

УДК 62-65:536.24

Температурний режим кімнати з теплою підлогою

М.С. Григорчук¹, І.Е. Фуртат², Ю. М. Камаєв³

¹магістрант теплоенергетичного факультету Національного технічного університету України «Київський політехнічний Інститут», grygorchuck@i.ua

²кандидат технічних наук, доцент, викладач національного технічного університету України «Київський політехнічний Інститут», i.e.furtat@gmail.com

³кандидат технічних наук, доцент, викладач національного технічного університету України «Київський політехнічний Інститут», unk1940@gmail.com

У даній статті розглядаються аналітичні розрахунки, необхідні для визначення температурного графіку приміщення з метою оптимізації використання електротермічних систем опалення зі сталою потужністю, а саме економії споживаної електроенергії. Робота містить опис методики розрахунків, а також коротку загальну інформацію про отримані результати. У висновках зазначено про можливі перспективи використання результатів дослідження.

Ключові слова: тепла підлога, опалювальна система, температурний графік, охолодження, нагрівання, коефіцієнт тепловіддачі, коефіцієнт теплопередачі.

Вступ. На сьогодні традиційні прилади обігріву займають у кімнатах багато місця. На відміну від них, теплі підлоги, не займаючи багато місця, здійснюють ефективне опалення приміщення. Електротермічні опалювальні системи (системи інфрачервоних теплих підлог), на відміну від традиційного центрального опалення, не потребують будівництва котелень, теплових розподільчих станцій, комунікацій для транспортування тепла. У даній роботі розглядається електротермічна опалювальна система на основі термоплівки «Чжунхей» яка являється інноваційною у сфері опалення [1]. Особливістю конкретно даної системи є те, що вона має сталу потужність, тому необхідно знати температурний графік приміщення для оптимізації використання електроенергії з метою її економії.

Основна частина. Опалювальна система на основі термоплівки «Чжунхей» має такі переваги як: стійкість до впливу вологи, високий рівень пожежної безпеки, легкість і простота монтажу, а також вона, на відміну від традиційного центрального опалення, не потребує будівництва котелень, теплових розподільчих станцій, комунікацій для транспортування тепла., що термін використання системи опалення «Чжунхей» перевищує 50 років, що виключає потребу в обслуговуванні, ремонті, догляді тощо.

Система має одну особливість: плівкові мати, які стеляться на підлогу, можуть виділяти лише певну сталу потужність. Враховуючи, що система

укладається рівномірно по всій підлозі, її потужність може перевищувати втрати тепла кімнатою. Через це використовувати теплу підлогу в стаціонарному режимі недоцільно. Тому застосовується її періодичне вимикання та вмикання. Для вибору оптимального режиму роботи і доцільного керування системою необхідно визначити особливості її роботи на прикладі однієї кімнати (офісного приміщення).

Основною задачею було розробити графік включення і відключення теплої підлоги. Ця задача є нестационарною, оскільки періоди охолодження приміщення чергуються з періодами нагрівання. Тому температура в цьому приміщенні є перемінною, таким чином перемінним є температурний напір, від якого залежать умови теплообміну з навколишнім середовищем (коефіцієнт тепловіддачі при природній конвекції залежить від перепаду температур).

Для того, щоб врахувати це при заданні граничних умов були побудовані графіки залежності коефіцієнтів тепловіддачі і теплопередачі від температурного напору.

Для розрахунків було використано такі залежності [2]:

1) коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м²K):

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (1)$$

де δ – товщина матеріалу стінки; λ – коефіцієнт теплопровідності; α – коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м² K);

2) коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м²K):

$$\alpha = Nu \cdot \lambda / l_0, \quad (2)$$

де l_0 – визначальний розмір, м; Nu – визначальний розмір, м;

2) критерій Нусельта (для вільного руху рідини):

$$Nu = c(Gr \cdot Pr)^n, \quad (3)$$

де c і n – коефіцієнти, які приймаються залежно від комплексу $Gr \cdot Pr$; Pr – критерій Прандтля; Gr – критерій Грасгофа;

3) критерій Грасгофа:

$$Gr = \frac{g \cdot l_0^3}{\nu^2} \cdot \beta \cdot \nu = A \cdot \nu, \quad (4)$$

