

## МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПОВІТРОНАГРІВАЧІВ ЕЛЕКТРОКАЛОРИФЕРІВ З ТЕН

Електрокалорифери з використанням трубчатих електричних нагрівачів (ТЕН) для нагріву повітря займають досить значне місце у загальному об'ємі виробництва електрокалориферної техніки. Перевагами електрокалориферів з ТЕН є надійність у роботі, висока ремонтно-придатність (ТЕНи легко замінюються), високі гігієнічні якості (відсутність пригорання пилу), простота конструктивного оформлення та монтажних операцій при виготовленні нагрівальних блоків. Недоліком електрокалориферів такого типу є значно більші, у порівнянні з іншими конструкціями електрокалориферів, габарити нагрівальних блоків і самих електрокалориферних установок.

Конструкції та технічні характеристики сучасних трубчатих електронагрівачів, які серійно виробляються вітчизняною промисловістю та зарубіжними фірмами наведені на рис. 1 та в таблицях 1, 2.

Розрахунок електронагрівального блоку електрокалориферів зводиться до підбору і компоновки потрібної кількості ТЕН і визначенню спожитої ними електричної потужності при заданих значеннях електричної потужності  $N_e$ , температури повітря, яке подається у нагрівальний блок  $t_{n,1}$  і нагрітого повітря  $t_{n,2}$ .

Розрахунок доцільно проводити у такій послідовності.

1. Вибирають тип і розміри (зовнішній діаметр трубки  $d_n$ , конструктивну довжину  $L_k$ , активну довжину  $L_{a,1}$ ) ТЕН для використання у якості нагрівачів повітря в електрокалориферах. Для ТЕН діаметром 12...12,5 мм можна користуватись даними таблиць 1, 2. Технічні характеристики ТЕН інших діаметрів наведені у довідниковій літературі проспектах зарубіжних фірм-виробників.

2. Приймають швидкість повітря  $\omega_n$  у живому перерізі електронагрівального блоку. Вона може бути прийнята на рівні 5...12 м/с.

3. Приймають значення експлуатаційної температури поверхні ТЕН. З метою запобігання пригорання пилу на поверхні і довгострокової роботи ТЕН температуру  $t_t$  на поверхні слід приймати на рівні 200...250 °С.

### Характеристики U-подібних трубчатих електронагрівачів ( $d_{\text{зов}} = 12,5\text{мм}$ )

Номер елемента	Робоча напруга, В	Потужність $\pm 8\%$ , Вт	Литома потужність $10^4 \sigma_t$ , Вт/м <sup>2</sup>	Робоче середовище	Температура поверхні при $t_{\text{зов}} = 25^\circ\text{C}$	Габаритні розміри $\Lambda$ , мм	Активна довжина елемента, мм	Маса, кг
<b>Гладкотрубні елементи (рис. 1а)</b>								
1	220	985	2,44	повітря $\omega = 3+5 \text{ м/с}$	315	572	1030	0,812
2	220	860	3,0		385	422	730	0,61
3	220	980	3,0		386	472	830	0,68
4	110	230	1,12		150-170	322	530	0,484
5	220	360	1,23		150-170	472	830	0,68
6	220	445	1,225		150-170	572	1030	0,81
7	110	240	2,1	повітря $\omega = 0 \text{ м/с}$ $t_{\text{зов}} = 25^\circ\text{C}$	520	222	330	0,35
8	220	530	2,08		516	422	730	0,61
9	220	680	2,06		513	522	930	0,75
10	220	750	2,07		515	572	1030	0,81
11	110	150	0,455		150-170	522	930	0,75
12	110	217	1,23	повітря $\omega = 3+5 \text{ м/с}$	150-170	372	630	0,54
<b>Оребрені елементи (рис. 1б)</b>								
1	110	425	0,236	повітря $\omega = 3+5 \text{ м/с}$	100-125	300	540	0,81
2	220	580	0,236		100-125	400	740	1,0
3	220	660	0,236		100-125	450	840	1,1
4	220	740	0,236		100-125	400	940	1,3
5	220	820	0,236		100-125	550	1040	1,4
6	110	1220	0,5		300	400	740	1,06
7	220	1550	0,5		300	500	940	1,3
8	55	120	0,083	повітря $\omega = 0 \text{ м/с}$ $t_{\text{зов}} = 25^\circ\text{C}$	150-170	250	440	0,68
9	110	175	0,083		150-170	350	640	0,94
10	110	260	0,083		150-170	500	940	1,3
11	55	335	0,23		300	250	440	0,68
12	110	645	0,23		300	450	840	1,17
13	110	795	0,23		300	550	1040	1,43
14	220	270	0,236	повітря $\omega = 3+5 \text{ м/с}$	100-125	200	340	0,48

