

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ ДЛЯ СУШИЛЬНЫХ ШКАФОВ

1. Методика предназначена для определения основных параметров излучателей, изготовленных из кварцевых трубок с керамическим покрытием, использующих в качестве нагревательного элемента спираль из проволоки с высоким электрическим сопротивлением.

2. Основные исходные данные.

2.1. Геометрические параметры кварцевых трубок – D_T – внешний диаметр трубки (мм), S_T – толщина стенки трубки (мм):

D_T (мм)	9	10	12	12	12	14	14	15	15
S_T (мм)	1,25	1,25	2,5	2,0	1,5	1,5	1,5	2,5	1,5

2.2. Диаметр провода с высоким электрическим сопротивлением – d_{np} – (мм):

d_{np} (мм)	0,2	0,22	0,25	0,28	0,3	0,32	0,36	0,4	0,45	0,5
	0,55	0,56	0,6	0,63	0,7	0,8	0,9	0,95	1,0	-

2.3. Допустимые диаметры оправки – $d_{оп}$ – (мм), для намотки спирали:

$d_{оп}$ (мм)	1,0	1,1	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,5	2,8
	3,2	3,2	3,6	4,0	4,5	5,6	6,0	7,0	8,0	9,0

3. Основные справочные данные.

3.1. Коэффициент теплопроводности воздуха – λ_b – (Вт/м·°C) в зависимости от температуры – T – (°C):

T (°C)	100	120	140	160	180	200	250	300	350	400	500	600	700	800
λ_b (Вт/м·°C)/10 ⁻²	3,2	3,3	3,4	3,6	3,7	3,9	4,2	4,6	4,9	5,2	5,7	6,2	6,7	7,1
	1	4	9	4	8	3	7	1	1	1	5	2	1	8

3.2. Среднее удельное электрическое сопротивление проволоки – ρ_{np} – (Ом·мм²/м) в диапазоне температур 100~800°C:

$$\rho_{np} = 1,11 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2 / \text{м}$$

3.3. Постоянная Стефана-Больцмана для абсолютно черного тела:

$$\tau = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ (Вт/м}^2 \cdot \text{°K)}$$

3.4. Средний коэффициент теплопроводности кварцевого стекла – λ_k – (Вт/м·°C) в диапазоне температур 100÷700°C:

$$\lambda_k = 1,63 \text{ (Вт/м} \cdot \text{°C)}$$

4. Переменные параметры.

4.1. Длина излучателя – $L_{изл}$ – (м).

4.2. Напряжение на излучателе – $U_{изл}$ – (В), в зависимости от выбранной схемы подключения.

4.3. Линейная мощность излучателя – P_l – (Вт/м).

5. Расчет электрических параметров спирали.

5.1. Мощность излучателя – $P_{изл}$ – (Вт):

$$P_{изл} = P_l L_{изл}$$

5.2. Ток, протекающий по спирали – $Y_{изл}$ – (А):

$$Y_{изл} = P_{изл} / U_{изл}$$

5.3. Сопротивление спирали – $R_{изл}$ – (Ом):

$$R_{изл} = U_{изл}^2 / P_{изл}$$

6. Расчет геометрических параметров спирали.

6.1. Длина проволоки диаметром $d_{пр}$ (мм), для изготовления спирали $-L_{пр}$ - (м):

$$L_{пр} = \pi \cdot d_{пр}^2 \cdot R_{изл} / 4 \cdot c_{пр}$$

6.2. Определение минимально- и максимально- возможных диаметров спирали для данного диаметра провода:

$$d_{сп\ min} = 5 \cdot d_{пр}$$

$$d_{сп\ max} = 12 \cdot d_{пр}$$

6.3. Определение минимально- и максимально- возможных значений диаметров оправки для навивки спирали:

$$d_{оп\ min} = 0.93 d_{сп\ min} - d_{пр}$$

$$d_{оп\ max} = 0.93 d_{сп\ max} - d_{пр}$$

6.4. Выбирается допустимый диаметр оправки в соответствии с неравенством:

$$d_{оп\ min} \leq d_{оп} \leq d_{оп\ max}$$

6.5. Определяется диаметр спирали.

$$d_{сп} = 1.07(d_{оп} + d_{пр})$$

6.6. Шаг витков спирали $-h_{сп}$ (мм) определяется:

$$h_{сп} = \pi \cdot d_{сп} \cdot L_{изл} / L_{пр}$$

6.7. Внутренний диаметр кварцевой трубки $D_{вн}$ (мм) определяется:

$$D_{вн} = D_{т} - 2S_{т}$$

6.8. Шаг витков спирали должен удовлетворять требованиям следующих неравенств:

$$1.5d_{пр} \leq h_{сп} \leq 5d_{пр}$$

$$\text{и } h_{сп} \leq D_{вн} - d_{оп}$$

В случае невыполнения неравенств возвратиться к п.6.4

7. Температурный режим работы спирали.

7.1. Для расчета температуры спирали вводится понятие эквивалентного цилиндрического стержня, тепловой поток с поверхности которого был бы равен тепловому потоку спирали.

