

ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ ВНУТРІШНЬОГО МІКРОКЛІМАТУ ПРИМІЩЕННЯ НА ТЕПЛООБМІН ЛЮДИНИ

© Возняк О.Т., 2010

Подано результати теоретичних досліджень, які стосуються взаємозв'язку теплообміну організму людини з параметрами мікроклімату у приміщенні. Враховано метаболічне тепло (інтенсивність роботи людини), властивості теплової ізоляції одягу, температури приміщення та швидкості руху повітря. На підставі цих досліджень створена універсальна трифакторна номограма та отримано розрахункові залежності. Наведена номограма та залежності дають можливість розраховувати необхідну для комфорту швидкість повітря, що є вихідними даними для проектування системи кондиціонування повітря.

Ключові слова: швидкість руху повітря, температура, термічний опір одягу, метаболічна теплота.

In this article there are presented results of theoretical investigations, which concern relationship between a person heat exchange and microclimatic parameters in a room. By this Metabolic heat (person work intensity), clothes heat isolation properties, room temperature and air velocity were taken into account. On a base of this research an universal comfort diagram (3-factor's chart) has been created and calculating equation has been obtained. Presented diagram and equation give possibility to calculate an air velocity needed for a person comfort heat feeling, which is an input data for designing Air Conditioning system.

Keywords: air velocity, temperature, clothes thermal resistance, metabolic heat

Постановка проблеми. Значну частину свого життя людина проводить в приміщенні: вдома, на роботі, в транспорті тощо. Її здоров'я, самопочуття, здатність до праці залежать від теплового комфорту в приміщенні. Питання теплового комфорту домінує при виборі зовнішніх конструкцій, а також проектуванні систем опалення, вентиляції та кондиціонування повітря, оскільки відчуття тепла людиною безпосередньо залежить від параметрів мікроклімату в приміщенні, а саме: температури внутрішнього повітря t_v , відносної вологості повітря ϕ , рухомості (швидкості руху) повітря V та радіаційної температури t_p .

Мета та завдання досліджень. Метою цієї статті є встановлення взаємозв'язку між теплообміном організму людини і мікрокліматичними факторами в приміщенні, а саме: метаболічною теплотою – M , Вт; температурою приміщення – $t_{п}$, °С; термічним опором одягу, R , clo; швидкістю повітря у робочій зоні – v , м/с.

Розглянемо тепловідчуття людей в приміщенні. На підставі [1, 2] загальний тепловий баланс тіла людини характеризуються рівнянням:

$$\Delta Q_{л} = Q_{л} \pm Q_{л}^K \pm Q_{л}^P - Q_{л}^B - Q_{л}^M - Q_{\phi} + q, \quad (1)$$

де $\Delta Q_{л}$ – надлишок (накопичення) або недостача тепла в організмі; $Q_{л}$ – теплопродуктивність організму (загальна кількість енергії, яку виробляє організм); $Q_{л}^K$, $Q_{л}^P$, $Q_{л}^B$ – конвективна, радіаційна складові теплообміну людини, а також за рахунок затрат тепла на випаровування вологи; $Q_{л}^M$ – витрата тепла (енергії) на механічну роботу; Q_{ϕ} – тепло, затрачене на фізіологічні процеси (нагрівання повітря, яке видихається, природний обмін речовин тощо); q – сприйняте променеве тепло сонячної радіації.

Аналізуючи рівняння теплового балансу, а також прийнявши припущення, що люди перебувають в стані спокою, констатуємо:

– теплопродукція для стану спокою в положенні сидячи, згідно з [1–3], становить $Q_{Л} = 90$ Вт, зокрема $Q_{Л}^B = 30 - 35$ Вт;

– конвективна тепловіддача людини [2]:

$$Q_{Л}^K = F_D \cdot f \cdot (t_{од} - t_B) \cdot 12,1 \cdot V^{0,5}, \text{ Вт} \quad (2)$$

де F_D – так звана “поверхня Дю-Буа”, яка використовується для визначення площі поверхні людського тіла (для сидячої людини $F_D \approx 1,1$ м²); f – відношення площі поверхні одягненого і оголеного тіла (для літнього одягу $f = 1,1$); $t_{од}$ – температура одягу, зазвичай приймається 35 °С;