Характеристики прямолінійних трубчатих електронагрівачів  
( $d_{\text{зов}} = 12,5\text{мм}$ )

Номер елемента	Робоча напруга, В	Потужність $\pm 8\%$ , Вт	Питома потужність $10^{-4} \sigma_T$ , Вт/м <sup>2</sup>	Робоче середовище	Температура поверхні при $t_{\text{зов}} = 25^\circ\text{C}$	Габарит, мм		Активна довжина елемента, мм	Маса, кг
						А	Б		
Гладкотрубні елементи (рис. 1в)									
1	55	140	1,09	повітря $\omega = 3+5 \text{ м/с}$	150-170	445	400	325	0,3
2	55	160	1,09		150-170	495	450	375	0,33
3	73,3	205	1,1		150-170	595	550	475	0,4
4	55	200	1,85	повітря	500	395	350	275	0,27
5	110	345	1,85	$\omega = 0 \text{ м/с}$	500	595	550	475	0,4
6	44	65	0,441	$t_{\text{зов}} = 25^\circ\text{C}$	150-170	495	450	375	0,33
Оребрені елементи (рис. 1г)									
1	55	75	0,083	повітря $\omega = 3+5 \text{ м/с}$	150-170	395	350	275	0,42
2	44	130	0,083		150-170	595	550	475	0,69
3	110	325	0,23		300	545	500	425	0,62
4	73,4	215	0,236	повітря $\omega = 0 \text{ м/с}$ $t_{\text{зов}} = 25^\circ\text{C}$	150-170	395	350	275	0,42
5	110	335	0,236		150-170	545	500	425	0,62
6	55	54	0,5		300	445	400	325	0,49
7	110	785	0,5		300	595	500	475	0,69

4. Припускаючи, що вся електрична потужність  $N_e$ , витрачається на нагрівання повітря, тобто основне балансове рівняння має вигляд  $N_e = c_p \cdot G_p \cdot (t_{n,2} - t_{n,1})$  і нехтуючи незначними тепловтратами через стінки нагрівального блоку, визначають активну довжину усіх трубчатих елементів нагрівального блоку за формулою:

$$L_a = \frac{10^3 \cdot N_e}{\pi \cdot d_n \cdot \sigma_T}, \quad (1)$$

де  $d_n$  — зовнішній діаметр трубчатого елемента, м;  $\sigma_T$  — питома потужність елемента, Вт/м<sup>2</sup>.

