

## ОСНОВИ КОМПОНОВКИ І ГІДРОДИНАМІЧНОГО РОЗРАХУНКУ ЕЛЕКТРОКАЛОРИФЕРІВ

Вихідними даними для компоновки електричних калориферів є витрата і параметри повітря, теплопродуктивність, а також надлишковий напір за калорифером. Крім того, електрокалорифер повинен відповідати акустичним вимогам, вимогам по автоматизації, вимогам, які пов'язані з умовами експлуатації (надійності), можливістю обслуговування і ремонту, естетичним вимогам.

Мета компоновки електрокалорифера полягає у найбільш раціональному взаємному розміщенні його елементів та вузлів з уже відомими габаритами, яке дозволяє здійснити обробку повітря за прийнятною технологічною схемою. Раціонально скомпонувати окремі вузли калорифера в єдиний агрегат — це значить отримати мінімально можливі габарити і масу пристрою з урахуванням виконання усіх інших вказаних вище вимог проектування електрокалорифера. Якщо в результаті розрахунку і проектуванні основних вузлів електрокалорифера отримані дані по масах  $G_1, G_2, G_3 \dots G_n$  займаючих об'ємах  $V_1, V_2, V_3 \dots V_n$  і аеродинамічних опорах  $\Delta p_1, \Delta p_2, \Delta p_3 \dots \Delta p_n$  кожного окремого вузла, то при рівноцінній відповідності інших конструктивних і експлуатаційних вимогах по компоновці, кращою компоновкою буде та, у якій сума мас, об'ємів і аеродинамічних опорів окремих вузлів віднесена відповідно до маси  $G_k$ , об'єму  $V_k$  і аеродинамічного опору  $\Delta p_k$  скомпонованого в агрегат, буде найбільшою.

Порівняння різних компоновок для одного й того самого електрокалорифера можна проводити по відносних компоновочних коефіцієнтах:

$$\bar{G} = \sum_{i=1}^n G_i / G_k ; \quad \bar{V} = \sum_{i=1}^n V_i / V_k ; \quad \bar{\Delta P} = \sum_{i=1}^n \Delta p_i / \Delta p_k . \quad (1)$$

Два останніх коефіцієнти характеризують компоновки з точки зору використання об'єму і аеродинамічного опору повітряного тракту калорифера.

Всі електрокалорифери по компоновці можна підрозділити на секційні і моноблочні. Секційна компоновка — це така конструкція калорифера, яка складена з окремих, повністю завершених у конструктивно-му відношенні і оформлених вузлів, зібраних і закріплених на загальній фундаментній рамі. Всі вузли, які входять у калорифер, мають власні корпуси, приєднувальні фланці, лапи для кріплення і т. ін. Моноблочна компоновка являє собою конструкцію, в якій корпус калорифера є основним зв'язуючим конструктивним вузлом, насиченим усіма необхідними елементами. Корпус моноблочного калорифера служить загальним корпусом для всіх встановлених усередині нього вузлів. Кожна з компоновок має свої переваги і недоліки. Секційна компоновка по займаючому об'єму і площі більша, ніж моноблочна. Моноблочна компоновка, внаслідок того, що має єдиний корпус більш естетична, ніж секційна.

Для зменшення теплообміну через корпус калорифера між повітрям, що обробляється та навколишнім повітрям і виключення при цьому можливої конденсації вологи на зовнішній поверхні, його корпус необхідно теплоізолювати. Всі поверхні корпусу, які зовні межують з навколишнім повітрям, покриваються теплоізоляцією зсередини. Це виключає можливість ушкодження ізоляції при транспортуванні, монтажу і експлуатації обладнання і не порушує естетики зовнішнього вигляду калорифера. Але головне полягає в тому, що теплоізоляція повинна одночасно бути і звукопоглинаючим матеріалом. Із тепловукоізоляційних матеріалів застосовують в основному листовий поліуретановий еластичний поропласт та гуму з об'ємною масою  $1500 \text{ кг/м}^3$  і коефіцієнтом теплопровідності  $0,582 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ . Виконання стінок корпусу електрокалорифера у вигляді звукоізолюючих конструкцій дозволяє знизити шум навколо калорифера до  $70\text{—}75 \text{ дБ}$  проти  $90\text{—}105 \text{ дБ}$  без звукоізоляції.

