՍ) դրված է խցի հատակի կենտրոնում, իսկ ՌԷՍ-ի մակերևույթների ու խցի ներքին պատերի հեռավորությունները միանման են և հավասար δ:

Ստացված են հավասարումներ խցում ՌԷՍ-ի միջմակերևույթային գերտաքացումները խցի մուտքում օդի ջերմաստիճանի նկատմամբ ($t_s - t_{вх}$) որոշելու համար, ելնելով խցում և անսահմանափակ միջավայրում ՌԷՍ-ի ջերմափոխանակության պայմաններից։

Ցույց է տրված, որ այդ հավասարումների համատեղ լուծումը տալիս է δ-ի արժեքը, որը որոշում է ջերմակայունության փորձարկման խցի չափերը։

ЛИТЕРАТУРА

1. *Карапетян А. М., Хачикян Р. О., Терян В. А.* Методика выбора типоразмеров испытательных камер. Тр. сем. «Методы и средства испытаний изделий на надежность», МДНТП, 1972, с. 150—155.
2. *Дульнев Г. Н., Семяшкин Э. М.* Теплообмен в радиоэлектронных аппаратах. М., «Энергия», 1968.