де $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – прискорення вільного падіння; ν – коефіцієнт кінематичної в'язкості, $\text{м}^2/\text{с}$; β – температурний коефіцієнт об'ємного розширення теплоносія, для газів: $\beta = 1/T$, К^{-1} ; v – надлишкова температура, К ; A – безрозмірний комплекс, який дорівнює $A = (g \cdot l_0^3 / \nu^2) \beta$

Комплекс A використовується при обчисленні критерію Грасгофа для подальшого знаходження коефіцієнту тепловіддачі із зовнішньої сторони кімнати. Для обчислення коефіцієнту тепловіддачі із внутрішньої сторони використовується інший безрозмірний комплекс, який дорівнює: $B = g \cdot l_0^3$.

Криві на графіках були оброблені у вигляді аналітичних залежностей, що дало змогу знайти середньоінтегральні значення коефіцієнтів тепловіддачі за формулою:

$$\alpha_i = \frac{1}{\nu_{\max}} \int_0^{\nu_{\max}} \alpha(\nu) d\nu = \frac{1}{\nu_{\max}} \int_0^{\nu_{\max}} a \nu^{n+1} d\nu = \frac{1}{\nu_{\max}} a \frac{\nu^{n+1}}{n+1} \bigg|_0^{\nu_{\max}}, \quad (5)$$

а також теплопередачі:

$$K = \frac{1}{\nu_{\max}} \int_0^{\nu_{\max}} K(\nu) d\nu = \frac{1}{\nu_{\max}} \int_0^{\nu_{\max}} b \nu^{m+1} d\nu = \frac{1}{\nu_{\max}} b \frac{\nu^{m+1}}{m+1} \bigg|_0^{\nu_{\max}}, \quad (6)$$

які були використані при математичному моделюванні. Результати розрахунків наведено у табл. 1-4.

Згідно з ДБН В.2.6-31:2006 коефіцієнти тепловіддачі із зовнішнього і внутрішнього боків зовнішніх стін кімнати складають відповідно $23,2 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$ і $8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$. Враховуючи теплопровідність цих стін їх коефіцієнт теплопередачі складає $0,25 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$ [3].

Таблиця 1

Залежність коефіцієнтів тепловіддачі та теплопередачі внутрішніх стінок кімнати від температурного напору

ϑ , °C	10^{-7}	0,25	0,5	1	2	3	4	5	6	7	8
α_1 , Вт/(м ² ·К)	0,03	1,09	1,29	1,54	1,83	2,02	2,18	2,3	2,41	2,5	2,59
α_2 , Вт/(м ² ·К)	0,028	1,09	1,29	1,54	1,84	2,03	2,19	2,32	2,44	2,54	2,63
K, Вт/(м ² ·К)	0,0145	0,52	0,61	0,73	0,86	0,94	1,01	1,06	1,11	1,15	1,18

Таблиця 2

Залежність коефіцієнтів тепловіддачі та теплопередачі стелі кімнати від температурного напору

ϑ , °C	10^{-7}	0,25	0,5	1	2	3	4	5	6	7	8
α_1 , Вт/(м ² ·К)	0,02	0,71	0,85	1,01	1,2	1,33	1,43	2,02	2,14	2,26	2,36
α_2 , Вт/(м ² ·К)	0,0256	1,02	1,21	1,44	1,72	1,9	2,05	2,95	3,15	3,33	3,5
K, Вт/(м ² ·К)	0,0112	0,39	0,46	0,54	0,64	0,7	0,74	1,01	1,06	1,11	1,16

Таблиця 3

Залежність коефіцієнтів тепловіддачі та теплопередачі підлоги кімнати від температурного напору

$\theta, ^\circ\text{C}$	10^{-7}	0,25	0,5	1	2	3	4	5	6	7	8
$\alpha_1, \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$	0,02	0,72	0,86	1,02	1,22	1,35	1,45	2,09	2,22	2,34	2,44
$\alpha_2, \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$	0,0179	0,71	0,85	1,01	1,2	1,33	1,44	2,06	2,2	2,33	2,45
$K, \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$	0,0093	0,21	0,24	0,26	0,28	0,3	0,31	0,35	0,36	0,37	0,37

