

УДК 697.276:[727:378.4]

О. Л. МАРЕНИЧ – к. т. н., доцент кафедри «Електротехніка та електромеханіка»,
Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка
В. Лазаряна, oksana.marenich17@mail.ru, ORCID 0000-0003-3602-5851
Н. Ю. ЧАЙКА – студентка 254 групи, кафедри «Електротехніка та електромеханіка»,
Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка
В. Лазаряна, chaikanatasha16@gmail.com

ОПАЛЕННЯ ЛЕКЦІЙНОЇ АУДИТОРІЇ ВИЩОГО НАВЧАЛЬНОГО ЗАКЛАДУ ЗА ДОПОМОГОЮ ІНФРАЧЕРВОНИХ ОБІГРІВАЧІВ

Вступ

У теперішній час для опалення приміщень у вищих навчальних закладах застосовується, як правило, конвекційний вид опалення, при якому повітря гріється водяними радіаторами. В порівнянні з інфрачервоним обігріванням конвекційний вид опалення має ряд недоліків з точки зору комфортності, екологічності, енергоефективності. За останні роки опалення за допомогою інфрачервоних обігрівачів набуває широкого застосування в багатьох країнах світу. автоматики, телемеханіки і зв'язку та інші.

Мета та завдання

Отримати вихідні дані для розробки автоматизованої системи інфрачервоного обігрівання лекційної аудиторії. Для виконання вказаного завдання скласти рівняння теплового та повітряного балансів приміщення аудиторії, з допомогою якого провести відповідні дослідження, обрати спосіб вентиляції аудиторії. Визначити об'єми припливного та витяжного повітря, при яких температурах в аудиторії буде забезпечено 20 °С згідно існуючих норм.

Постановка задачі

Система опалення, яка пропонується, повинна бути більш зручною в експлуатації, більш комфортною, більш екологічною та вигідною економічно в порівнянні з водяними системами.

Матеріали та результати досліджень

В якості базової прийнята реальна лекційна аудиторія кафедри ЕТЕМ (електротехніка та електромеханіка) університету. До недоліків водяного обігрівання відносяться великий перепад температури в приміщенні (висока температура повітря зверху і низька внизу) та неможливість вентиляції без втрат теплової енергії. Холодне приміщення нагрівається теплим повітрям. При цьому стіни будуть завжди більш холодні ніж повітря, і якщо припинити подавання теплового повітря, то вже через годину температура впаде на 5...7 °С.

Застосування інфрачервоних обігрівачів дозволяє уникнути вказаних недоліків. Інфрачервоні промені гріють не повітря, а поверхню, на яку вони падають (стіни, підлога), яка в свою чергу виділяє теплову енергію і гріє повітря в аудиторії. При цьому поверхня тепліша, ніж повітря в аудиторії. Якщо припинити подачу інфрачервоних променів, то повітря буде охолоджуватись повільніше, не більше ніж на 1 °С за годину. Інфрачервоне опалення забезпечує мінімальне відхилення від заданої температури. При цьому електроенергія потрібна тільки для короткочасного підтримання температурного режиму. Цим обумовлено економічність інфрачервоного опалення приміщень.

Вихідні дані, які потрібні для розробки автоматизованої системи інфрачервоного опалення з метою підтримання заданої те-

температури знайдемо шляхом досліджень за допомогою рівнянь теплового та повітряно-го балансів приміщення аудиторії [2].

Аудиторія знаходиться на третьому поверсі, район будівництва – місто Дніпропетровськ, розрахункова географічна широта – 48 пн. ш., матеріал зовнішньої стіни – цегла, товщина стіни – 0,8 м, матеріал внутрішніх стін – цегла, товщина стін – 0,4 м, існуюче теплозабезпечення – водяне опалення. Одна стіна – зовнішня, три стіни – суміжні з іншими приміщеннями будівлі. Габаритні розміри аудиторії: ширина – 6 м, довжина – 17,6 м, висота – 3,6 м. приміщення має шість вікон з розмірами: ширина – 1,7 м, висота – 1,97 м; двоє дверей з розмірами: ширина – 1,38 м, висота – 2,34 м.