$Q_{Л}^P$ – променева (радіаційна) тепловіддача організму людини [2]:

$$Q_{Л}^P = 4 \cdot 10^{-8} F_D \cdot f \cdot ((t_{од} + 273)^4 - (t_P + 273)^4), \text{ Вт} \quad (3)$$

– величина $Q_{Л}^M$ звичайно становить 5–35 % від додаткових тепловиділень, пов’язаних із виконанням фізичної або розумової роботи [3]: $Q_{Л}^M = 0,05 - 0,35 \cdot (Q_{Л} - Q_{Л}^C)$, де $Q_{Л}^C$ – теплопродуктивність у стані спокою, в нашому випадку $Q_{Л} = Q_{Л}^C$, а $Q_{Л}^M = 0$;

– тепло Q_{ϕ} не перевищує 11,6 Вт і в розрахунках його можна не враховувати [3].

Отже, в нашому випадку рівняння балансу (1) зводяться до вигляду:

$$Q_{Л} - Q_{Л}^K - Q_{Л}^P - Q_{Л}^B + q = 0. \quad (4)$$

Оскільки $Q_{Я} = Q_{Л} - Q_{Л}^B$, то $Q_{Я} + q = Q_{Л}^K + Q_{Л}^P$, звідки, враховуючи (2) і (3), отримуємо:

$$Q_{Я} + q = 4 \cdot 10^{-8} \cdot F_D \cdot f \cdot ((t_{од} + 273)^4 - (t_P + 273)^4) + F_D \cdot f \cdot (t_{од} - t_B) \cdot 12,1 \cdot V^{0,5}. \quad (5)$$

На основі [3], використовуючи $t_{П} = 0,5(t_B + t_P)$, визначаємо швидкість руху повітря в обслуговуваній зоні:

$$V = \frac{1}{106} \left(\frac{Q_{Я} + q}{35 - t_{П}} - 2,5 \right)^2, \text{ м/с}. \quad (6)$$

Результати розрахунків взаємозв’язку параметрів повітря в приміщенні, за прийнятими початковими даними, наведено в табл. 1

Таблиця 1

Взаємозв’язок параметрів повітря у приміщенні

Параметри	Система кондиціонування повітря (СКП)				Система вентиляції (СВ)			
	25	30	35	38	22	24	26	28
Зовнішня температура t_3 , °С	25	30	35	38	22	24	26	28
Внутрішня температура t_B , °С	19	22	25	26	25	27	29	31
Радіаційна температура t_P , °С	21,7	25,4	29,1	30,9	27	27	31	33
Швидкість руху повітря V , м/с	0,15	0,28	0,72	1,3	0,5	1,0	2,3	7,0

Як видно із наведених розрахункових даних, швидкість руху повітря залежить від внутрішньої температури (СВ або СКП), а також від радіаційної температури і променевої сонячної теплоти, які залежать від теплоізоляції огорожень, затінювальних пристроїв тощо. Підтримання швидкості руху повітря в обслуговуваній зоні в межах 2–7 м/с при зовнішній температурі 26–28 °С є реально складним завданням, тому при обладнанні приміщення системою вентиляції слід досягати максимального зниження радіаційної температури. Знайдені швидкості руху повітря в обслуговуваній зоні є початковими даними для розрахунку повітророзподілу. Враховуючи короткочасність перебування людей, можна допустити деяку напруженість процесу терморегуляції, тобто незначний дискомфорт теплового стану приміщення.

Крім цього, при розрахунку теплового стану слід враховувати інтенсивність роботи людей (табл. 2).

Явна тепловіддача від людини, Q_a , Вт

Інтенсивність Роботи	Температура середовища t					
	10 °C	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C	35 °C
Стан спокою	130 Вт	105 Вт	80 Вт	55 Вт	35 Вт	0 Вт
Легка робота	150 Вт	125 Вт	95 Вт	65 Вт	37 Вт	0 Вт
Робота середньої важкості	170 Вт	140 Вт	105 Вт	71 Вт	43 Вт	0 Вт
Важка робота	185 Вт	150 Вт	115 Вт	75 Вт	48 Вт	0 Вт

Тепловіддача людини Q повинна бути зрівноважена її метаболічною теплотою M і безпосередньо залежить від теплоізоляційних властивостей одягу, його термічного опору R , який часто подають в "clo": $1 \text{ clo} = 0,155 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{Вт}}$. Дані для R різного виду одягу наведено в табл. 2.