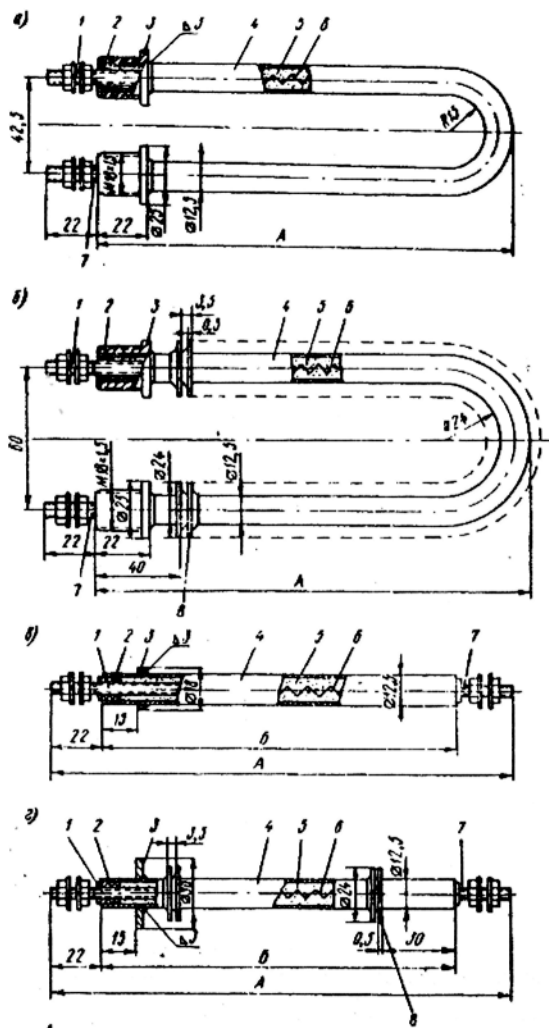


Рис. 1. Трубчаті електронагрівачі (ТЕН) із зовнішнім діаметром труби  $d_s = 12,5$  мм:

- a* — гладкий U-подібний; *б* — оребрений U-подібний;
- в* — гладкий прямолінійний; *г* — оребрений прямолінійний.
- 1 — контактні стержні; 2 — керамічні ізолятори; 3 — шайби;
- 4 — трубчатий електронагрівальний елемент; 5 — наповнювач;
- 6 — спіраль; 7 — шайба стопорна; 8 — оребрення

Величина питомої потужності, що знімається з 1 кв. м поверхні трубчатого елемента залежить від умов тепловіддачі від трубки до повітря: матеріала, діаметра трубки і температури її зовнішньої поверхні, швидкості повітря, що обдуває трубку. Вона може бути визначена аналітично шляхом вирахування середнього значення коефіцієнта тепловіддачі трубки за відомими критеріальними залежностями або прийнята за експериментальними даними, які одержані для гладких трубок, що обдуваються повітрям з різними швидкостями. На рис. 2 наведений графік експериментальних даних для визначення величини  $\sigma_T$  при температурах електронагрівального елемента  $t_T = 100 \dots 500$  °C і швидкостях обдуву його повітрям  $\omega_n = 0 \dots 12$  м/с.

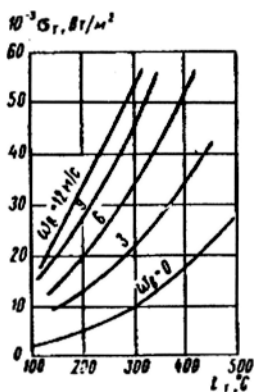


Рис. 2. Залежність питомої потужності  $\sigma_T$  гладкотрубного ТЕН від температури  $t_T$  зовнішньої поверхні трубки

5. Визначають загальну кількість електронагрівальних елементів у електрокалорифері

$$n_e = \frac{L_a}{L_{a,1}}, \quad (2)$$

де  $L_{a,1}$  — активна довжина одного елемента, прийнята за даними виробника.

6. Визначають повну (конструктивну) довжину кожного елемента

$$L_1 = L_{a,1} + 2 \cdot L_{n,1}, \quad (3)$$

де  $L_{n,1}$  — довжина пасивної (де немає нагрівальної спіралі) ділянки нагрівального елемента.

7. Визначають потужність кожного елемента нагрівального блоку:

$$N_{e,1} = N_e/n_e, \text{ кВт.} \quad (4)$$

8. Проводять остаточну компоновку і конструктивне оформлення нагрівального блоку.