Таблиця 4

Середньоінтегральні значення коефіцієнтів тепловіддачі і теплопередачі

	$\alpha_1, \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$	$\alpha_2, \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$	$K, \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$
Внутрішні стіни	2,06	2,08	0,96
Стеля	1,55	2,55	0,77
Підлога	1,57	1,55	0,31

З різних боків досліджуваної кімнати температура оточуючого середовища була неоднаковою, тому була визначена середньозважена температура зовнішнього середовища. Розрахунок проводився за формулою:

$$t_{\text{сеп}} = \frac{\sum K_i F_i t_i}{\sum K_i F_i}, \quad (7)$$

де K_i – коефіцієнт теплопередачі матеріалу стінки приміщення, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, який розраховується за наведеними вище залежностями; F_i – площа стінки приміщення, м^2 ; t_i – температура стінки, $^\circ\text{C}$.

У результаті було отримано значення середньозваженої температури, яке приблизно дорівнює $9,1^\circ\text{C}$.

Також аналітично було розраховано час виходу системи на стаціонарний режим при повному відключенні теплої підлоги.

Час охолодження кімнати був знайдений із рівняння теплового балансу:

$$\sum_{i=1}^n K_i F_i (t - t_{\text{сеп}}) d\tau = - \sum_{i=1}^n M_i C_{pi} dt, \quad (8)$$

Після деяких перетворень отримали залежність:

$$\tau = \frac{\sum_{i=1}^n M_i C_{pi}}{\sum_{i=1}^n K_i F_i} \cdot \ln \frac{t_{\text{поч}} - t_{\text{сеп}}}{t_{\text{кін}} - t_{\text{сеп}}}, \quad (9)$$

де M_i – маса i -го шару матеріалу стінки, кг ; C_{pi} – питома ізобарна теплоємність i -го шару матеріалу стінки, $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$; K_i – коефіцієнт теплопередачі i -го шару

матеріалу стінки, $\text{Вт}/(\text{м}^2\text{K})$; F_i – площа поверхні теплообміну стінки, м^2 ; $t_{\text{поч}}$ – початкова температура стінки, $^{\circ}\text{C}$; $t_{\text{кін}}$ – кінцева температура стінки, $^{\circ}\text{C}$; $t_{\text{сер}}$ – середня температура повітря у кімнаті в кінці процесу охолодження, $^{\circ}\text{C}$.

У результаті час охолодження кімнати склав приблизно 14,5 діб.

Висновки. Для поставленої задачі знаходження температурного графіку приміщення було виконано аналітичний розрахунок, який проводився з використанням певних спрощень і припущень. У результаті було знайдено середньоінтегральні значення коефіцієнтів тепловіддачі та теплопередачі стінок кімнати, середньозважена температура зовнішнього середовища, а також час охолодження приміщення. Для перевірки правильності результатів передбачено проведення математичного моделювання у програмі SolidWorks.

Результати даного дослідження (після їх підтвердження математичним моделюванням) планується узгодити зі спеціалістами Інституту технічної теплофізики НАН України, а також запровадити у використання для проектувальних розрахунків, зокрема на фірмі «Чжунхей (Україна)».

Література

1. Сайт компанії «Чжунхей (Україна)» [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.zhonghui.com.ua>.
2. Исаченко В. П. Теплопередача. Учебник для вузов / В. П. Исаченко, В. А. Осипова, А. С. Сукомел. – М.: Энергия, 1975. – 488 с.
3. ДБН В.2.6-31:2006. «Теплова ізоляція будівель».

Температурный режим комнаты с теплым полом

М.С. Григорчук, И.Э. Фуртат, Ю.Н. Камаев

В данной статье рассматриваются аналитические расчеты, необходимые для определения температурного графика помещения с целью оптимизации использования электротермических систем отопления с постоянной мощностью, а именно экономии потребляемой электроэнергии. Работа содержит описание методики расчетов, а также короткую общую информацию о полученных результатах. В выводах указаны возможные перспективы использования результатов исследований.

Temperature mode of the room with warm floor

M. Hruhorchuk, I. Furtat, Y. Kamaev

This article discusses the analytical calculations which are necessary to determine the temperature mode of the room in order to optimize the usage of electrothermal heating systems with constant power, specifically to save energy consumption. The work contains the description of calculation methodology, and also a brief general information on the obtained results. The conclusions contain possible prospects for the using of research results.

Надійшла до редакції 19.05.2016