Для виключення впливу структурного (який викликає вібрація) шуму на рівень шуму навколо калорифера необхідно:

- встановити електровентилятор на амортизатори з низькими власними частотами коливань;
- забезпечити максимально можливе приближення центру ваги електровентилятора до центру ваги амортизуючої системи;
- розміщувати фундамент електровентиляторного вузла ближче до точок опори калорифера;
- забезпечити гнучке з'єднання нагнітаючого і всмоктуючого патрубків калорифера з повітряним трактом.

**Аеродинамічний розрахунок калорифера.** Метою аеродинамічного розрахунку калорифера є визначення опору його повітряного

тракту і підбір необхідного електроventильатора за продуктивністю і напором.

Напір електроventильатора визначають за формулою

$$H_{\text{вт}} = (1,1 \dots 1,2) \cdot H_{\text{к}} + \Delta p_{\text{к}}, \text{ Па}, \quad (2)$$

де  $H_{\text{к}}$  — повний напір повітря за калорифером, який складається з опорів системи повітропроводів до і після калорифера та повітроподільників;  $\Delta p_{\text{к}}$  — опір повітряного тракту калорифера.

Втрати тиску в повітропроводах визначають за формулою

$$\Delta p_{\text{в}} = \sum_{i=1}^n \Delta p_{\text{тр}} + \sum_{i=1}^k \Delta p_{\text{м}}, \text{ Па}, \quad (3)$$

де  $\sum_{i=1}^n \Delta p_{\text{тр}}$  — сума втрат тиску на тертя на прямих ділянках повітропроводу;  $\sum_{i=1}^k \Delta p_{\text{м}}$  — сума втрат тиску у місцевих опорах повітропроводу — арматури, колінах, трійниках й т. ін.

Втрати тиску на тертя визначають за формулою:

$$\Delta p_{\text{тр}} = \lambda \cdot \frac{L}{d_e} \cdot \frac{\rho \cdot \omega^2}{2}, \text{ Па}, \quad (4)$$

де  $\lambda$  — коефіцієнт опору тертя;  $L$  — довжина ділянки повітропроводу, м;  $\rho$  — густина повітря,  $\text{кг/м}^3$ ;  $\omega$  — швидкість повітря, м/с;  $d_e$  — еквівалентний діаметр повітропроводу, м.

Практично завжди у повітропроводах спостерігається турбулентний режим руху, при якому для технічно гладких труб значення  $\lambda$  визначають за такими формулами:

$$\text{при } Re = 3 \cdot 10^3 \text{—} 10^5; \lambda = 0,3164 \cdot Re^{-0,25}; \quad (5)$$

$$\text{при } Re = 10^5 \text{—} 10^8; \lambda = 0,0032 + 0,221 \cdot Re^{-0,237}; \quad (6)$$

$$3 \cdot 10^3 < Re < 10^8; \lambda = (1,8 \cdot \lg Re - 1,5)^{-2}. \quad (7)$$

Значення коефіцієнтів різних місцевих опорів визначають за відомими залежностями і за даними довідкової літератури.

Опір електрокалорифера визначають за формулою:

$$\Delta p_{\text{к}} = \sum_{i=1}^m \Delta p_{\text{ел.і}} + \sum_{i=1}^n \Delta p_{\text{м.і}} + \sum_{i=1}^k \Delta p_{\text{тр.к}}, \quad (8)$$

де  $\Delta p_{\text{ел}}$  — опір електронагрівачів;  $\Delta p_{\text{м}}$  — місцеві опори повітряного тракту (раптові звуження, розширення, повороти і т. ін.);  $\Delta p_{\text{тр}}$  — опір тертя на окремих прямих ділянках повітряного тракту калорифера.