7.2. Диаметр эквивалентного стержня $d_{э}$ (мм) определяется:

$$d_{э} = D_{вн} \left[0.5\pi D_{вн} d_{пр} / h_{сп} (d_{оп} + 0.5 d_{пр}) \right]^{h_{сп}(D_{вн} - d_{оп} - 0.5 d_{пр}) / h_{сп}(d_{оп} + 0.5 d_{пр}) - 0.5\pi D_{вн} d_{пр}}$$

7.3. Излучающая поверхность $S_{э}$ (мм) эквивалентного стержня определяется:

$$S_{э} = \pi d_{э} L_{изл} \cdot 10^3$$

7.4. Температура спирали согласно закона Стефана-Больцмана $T_{сп}$ (°C) определяется:

$$T_{сп} = \sqrt[4]{U^2 / R_{изл} S_{э} 10^{-6} \tau_o - T_o}$$

где: $T_o = 273.16$ °K –реперная точка шкалы °K, соответствующая реперной точке 0° шкалы °C

7.5. Максимально допустимая температура спирали в трубчатых нагревателях:

$$T_{сп\ max} = 880^\circ\text{C}$$

7.6. Анализ соответствия температуры спирали неравенству:

$$T_{сп} \leq T_{сп\ max}$$

В случае несоответствия, выбирается спираль с другими параметрами.

8. Температурный режим излучателя.

8.1. Согласно экспериментальным данным, излучатель должен излучать инфракрасные лучи в диапазоне длин волн:

$$\Delta\lambda_1 = 5.4 \div 7.2 \text{ мкм}$$

или $\Delta\lambda_2 = 2.9 \div 3.1 \text{ мкм}$

8.2. Согласно закону Вина, температура поверхности излучателя, при которой излучение данной длины волн будет максимальной:

$$T = 2898 / \lambda - T_0 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

Температура излучателя для сушильных шкафов должна быть в пределах:

$$129^\circ\text{C} \leq T_{\text{изл}} \leq 263^\circ\text{C}$$

или $661^\circ\text{C} \leq T_{\text{изл}} \leq 725^\circ\text{C}$

8.3. Из формулы теплопроводности цилиндрической стенки, определяются минимальные и максимальные значения температуры внутренней поверхности излучателя:

$$T_{\text{вн}} = P / (2\pi\lambda r_{\text{кп}}) \cdot D / D_{\text{т}} + T_{\text{изл}}$$

Температура внутренней поверхности трубки должна удовлетворять неравенству:

$$T_{\text{вн1 min}} \leq T_{\text{вн}} \leq T_{\text{вн1 max}}$$

$$T_{\text{вн2 min}} \leq T_{\text{вн}} \leq T_{\text{вн2 max}}$$

8.4. Безразмерный коэффициент геометрических параметров трубчатого нагревателя:

$$\lambda = 0.159 \left| \frac{D_{\text{вн}}}{d_{\text{з}}} + (0.5 + 59 \frac{d_{\text{пр}}}{d_{\text{з}}}) 10^{-3} \left\{ \frac{h_{\text{сп}}}{d_{\text{пр}}} - [1 + (\frac{d_{\text{пр}}}{D_{\text{вн}}})^{0.38}] \right\} \right|$$

8.5. Допустимые значения температуры спирали определяются по формуле:

$$T_{\text{сп}} = \lambda P / \lambda_{\text{в}} + T_{\text{вн}}$$

Температура спирали должна удовлетворять неравенству:

$$T_{\text{сп1 min}} \leq T_{\text{сп}} \leq T_{\text{сп1 max}}$$

или $T_{\text{сп2 min}} \leq T_{\text{сп}} \leq T_{\text{сп2 max}}$

8.6. Выполняется анализ температуры спирали на соответствие одному из неравенств п.8.5.

В случае несоответствия, необходимо выбрать спираль с другими параметрами.

8.7. Температура внутренней стенки трубки излучателя определяется:

$$T_{\text{вн}} = T_{\text{сп}} - \lambda P / \lambda_{\text{в}}$$

8.8. Температура поверхности излучателя определяется:

$$T_{\text{изл}} = T_{\text{вн}} - P / (2\pi\lambda_{\text{кп}} \cdot D_{\text{т}} / D_{\text{вн}})$$

Конечно, эта методика не может учитывать того, что дает функциональная керамика, но ее нужно воспринимать как предварительный расчет граничных значений основных параметров излучателя. В действительности, применение функциональной керамики позволяет изменять параметры первичного излучателя в широких пределах, и результат практически не зависит от температуры спирали в определенных пределах, конечно, так как глубину проникновения вторичного излучения в продукт и диффузию воды из глубинных слоев, обеспечивает импульсность функциональной керамики. Но если Вы хотите сделать себе ИК-сушилку с использованием кварцевых или иных излучателей, то этот расчет поможет Вам получить максимальный эффект. Конечно, Вы должны воспользоваться также приведенными принципами газодинамики с эжекторной или лабиринтной системой. Возможно, что Вы придумаете новую, более эффективную систему отвода пара, чего нам бы очень хотелось.