З аналізу [1] найсучаснішими і найобґрунтованішими є рівняння і діаграми комфорту Фангера [2], які відображають відношення між різними параметрами мікроклімату (інтенсивність роботи M , теплоізоляційні властивості одягу R тощо) окремо.

Ці діаграми не враховують термічного опору одягу R , тобто $R = \text{const}$, наприклад $R = R_1$. В результаті цього вони спрощені. Отож, якщо ми хочемо розглянути задачу про вплив виду одягу на термічний опір, нам необхідно скористатись додатковими діаграмами (інше значення R : $R = R_2$).

Отже, нам потрібно використати декілька діаграм одночасно, до того ж кожна з них містить лише три параметри. Для врахування черв'ятого параметра нам потрібна ще одна діаграма з її дискретними значеннями, тому що неможливо врахувати зміну будь-якого четвертого параметра на неперервному проміжку.

У цій статті запропонована діаграма (див. рисунок), в якій згадані параметри функціональним співвідношенням пов'язані не окремо, а одночасно.

Таблиця 3

Термічний опір різного виду одягу

№	Одяг	Термічний опір R , [clo]
1	Шорти	0,1
2	Шорти, сорочка на короткий рукав	0,3-0,4
3	Літні штани, сорочка на короткий рукав	0,5
4	Літні штани, легка білизна, шкарпетки, бавовняні сорочка і штани	0,6
5	Легка білизна, бавовняні сорочка і штани, шкарпетки, мешти	0,7
6	Костюм	1,0
7	Традиційний європейський одяг: бавовняна білизна з довгим рукавом, сорочка, краватка, шерстяні шкарпетки, мешти, костюм з плащем	1,0-1,5

