

УДК 628.87: 697.245.386

**МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМУ ПРИМІЩЕННЯ**

к. т. н., доц. А. О. Петренко

*Придніпровська державна академія будівництва та архітектури*

**Постановка проблеми.** Нинішній розвиток технологій призводить до поліпшення рівня життя людини, його приміщення все частіше розглядається не просто як місце перебування, а як місце хорошого "самопочуття" і комфорту і це вимагає подальшого поліпшення комфортних параметрів мікроклімату в приміщенні.

Для нормальної життєдіяльності і працездатності людини в приміщеннях необхідною умовою є забезпечення необхідних параметрів мікроклімату, при яких людина не відчуває дискомфорту.

З технічної точки зору підтримки умов мікроклімату, важливими є параметри, які можливо змінювати системами життєзабезпечення. Зокрема, інтерес представляють фактори, пов'язані з теплопочуттям.

**Зв'язок з науковими програмами завданнями і аналіз останніх досліджень і публікацій.** Як показав аналіз досліджень мікрокліматичних умов приміщень [1, 2, 3, 4], на сучасному етапі методика їх оцінки не враховує нерівномірність променевого теплообміну, що приводить до поганого самопочуття й зменшення продуктивності праці.

**Виділення невирішених раніше питань.** У світовій практиці постійно зростає увага до створення комфортних мікрокліматичних умов у приміщеннях, що обумовлено турботами про здоров'я людини й підвищення продуктивності її праці. Також представляє інтерес на стадії проектування оцінка ухвалених рішень щодо забезпечення мікроклімату приміщень для максимальної комфортності людини й підвищення її працездатності.

Тому доцільним є дослідження променевого теплообміну між поверхнею тіла людини і поверхнями, оберненими всередину приміщення, необхідних для якісної оцінки стану мікроклімату в приміщеннях з урахуванням променевої складової теплообміну. Таким чином, виникає необхідність пошуку шляхів забезпечення оптимальних умов мікроклімату за рахунок моделювання теплового режиму приміщення.

**Мета і завдання дослідження.** Встановити закономірності й дослідити процеси розподілу променевого теплообміну на поверхні тіла людини на фізико-математичній моделі.

**Викладення основного матеріалу дослідження.** Разом з теоретичним розрахунком і безпосереднім експериментальним дослідженням променевого теплообміну усередині приміщення, велике практичне значення має дослідження променевого теплообміну шляхом моделювання, яке дозволяє в короткі терміни отримувати результати при різних поєднаннях внутрішніх і зовнішніх (по відношенню до приміщення) факторів. В основу моделювання покладений той факт, що багато полів описуються однією і тією ж аналітичною залежністю [5, 6].

Тому, якщо подібні геометричні конфігурації областей просторів, в яких існує модельоване і моделююче поля і якщо пропорційні значення відповідних

параметрів на межах областей, то картини полів будуть подібні. Тому нами ця обставина була використана для моделювання одного поля іншим.

Так, при передачі теплоти через деякий повітряний простір шляхом випромінювання щільність теплового потоку в режимі, що встановився, описується рівнянням :

$$q = \varepsilon \cdot C_o \cdot \left[ \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 \right] = \varepsilon \cdot C_o \cdot \left[ \left( \frac{T_1}{100} \right)^2 + \left( \frac{T_2}{100} \right)^2 \right] \cdot \left[ \frac{T_1 + T_2}{100} \right] \cdot \left[ \frac{T_1 - T_2}{100} \right] = \alpha_n \cdot (T_1 - T_2) \quad (1)$$

де  $\alpha_n = \varepsilon \cdot C_o \cdot \left[ T_1^2 + T_2^2 \right] \cdot \left[ T_1 + T_2 \right] \cdot 10^{-8}$  – коефіцієнт променевого теплообміну між об'єктами з температурами  $T_1$  і  $T_2$ ;  
 $C_o = 5,67 \cdot 10^{-8}$  Вт/(м<sup>2</sup>·К<sup>4</sup>) – постійна Стефана-Больцмана;  
 $\varepsilon = 0 \div 1$  – ступінь чорноти об'єктів, між якими відбувається променевий теплообмін.

