

УДК 697.12

В. В. Джеджула, к. т. н.

МОДЕЛЮВАННЯ НЕСТАЦІОНАРНИХ ПРОЦЕСІВ ТЕПЛООБМІНУ В ПРИМІЩЕННЯХ З ПОВІТРЯНИМ ОПАЛЕННЯМ

Розглянуто основні особливості нестационарних процесів теплообміну в приміщеннях з повітряним опаленням. Запропоновано математичну модель, що описує ці процеси. Використання отриманої моделі дозволить прогнозувати час нагріву приміщення та перевіряти вибране обладнання на відповідність поставленим задачам.

Вступ

Використання повітряного опалення суміщеного з вентиляцією і охолодженням в літній період дозволяє зменшити капітальні затрати на нове будівництво та реконструкцію наявних промислових і громадських об'єктів. Опалення великих торгових приміщень супермаркетів чи виробничих цехів здійснюється переважно повітряною системою, що дозволяє рівномірно розподілити тепло повітря по приміщенню і уникнути встановлення радіаторів опалення [1]. Моделювання об'єкта «приміщення» з точки зору нестационарності нагріву є актуальною задачею термодинамічних та теплофізичних розрахунків, що дозволяє визначити оптимальні значення продуктивності повітря, градієнта перегріву та врахувати вплив конструктивних особливостей приміщення.

Метою статті є дослідження особливостей нестационарного теплообміну в приміщеннях з повітряним опаленням і створення математичної моделі, що описує цей процес.

В процесі дослідження розв'язані такі задачі:

- розглянуто основні особливості нестационарних процесів повітряного опалення приміщень;
- розроблено математичну модель нестационарного теплообміну в приміщеннях з повітряним опаленням;
- співставлено результати моделювання і натурних замірів.

Результати дослідження

Вихідними умовами створення математичної моделі нестационарного теплообміну є об'єм приміщення W , м³; термічний опір огорожувальних конструкцій приміщення R , м²·°С/Вт; кількість відвідувачів і персоналу закладу n , чол.; відстань від венткамери до входу повітропроводів у приміщення l , м.

Інженер-проектувальник, посилаючись на вихідні дані, складає тепловий баланс приміщення і визначається з продуктивністю системи повітряного опалення L , м³/год; температурою подачі повітря t_p , °С та кількістю зовнішнього повітря в межах санітарних норм на одного відвідувача.

У нічний час в приміщеннях працює тільки чергове опалення, що за відсутності обмежень підтримує температуру в межах +5...+10 °С. Вмикання основної системи відбувається автоматично за певний проміжок часу до відкриття закладу. Цей час задається за результатами попередніх розрахунків, що не завжди дозволяє вийти на необхідний тепловий режим вчасно. Окрім того, нехтування втратами тепла через повітроводи та нестационарними тепловтратами може призводити до недосяжності певних мікрокліматичних умов у приміщенні.

Диференціальне рівняння, що описує процес нагрівання повітря приміщення в нестационарних умовах, має вигляд

$$W\rho c \frac{\partial t}{\partial \tau} = Gc_p(t_p - a_t t) - \sum_{i=1} F_i \cdot k_i(t - t_z) - F_p k_v(t_p - t_z), \quad (1)$$

де t — температура внутрішнього повітря, °С, τ — час, с; ρ , c , c_p — відповідно, густина внутрішнього повітря, кг/м³; теплоємність внутрішнього і теплоємність припливного повітря Дж/кг·°С, ці величини є змінними і залежать від температури повітря; G — масова витрата прип-

ливною повітря, кг/с; a_t — коефіцієнт повітрообміну, що залежить від схеми повітрообміну, типу розподільчих пристроїв, розподілу джерел шкідливості і витрати припливного повітря; $F_i \cdot k_i$ — добуток площі огороження, м² на коефіцієнт теплопередачі цього огороження, Вт/(м² · °C); t_z — температура зовнішнього повітря; F_p — площа бічної поверхні утеплених повітропроводів, що транспортують тепле повітря до приміщення, м²; k_v — коефіцієнт теплопередачі утеплених повітропроводів, Вт/(м² · °C), t_p — температура припливного повітря.

У процесі обчислення нагрівання необхідно розраховувати значення поточних теплофізичних параметрів повітря. Рівняння, що описують зміну густини, теплоємності і в'язкості повітря взято у [2].

Коефіцієнт теплопередачі утеплених повітропроводів k_v визначимо таким чином:

$$k_v = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_z} + \sum_{i=1} \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_v}}, \quad (2)$$

де α_z — коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні повітропроводу, Вт/м² · °C; α_v — коефіцієнт тепловіддачі від повітря до внутрішньої поверхні повітропроводу, Вт/м² · °C; $\frac{\delta_i}{\lambda_i}$ — сума термічних опорів шарів конструкції повітропроводу.