Опір нагрівачів повітря визначають розрахунком, використовуючи експериментальні дані в критеріальній формі:

$$Eu_B = f(Re_B). \quad (9)$$

При цьому аеродинамічний опір пучка нагрівачів включає в себе опір тертя і місцеві опори, що виникають внаслідок розширення і звуження потоку при поперечному обтіканні пучка трубок.

Аеродинамічний опір пучка нагрівачів можна визначити за критеріальним рівнянням:

$$\Delta p_B = Eu_B \cdot \rho_B \cdot \omega_B^2 = 2 \cdot Eu_B \cdot \frac{\omega_B^2}{2} \cdot \rho_B. \quad (10)$$

З (10) випливає, що коефіцієнт місцевого опору пучка трубок складає:

$$\xi = 2 \cdot Eu_B. \quad (11)$$

При інженерному розрахунку нагрівачів для визначення величини  $\xi$  зручно користуватись узагальненими формулами, які представлені в чисельному вигляді [6]:

- для нагрівачів, що складаються з гладкотрубних елементів і коридорного розміщення трубок

$$\xi = (4 + 6,6 \cdot n_2) \cdot \sigma_1^{-0,23} \cdot Re^{-0,26}; \quad (12)$$

- для нагрівачів, що складаються з гладкотрубних елементів і шахового розміщення трубок

$$\xi = (4 + 6,6 \cdot n_2) \cdot Re^{-0,28} \quad (\text{при } \sigma_1 < \sigma_2); \quad (13)$$

$$\xi = (5,4 + 3,4 \cdot n_2) \cdot Re^{-0,28} \quad (\text{при } \sigma_1 > \sigma_2); \quad (14)$$

У формулах (13) і (14):

$\sigma_1 = s_1/d_n$  — відносна поперечна відстань пучка трубок;  $\sigma_2 = s_2/d_n$  — відносна повздовжня відстань пучка трубок;  $n$  — число трубок за рухом повітря.

Підсумкова розрахункова формула при цьому має вигляд

$$\Delta p_{\text{ср}} = \xi \cdot \frac{\omega_{\text{в}}^2}{2} \cdot \rho_{\text{в}}, \quad (15)$$

де  $\omega_{\text{в}}$  і  $\rho_{\text{в}}$  — лінійна (середня за витратою) швидкість, м/с і густина, кг/м<sup>3</sup> повітря.

Місцеві опори повітряного тракту калорифера  $\Delta p_{\text{м}}$  визначають за графіками, побудованими на основі експериментальних даних, наведених у літературі [4,5], а також за чисельними залежностями з літературних джерел.

Опір тертя повітряного тракту  $\Delta p_{\text{тр}}$  визначають за формулою (4). У інженерних розрахунках, зважаючи на те, що  $\Delta p_{\text{тр}}$  повітряного тракту набагато менша  $\Delta p_{\text{м}}$ , ними можна знехтувати.

## Література

1. Жукаускас А. А. Конвективный перенос в теплообменниках. — М.: Наука, 1982. — 472 с.
2. Справочник по теплообменникам: В 2-х т. / Пер. с англ. Под ред. О. Г. Мартыненко и др. — М.: Энергоатомиздат, 1987.
3. Легкий В. М., Терех А. М. Гидравлическое сопротивление поперечно-омываемых пучков гладких труб // Теплоэнергетика, 1997, № 6. — С. 37—39.
4. Справочник проектировщика. Внутренние санитарно-технические устройства: В 2 ч. / Под ред. И. Г. Старовойтова. — М.: Стройиздат, 1978. — Ч. 2: Вентиляция и кондиционирование воздуха. — 510 с.
5. Отопление и вентиляция: В 2 ч. / Под ред. В. Н. Богословского. — М.: Стройиздат, 1976. — Ч. 2: Вентиляция. — 439 с.
6. Михеев М. А., Михеева И. М. Основы теплопередачи. — М., Энергия, 1973. — 320 с.