Вікна з подвійних пакетів скла в дерев'яній оправі. Пропонується обладнати аудиторію механічною припливно-витяжною системою вентиляції, при якій повітряний обмін організується за рахунок застосування спеціального обладнання (вентиляторів, повітроводів, тощо). Така система вентиляції дозволяє створити в аудиторії мікроклімат з достатньою кількістю кисню, усунути з неї неприємні запахи, надлишки тепла. Вибираємо схему організації повітряного обміну «зверху-вверх».

Приймаємо, що в аудиторії буде один приток – одна витяжка. Передбачаємо автоматичне керування системою вентиляції та опалення безпосередньо у приміщенні аудиторії для забезпечення нормативних рівнів температури.

Подачу припливного повітря в аудиторії приймаємо на рівні 2,5...3 м, як для приміщення з незначним виділенням вологи [2]. Вказаний рівень не перевищує рекомендованого (не більше 4 м) та є раціональним для перемішування тепла. Електронагрівачі планується розташувати на стелі. Згідно [3] в аудиторії з кількістю місць 100...150 повинна передбачатися площа на одного студента не менше $1,2 \text{ м}^2$. Базова аудиторія має площу $17,6 \cdot 6 = 105,6 \text{ м}^2$, максимальна

кількість студентів, яка може знаходитись в ній – 136 (34 парти з місткістю 4 місця на кожній). Тобто на одного студента приходить $105,6/136 = 0,77 \text{ м}^2/\text{чол.}$. В порівнянні з нормалізованим значенням площа на одного студента менша у $1,2/0,77 = 1,55$ рази.

З точки зору кліматичних умов цей недолік можна компенсувати суттєво збільшивши нормалізований об'єм повітря $20 \text{ м}^3/\text{год}$ на студента до $20 \text{ м}^3/\text{год} \cdot 1,55 = 31 \text{ м}^3/\text{год}$. Далі по тексту $31 \text{ м}^3/\text{год} = V_{\text{пр.люд.}}$.

Джерелами надходжень тепла у базову аудиторію є люди, інфрачервоні нагрівачі, джерела штучного освітлення. Ці теплонадходження називають надходженнями явного тепла, так як вони приводять до підвищення температури приміщення. Надходження прихованого тепла у вигляді парів, що виділяють люди, збільшує вологість повітря в приміщенні, не змінюючи температуру.

Сумарні (повні) надходження – це сума усіх надходжень тепла в аудиторію. Надмірне тепло – це різниця сумарних теплонадходжень і сумарних тепловтрат. Припускаємо, що в аудиторії присутні тільки явне надмірне тепло $Q_{\text{надм.}}^{\text{я}}$.

Рівняння для $Q_{\text{надм.}}^{\text{я}}$ має вигляд [2]:

$$Q_{\text{надм.}}^{\text{я}} = (Q_{\text{л}} + Q_{\text{осв.}} + Q_{\text{нагр.}}) - Q_{\text{ін.прим.}}, \quad (1)$$

де $Q_{\text{л}}$ – тепловиділення від людей; $Q_{\text{осв.}}$ – теплонадходження від джерел штучного освітлення; $Q_{\text{нагр.}}$ – теплонадходження від інфрачервоних обігрівачів; $Q_{\text{ін.прим.}}$ – втрати тепла приміщенням в результаті інфільтрації зовнішнього повітря через вікна.

По табл. 2.2 [2] визначаємо, що при роботі легкої тяжкості, до якої відноситься лекційні заняття, при температурі $20 \text{ }^\circ\text{C}$ одна людина виділяє 99 Вт тепла. Отже, тепловиділення від 136 людей складає

$$Q_{\text{л}} = 99 \cdot n = 99 \cdot 136 = 13464 \text{ Вт} = 13,464 \text{ кВт}, \quad (2)$$

Тепловиділення від інфрачервоних обігрівачів (сумарна потужність обігрівачів) згідно [4]

$$N_{\text{нагр.}} = Q_{\text{нагр.}} = G_{\text{пр.}} \cdot p_{\text{п}} \cdot c_{\text{п}} (t_{\text{в}} - t_{\text{пр.}}), \quad (3)$$