У деяких випадках виникає необхідність проектування та виробництва індивідуальних партій ТЕН, призначених для конкретних конструкцій електрокалориферів. Це відноситься до калориферів циліндричної форми, а також калориферів з іншими розмірами у порівнянні із стандартними розмірами ТЕН.

Проектування ТЕН індивідуального виробництва полягає у прийнятті конструктивних розмірів (діаметра  $d_n$ , форми, довжини  $L_k$ , напруги  $U$  матеріала трубки і т. ін.) і визначенні його теплотехнічних характеристик (потужності  $P_{o,1}$ , Вт, питомої поверхневої потужності  $W_n$ , Вт/м<sup>2</sup>, коефіцієнта тепловіддачі конвекцією  $\alpha_k$  Вт/(м<sup>2</sup> · °С), теплового потоку на одиницю довжини  $q_1$ , Вт/м, активної довжини  $L_{o,1}$ , діаметра спіралі  $d_c$  та її довжини  $l_c$ ).

Для визначення теплотехнічних характеристик ТЕН необхідно знати середню швидкість повітря, яке обдуває ТЕН  $\omega$ , м/с, температуру зовнішньої оболонки  $t_n$ , °С і температуру повітря, яке подається у калорифер  $t_p$ , °С. Значеннями цих даних задаються при проектуванні.

Рівняння теплового балансу ТЕН можна записати у вигляді:

$$P_{o,1} = F_{n,1} \cdot \alpha_k \cdot \sigma \cdot (t_n - t_p), \quad (5)$$

де  $\sigma$  — коефіцієнт, враховуючий променеву тепловіддачу ТЕН. Його значення може бути приблизно прийнято  $\sigma = 1,15 \dots 1,2$ .

Для визначення коефіцієнта тепловіддачі конвекцією  $\alpha_k$ , може бути використана критеріальна залежність:

$$Nu_m = \epsilon \cdot c \cdot Re^n, \quad (6)$$

де  $\epsilon$  — поправка на кут атаки, приймається від 0,57 при куті 20° до 1 при 90°.

Значення коефіцієнтів  $c$  і  $n$ :

Re	c	n
0,1...4	0,99	0,305
4...50	0,86	0,41
8...10 <sup>3</sup>	0,59	0,47
10 <sup>3</sup> ...5·10 <sup>3</sup>	0,665	0,47
5·10 <sup>3</sup> ...5·10 <sup>4</sup>	0,22	0,60
>5·10 <sup>4</sup>	0,026	0,80

Питому поверхневу потужність  $W_n$  визначають за формулою:

$$W_n = P_{o,1}/F_{n,1}, \text{ Вт/м}^2. \quad (7)$$

Активна довжина ТЕН дорівнює:

$$L_{o,1} = P_{o,1}/(\pi \cdot d_n \cdot W_n), \text{ м}. \quad (8)$$

Питомий тепловий потік на одиницю довжини ТЕН визначається:

$$q_1 = P_{o,1}/L_{o,1}, \text{ Вт/м}. \quad (9)$$

Розрахунок спіралі ТЕН при відомих значеннях  $P_{o,1}$ ,  $d_n$ ,  $L_{o,1}$  і  $q_1$  проводяться за відомими залежностями для розрахунку нагрівачів, розміщених у середовищі із заданим або обчисленим значенням теплового опору  $R$ .

### Використана література

1. *Евстигнеев М. А., Козловская Л. А.* Экспрес-метод расчета температуры поверхности ТЭНов при работе в воздушной среде. — Электротехническая промышленность. Сер. Электротермия, 1983, вып. 4 [424].
2. *Жукаускас А. А.* Конвективный перенос в теплообменниках. — М.: Наука, 1982. — 472 с.
3. Справочник по теплообменникам: В 2-х т. Пер. с англ. / Под ред. *О. Г. Мартыненко* и др. — М.: Энергоатомиздат, 1987.