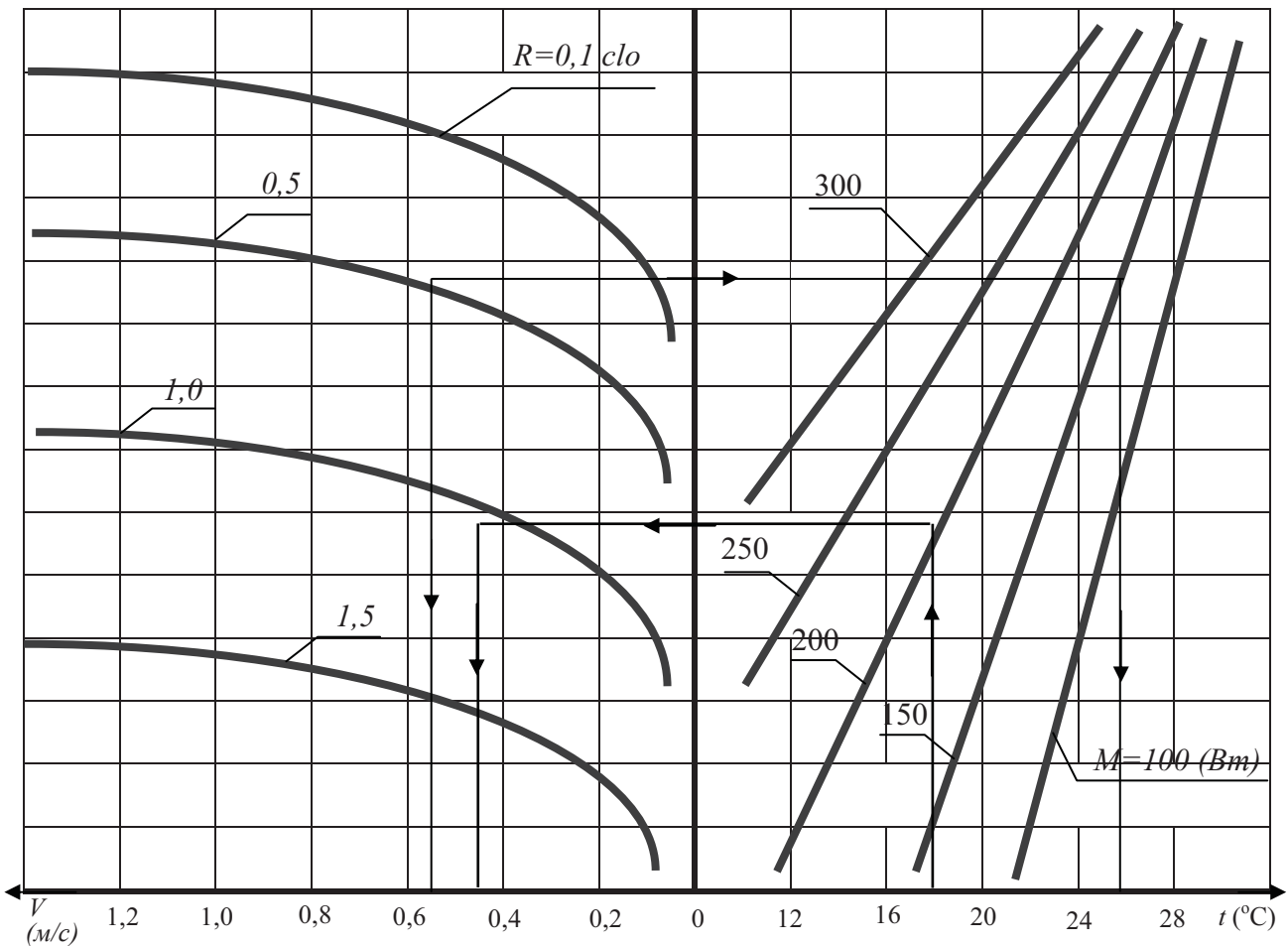
Створення універсальних діаграм параметрів комфорту як об'єднання взаємозв'язку між всіма факторами мікроклімату описано вище, а також розрахунок будь-яких значень кожного фактора з неперервного інтервалу як розв'язок цієї задачі.

Першим кроком є таблиці, в яких наведено дані метаболічної теплоти відповідно до виконуваної роботи і термічні властивості одягу. Вони показують відношення між цими параметрами і є базовими для створення діаграм.

Припустимо, що знаходження швидкості руху повітря в приміщенні є кінцевим завданням. Діаграма є функцією швидкості руху повітря від трьох незалежних визначних факторів: 1 – теплової ізоляції одягу R , 2 – інтенсивності роботи (метаболічна теплота) M ; 3 – температура навколишнього середовища t . Кожен фактор може бути на таких неперервних проміжках: $R = 0,5 - 1,5 \text{ clo}$; $M = 100 - 300 \text{ Вт}$; $t = 10 - 30 \text{ }^\circ\text{C}$. Відносна вологість є сталою і дорівнює $\varphi = 50 \%$.

Отже, констатуємо, що швидкість руху повітря V залежить від цих визначених факторів, описаних вище, тобто $V = f(M, t, R)$.

Трифакторна діаграма була створена як відношення теплообміну людини і таких параметрів мікроклімату в приміщенні: метаболічна теплота M , швидкість руху повітря V , теплові властивості одягу R , температура навколишнього середовища t як середнє арифметичне між внутрішньою температурою повітря t_B і радіаційною t_P . Отримана діаграма була наближеною до рівняння (1) для аналітичних розрахунків.



Універсальна діаграма комфорту $V = f(t, M, R)$

Для корисності розрахунку в цій статті запропоновано універсальну діаграму параметрів комфорту (див. рисунок), яка ґрунтується на дослідженнях [2] і поєднує функціональні залежності між різними параметрами мікроклімату. Ця трифакторна діаграма, що зображена на рисунку, створена за допомогою застосування традиційних математичних методів для створення діаграм. Вона замінює деякі двофакторні діаграми з [2] і дає змогу визначити швидкість руху повітря V залежно від трьох факторів, які можуть змінюватись одночасно: температура повітря в приміщенні t_B , метаболічна теплота M і теплоізоляційні властивості одягу R . Більше того, розрахунок можна виконувати лише для будь-яких значень з неперервного інтервалу M і R , що є неможливим лише в [1, 2], як це було акцентовано вище.