де $p_{\text{п}}$ – густина повітря, $p_{\text{п}} = 1,29 \text{ кг/м}^3$; $t_{\text{в}}$ – температура повітря, що видаляється із аудиторії К;

$$t_{\text{в}} = 20 + 273,15 = 293,15 \text{ К},$$

де 20 – середня температура внутрішнього повітря в перехідний та холодний періоди за даними гідрометеоцентру; $t_{\text{пр.}}$ – температура припливного (зовнішнього) повітря в холодний та перехідний періоди, К.

$$t_{\text{пр.}} = -1,12 + 273,15 = 272,03 \text{ К},$$

де $-1,12$ – середня температура зовнішнього повітря в перехідний та холодний періоди за даними гідрометеоцентру.

Вага повітря, яке подається у приміщення (припливне повітря)

$$G_{\text{пр.}} = V_{\text{пр.люд.}} \cdot n \cdot \gamma, \quad (4)$$

де $\gamma = 1,225 \text{ кг/м}^3$ – густина повітря при тиску 760 мм.рт.ст і $t = 20 \text{ }^\circ\text{С}$.

$$G_{\text{пр.}} = 31 \cdot 136 \cdot 1,225 = 5164,6 \text{ кг/год.}$$

З урахуванням впливу нещільностей

$$\begin{aligned} \dot{G}_{\text{пр.}} &= 1,05 \cdot G_{\text{пр.}} = 1,05 \cdot 5164,6 = \\ &= 5412,33 \text{ кг/год} \end{aligned}$$

де 1,05 – коефіцієнт, що враховує вплив нещільностей; $c_{\text{п}}$ – питома теплоємність, $c_{\text{п}} = 1,005 \text{ кДж/кг}\times\text{К}$.

Таким чином, згідно (3)

$$\begin{aligned} N_{\text{нагр.}} &= Q_{\text{нагр.}} = G_{\text{пр.}} \cdot p_{\text{п}} \cdot c_{\text{п}} (t_{\text{в}} - t_{\text{пр.}}) = \\ &= 5412,33 \cdot 1,29 \cdot 1,005 (293,15 - 272,03) = \end{aligned}$$

$$= 148195,14 \frac{\text{кДж}}{\text{год}} = \frac{148195,14}{3600} \approx 41,2 \text{ кВт}.$$

В базовій аудиторії встановлені люмінесцентні світильники дифузійного розсіяного світла. Теплонадходження від джерел штучного освітлення визначаємо за формулою [2]

$$Q_{\text{осв.}} = E F g_{\text{осв.}} \eta_{\text{осв.}}, \quad (5)$$

де E – освітленість, лк. Для аудиторії приймаємо $E = 300 \text{ лк}$ [2, табл. 2.3]; F – площа приміщення, м^2 ; $F = 105,6 \text{ м}^2$; $g_{\text{осв.}}$ – питомі тепловиділення, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \times \text{лк})$, $g_{\text{осв.}} = 0,102 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \times \text{лк})$ [2, табл. 2.4]; $\eta_{\text{осв.}}$ – доля тепла, що поступає у приміщення.

$$\begin{aligned} Q_{\text{осв.}} &= 300 \cdot 105,6 \cdot 0,102 \cdot 1 = \\ &= 3231,36 \text{ Вт} = 3,23 \text{ кВт}. \end{aligned}$$

В базовій аудиторії зовнішня стіна товщиною 0,8 м із цегли. Тому інфільтрація крізь стіну і стикові з'єднання у стінах незначна. Втрати тепла приміщенням відбувається в результаті інфільтрації зовнішнього повітря через вікна. Тепловтрати на нагрівання зовнішнього повітря, яке інфільтрується через вікна [2]

$$Q_{\text{i.пр.}} = c_{\text{п}} G_{\text{i.пр.}} A (t_{\text{в}} - t_{\text{пр.}}), \quad (6)$$

де A – коефіцієнт, який враховує підігрів повітря, яке інфільтрується через вікна. У нашому випадку $A = 1$ [2], так як вікна мають подвійне засклення; $G_{\text{i.пр.}}$ – вага зовнішнього повітря, яке інфільтрується в приміщення через вікна [2].

$$G_{\text{i.пр.}} = j_{\Delta p_{\text{в}}} \cdot B_{\text{i.пр.}} \cdot F_1, \quad (7)$$