Коефіцієнти тепловіддачі α_z і α_v — знайдемо з критеріальних рівнянь [3]

$$Nu_z = 0,245 Re_1^{0,6}; \quad (3)$$

$$Nu_v = 0,018 Re_2^{0,8}, \quad (4)$$

де Re_1 — критерій Рейнольдса для омивання повітропроводу зовнішнім повітрям. Re_2 — критерій Рейнольдса для течії повітря в повітропроводі;

Моделювання в математичному пакеті MathCad відповідно до початкових умов (П.У.): об'єм приміщення $W = 1500$ м³; усереднений коефіцієнт теплопередачі огорожуючих конструкцій приміщення $k = 0,7$, Вт/(м² · °C); загальна площа тепловіддавальної поверхні приміщення $F = 315$ м², $F_p = 90$ м² · м² — площа бічної поверхні утеплених повітропроводів, що транспортують тепле повітря до приміщення, $k_v = 0,8$ — коефіцієнт теплопровідності утеплених повітропроводів, Вт/(м² · °C); температура припливного повітря $t_p = 31$ °C, температура зовнішнього повітря $t_z = -10$ °C; початкова внутрішня температура

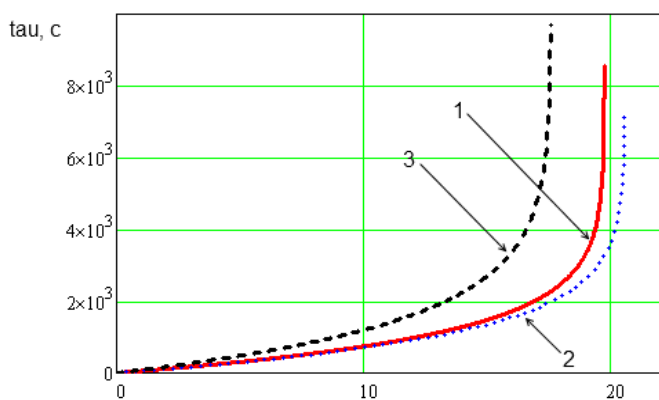


Рис. 1. Моделювання часу нагрівання приміщення від початкових умов

та $t = 0$ °C, коефіцієнт повітрообміну $a_t = 1,2$; дозволило отримати графічну залежність температури внутрішнього повітря від часу нагрівання приміщення (рис. 1, залежність 1). Зі збільшенням термічного опору теплоізоляції повітропроводів до 2,5 м²°C/Вт збільшується досяжна температура приміщення до 21 °C (рис. 1, залежність 2), що до цього було неможливо досягнути через теплові втрати. У випадку помилкового закладання проектувальником заниженої кількості припливного повітря досягнення комфортної температури без значного перегріву не можливе, що знижує санітарно-гігієнічні якості припливного повітря і суперечить вимогам СНиП [4]. На рис. 1 (залежність 3) зображено графік нагріву приміщення зі зменшенням кількості припливного повітря на 30 %. На рис. 2 зображено результати натурних досліджень в приміщенні, що за параметрами відповідає ПУ.

Співставлення модельної кривої 1 на рис. 1 і експериментальної кривої на рис. 2 дозволяє зробити висновок про достатню точність і достовірність моделі. Незначна розбіжність результатів спостерігається для температур в приміщенні більше 10 °С. Модельна залежність свідчить про швидше нагрівання приміщення, ніж це спостерігалось. Це можна пояснити тим, що в моделі враховано тільки основні фактори впливу. Неврахування менш суттєвих факторів дає вищеозначену похибку.

Висновки

1. Розглянуто основні особливості нестационарних процесів повітряного опалення приміщень. Наведено рівняння для визначення коефіцієнта теплопередачі повітроводів.

2. Запропоновано математичну модель, що описує процеси нестационарного повітряного опалення приміщень. Використання отриманої моделі дозволить покращити процеси управління системою припливної вентиляції та повітряного опалення, дотримуючись технологічних режимів.

3. Моделювання відповідно до наведених початкових умов дало змогу визначити, що нагрів утепленого приміщення об'ємом 1500 м³ від -10 °С до внутрішньої температури +19 відбудеться за 100 хвилин, а зі зменшенням кількості припливного повітря — на 30 %, комфортної температури без значного перегріву не досягнути. Результати співставлення натурних замірів і модельних значень свідчать про достатню точність і достовірність моделі.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Богословский В. Н. Внутренние санитарно-технические устройства. В 3ч. Ч 1. Отопление / В. Н. Богословский, Б. А. Крупнов, А. Н. Сканави. — 4-е изд. — М. : Строиздат, 1990. — 344 с. — ISBN 5-274-00523-3.
2. Highexpert [Електронний ресурс]. — Режим доступу : <http://www.highexpert.ru>.
3. Исаченко В. П. Теплопередача : учеб. для вузов.. — 3-е изд перераб. и доп. / В. П. Исаченко. — М. : Энергия, 1975. — 488 с.
4. СНиП 2.04.05-91 У*. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. — Киев. : КиевЗНИИЭП, 1996. — 89 с.
5. Комплексна державна програма енергозбереження України. Офіц. текст станом на 15.11.2009 [Електронний ресурс]. — Режим доступу : <http://naer.gov.ua/?p=451>. — Назва з екрану.

Рекомендована кафедрою теплогазопостачання

Надійшла до редакції 10.02.10
Рекомендована до друку 9.03.10

Джеджула В'ячеслав Васильович — старший викладач кафедри теплогазопостачання.

Вінницький національний технічний університет

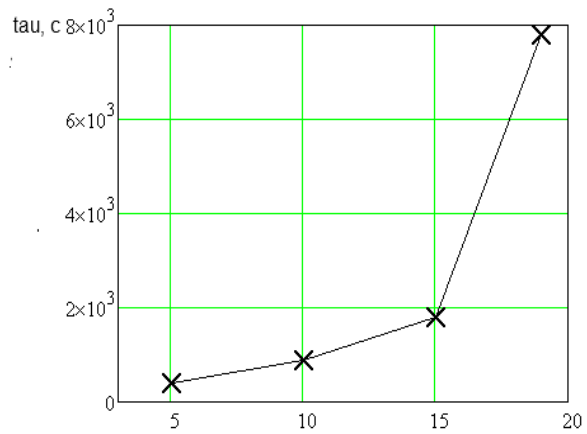


Рис. 2. Результати натурних замірів часу нагрівання і температури приміщення з наведеними початковими умовами