Завдяки цій діаграмі (див. рисунок) можливо виконувати усі необхідні розрахунки для будь-яких значень M , t , R з неперервного проміжку, наприклад, $M = 120 \text{ W/m}^2$, $R = 0,8 \text{ clo}$, $t = 18 \text{ }^\circ\text{C}$. Важливо зауважити, що при умовах [1] діаграма створена при відносній вологості $\varphi = 50\%$ і радіаційній температурі t_P , яка була прийнята такою, що дорівнює температурі внутрішнього повітря t_B

$$V = (0,45 + 0,18R) \left(2,2R - 3,82 + 9,89 \lg \left(\frac{M}{200} - 0,37 \right) + \frac{0,38 t_n}{\frac{M}{200} + 0,38} \right)^2, \quad (7)$$

де V – швидкість руху повітря, м/с; M – метаболічна теплота, Вт; R – термічний опір одягу, clo; $t_{п}$ – температура приміщення, °С.

Отже, якщо врахувати теплоізоляційні властивості одягу R та інтенсивність виконуваної роботи M , а також за наявності даних, необхідних для проектування мікрокліматичних умов, необхідну швидкість руху повітря можна визначити завдяки діаграмі (див. рисунок) або рівнянню (7).

Висновки. Запропоновані дані дають можливість визначити необхідну швидкість руху повітря для відчуття комфорту, враховуючи залежність теплоізоляційних властивостей одягу, інтенсивності праці і температури в приміщенні від вказаних вище даних із неперервного проміжку. Отримана діаграма вважається базовою для визначення швидкості руху повітря, що є вихідними даними для проектування систем кондиціонування повітря.

1. Банхиди Л. *Тепловой микроклимат помещений.* – М.: Стройиздат, 1981. – 248 с. 2. Fanger P.O. *Thermal comfort.* Mc Grow Hill, 1970. 3. Богословский В.Н. *Строительная теплофизика.* – М.: Высшая школа, 1982. – 415 с.

УДК 697.9:621:697:621

О.Т. Возняк, М.А. Мартиняк

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра теплогазопостачання і вентиляції

ГІБРИДНА ТЕПЛОНАСОСНО-СОЛЯЧНА СИСТЕМА

© Возняк О.Т., Мартиняк М.А., 2010

Наведено методику розрахунку та влаштування гібридної теплонасосно-сонячної системи опалення і показано її перевагу над встановленням окремих систем. За попередніми підрахунками тепловий насос, встановлений на підприємстві “Укрінтерм”, забезпечує до 63 700 кВт·год/рік теплової енергії. Подано таблиці розрахунків, які дають можливість розрахувати необхідні величини. Стаття виконана у формі літературного огляду та аналізу публікацій на задану тематику.

Ключові слова: сонячний колектор, тепловий насос, ємнісний теплообмінник.

In this article indicated the method of calculating and arranging heatpumping hybrid solar-heating system and show its advantages over installing separate systems. According to preliminary calculations heat pump installed in the enterprise “Ukrinterm”, provides up to 63700 kW*h/year of thermal energy. Presented table payments, which enable to calculate the required value. Article made in the form of literature review and analysis of publications on the same subject.

Keywords: solar collector, heat pump, capacitance exchanger.

Постановка проблеми. Актуальною проблемою сучасності є ефективне використання енергоощадних технологій. Наприклад, використання енергії низькопотенційних відновних джерел дає можливість економити органічне паливо, зменшити негативний вплив на навколишнє середовище, задовольнити потреби споживачів тепла, які розташовані далеко від централізованих систем теплопостачання, тощо. Одним із способів є влаштування теплонасосних станцій. Такі системи широко застосовують у Німеччині, Австрії, Швеції, США, Японії, хоча ще не до кінця вирішена проблема щодо підвищення ефективності їхньої роботи. В Україні, на жаль, не приділяють достатньої уваги цьому питанню.