де $j_{\Delta p_{\text{в}}}$ – вага зовнішнього повітря, яке інфільтрується на одиницю площі вікон за годину (витрати повітря); $B_{\text{i.пр.}}$ – коефіцієнт, який показує, скільки одиниць витрат повітря складає інфільтрація у даному приміщенні; F_1 – площа вікон, м^2 .

$$j_{\Delta p_b} = 0,378(H_b \Delta \gamma)^{2/3} / R_i \frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \text{ГОД}}, [5],$$

де H_b – висота вікна, $H_b = 1,97$ м;
 $\Delta \gamma = \gamma_3 - \gamma_b$, де γ_3 , γ_b – відповідно питома вага повітря з навітряного (зовнішнього) боку та внутрішнього боку вікон, Н/м^3 .

Вказані питомі ваги визначаються за формулою [6]

$$\gamma_i = \frac{353}{273 + t_i} \cdot 9,81, \quad (8)$$

де t_i – відповідно температура повітря з зовнішнього $t_{\text{пр}}$ та внутрішнього t_b боків вікон.

Тоді:

$$\begin{aligned} \gamma_{\text{пр}} &= \frac{353}{273 + t_{\text{пр}}} \cdot 9,81 = \\ &= \frac{353}{273 + (-1,12)} \cdot 9,81 = 12,7 \text{ Н/м}^3; \end{aligned}$$

$$\gamma_b = \frac{353}{273 + t_b} \cdot 9,81 =$$

$$= \frac{353}{273 + 20} \cdot 9,81 = 11,8 \text{ Н/м}^3$$

$$\Delta \gamma = \gamma_{\text{пр}} - \gamma_b = 12,7 - 11,8 = 0,9 \text{ Н/м}^3 \quad (9)$$

де R_i – опір вікон проникненню повітря, приймаємо $R_i = 1,15 \text{ Па}^{2/3} \text{ м}^2 \text{ГОД/кг}$;

$$j_{\Delta p_b} = \frac{0,378(1,97 \cdot 0,9)^{2/3}}{1,15} = 0,482 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \text{ГОД}}$$

Значення $B_{i,\text{пр}}$ приймаємо згідно [2] відповідно значенню відносного тиску вітру P_v

$$P_v = \frac{[C_H - (-C_3)] v^2 p_H}{(2H_b \Delta \gamma)}. \quad (10)$$

де C_H , C_3 – аеродинамічні коефіцієнти відповідно на фасаді з навітряного боку та на фасаді із завітряного боку.

Енергетичний сенс аеродинамічного коефіцієнту в тому, що його значення показує у долях одиниці, яка частина питомої кінетичної енергії потоку повітря переходить у питому потенціальну енергію. Для найбільш поширеної форми приміщення (прямокутна, як базова аудиторія) аеродинамічні коефіцієнти мають наступні значення: $C_H = 0,8$; $C_3 = -0,3 \dots -0,6$ [7].

Приймаємо: $C_H = 0,8$; $C_3 = -0,4$.

$$p_H = \gamma_3 / 9,8 = 12,7 / 9,8 = 1,29 \text{ кг/м}^3$$

де v – швидкість вітру, м/с. Приймаємо $v = 4$ м/с (за даними гідрометеоцентру як середнє значення в осінньо-зимовий період для м. Дніпропетровськ).

$$P_v = \frac{[0,8 - (-0,4)] \cdot 4^2 \cdot 1,29}{2 \cdot 1,97 \cdot 0,9} = 6,98$$

Висота вікна 1,97 м, ширина вікна – 1,7 м. У нас шість вікон. Сумарна площа яких

$$F_1 = 6 \cdot 1,97 \cdot 1,7 = 20 \text{ м}^2.$$

Згідно [2] визначено $B_{i,\text{пр}} = 5$ при $P_v = 6,98$.

Тоді згідно (7)

$$G_{i,\text{пр}} = 0,482 \cdot 5 \cdot 20 = 48,2 \text{ кг/ГОД}.$$

Згідно (6)

$$\begin{aligned} Q_{i,\text{пр}} &= 1,005 \cdot 48,2 \cdot 1(293,15 - 272,03) = \\ &= 1023,07 \text{ кДж/ГОД} = \frac{1023,07}{3600} = 0,28 \text{ кВт} \end{aligned}$$

Згідно (1)

$$\begin{aligned} Q_{\text{надм.}}^{\text{я}} &= (13,464 + 41,2 + 3,23) - 0,28 = \\ &= 57,6 \text{ кВт} = 207360 \text{ кДж/ГОД}. \end{aligned}$$

Рівняння повітряного балансу приміщення базової аудиторії з загальнообмінною вентиляцією (один приток-одна витяжка) у нашому випадку має вигляд [2]

$$Q_{\text{надм.}}^{\text{я}} + c_{\text{п}} G_{\text{пр}} t_{\text{пр}} - c_{\text{п}} G_{\text{в}} t_{\text{в}} = 0, \quad (11)$$

де $G_{\text{пр}}$ – вага повітря, яке подається у приміщення, кг/год; $G_{\text{в}}$ – вага повітря, що видається із приміщення, кг/год.

Раніше нами розраховано, що значення ваги припливного повітря з урахуванням нещільностей дорівнює 5412,33 кг/год.

Відповідно до рівняння (1)

$$G_{\text{в}} = \frac{Q_{\text{надм.}}^{\text{я}} + c_{\text{п}} G_{\text{пр}} t_{\text{пр.}}}{c_{\text{п}} t_{\text{в}}} =$$
$$= \frac{207360 + 1,005 \cdot 5412,33 \cdot 272,03}{1,005 \cdot 293,15} =$$
$$= 5726,2 \text{ кг/год.}$$

З урахуванням нещільностей

$$G_{\text{в}} = \frac{5726,2}{1,05} = 5453,5 \text{ кг/год.}$$

Об'єм повітря, яке виділяється з аудиторії

$$v_{\text{в}} = \frac{G_{\text{в}}}{\gamma} = \frac{5453,5}{1,225} = 4451,9 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Висновок

Наведена у статті методика дозволяє визначити значення сумарної потужності інфрачервоних обігрівачів, об'єм припливного та витяжного повітря, при яких температура в лекційній аудиторії підтримується на рівні 20 °С згідно діючих нормативних документів.

Отримані чисельні значення вказаних параметрів можуть бути використані як вихідні дані для проектування автоматизованої системи вентиляції та опалення базової аудиторії.

Бібліографічний список

1. Державні будівельні норми України. Опалення, вентиляція та кондиціонування: ДБН В2.5-67:2013. – К.: Мінрегіон України, 2013. –149 с.
2. Курсовое и дипломное проектирование гражданских и промышленных зданий [Текст]: учеб. пособие для вузов /

В. П. Титов, Э. В. Сазонов, Ю. С. Краснов, В. И. Новожилов. – М.: Стройиздат, 1985. – 208 с.

3. Державні будівельні норми України. Будинки і споруди навчальних закладів: ДБН В2.2-3-97. – К.: Держкоммістобудування України, 1997. – 90 с.
4. Потужність нагрівача [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.informteh.ru/sistemi_ventiljaci_i/raschet_ventiljacji/
5. Густина повітря [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://about-air.ru/svoystva-vozdruha/plotnost-vozdruha/plotnost-vozdruha-pri-normalnyh-usloviyah.html>
6. Питома вага [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://studopedia.org/7-140217.html>.
7. Аеродинамічні коефіцієнти [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://bibliograph.com.ua/otoplenie-ventilyacia/75.htm>

Ключові слова: електроопалення навчальної лабораторії; рівняння теплового балансу приміщення; система вентиляції; потужність інфрачервоного обігрівача; переваги електричного опалення.

Ключевые слова: электроотопление учебной лаборатории; уравнение теплового баланса помещения; система вентиляции; мощность инфракрасного обогревателя; преимущества электрического отопления.

Keywords: electric academic laboratories; the heat balance equation facilities; ventilation; power infrared heater; electric heating benefits.

Рецензенти:

д.т.н., проф. А. М. Муха,
д.т.н., проф. Ф. П. Шкрабець.

Надійшла до редколегії 16.05.2016.
Прийнята до друку 26.05.2016.