Розділивши увесь об'єм, через який передається тепловий потік на елементарні тілесні кути, усередині яких передається тепловий потік  $\Delta Q$ , у будь-якому паралельному перерізі такого кута з площею  $\Delta S$  поверхнева щільність змінюватиметься від перерізу до перерізу, якщо тілесний кут не дорівнює нулю (2).

$$q_s = \frac{\Delta Q}{\Delta S} = \alpha_n \cdot (T_1 - T_2) = \gamma_T \cdot \Delta T \quad (2)$$

де  $\gamma_T = \alpha_n$  – коефіцієнт теплопередачі;

$\Delta Q$  – загальний теплообмін між об'єктами;

$\Delta S$  – деяка площа в просторі між об'єктами нормальна до напрямку теплового потоку.

Якщо у напрямі передачі теплового потоку в тілесному кутку розглянемо об'єм між двома паралельними січними поверхнями, що знаходяться на відстані  $\Delta x$ , то можемо ввести поняття об'ємної щільності теплового потоку.

$$q_v = \frac{q_s}{\Delta x} = \frac{\Delta Q}{\Delta S \cdot \Delta x} = \frac{\Delta Q}{\Delta V}$$

Відомо, що одно- і двоатомні гази вільно пропускають теплові промені, а трьохатомних газів (вуглекислий газ, водяні пари) зазвичай нікчемно мало в приміщеннях, які обігріваються, і можна прийняти  $\Delta x = L$ , тобто рівним відстані по осі елементарного тілесного кута між випромінюючою і поглинаючою поверхнями. Тоді:

$$q_v = \frac{q_s}{L} = \gamma_T \cdot \frac{\Delta T}{L}$$

Але відношення  $\frac{\Delta T}{L}$  фактично є градієнтом температури уздовж осі елементарного тілесного кута.

Таким чином

$$q_v = \gamma_T \cdot \text{grad}T \quad (3)$$

Аналогом при електричному моделюванні є рівняння:

$$J = \gamma_\sigma \cdot \text{grad}\varphi \quad (4)$$

де  $J$  – щільність струму,  $\frac{A}{m^2}$  ;

$\gamma_\sigma$  – електропровідність середовища,  $\frac{1}{\Omega \cdot m}$  ;

$\varphi$  – потенціал в даній точці поля,  $B$ .

Але  $\text{grad}\varphi = E$ , тобто напруженість електричного поля. Таким чином,

$$J = \gamma_\sigma \cdot E \quad (5)$$

Рівняння (5) є законом Ома в диференціальній формі.

Вимірюючи в моделі компоненти вектору  $E$  уздовж осей  $x, y, z$ , тим самим визначаємо його за величиною і напрямом. А оскільки (5) моделює (3), то моделюється об'ємна щільність теплового потоку за величиною і напрямом у будь-якій точці простору. При цьому аналогом щільності теплового потоку є щільність електричного струму, а аналогом різниці температур - різниця потенціалів.

Подібність формул (5) і (3) дозволяє створити об'ємну електричну модель для дослідження променевого теплообміну між об'єктами в просторі. Для цього в електропровідній рідині необхідно розташувати макети об'єктів, виконані в певному масштабі і встановити між ними різниці потенціалів пропорційні різницям їх температур.

Відповідно до викладеного, розроблена і змонтована фізична моделююча установка.

Для дослідження просторової моделі був використаний метод моделювання в електролітичній ванні (діелектричному баку).

Дослідження проводилося в діелектричному баку (Рис. 1). Бак імітує кімнату, виконану в масштабі 1:10 і має розміри 500x400x300. Бак з внутрішньої сторони (поверхні захисних конструкцій) покриті металевією фольгою для підведення до них потенціалів.

В якості моделі людини використовується покритий фольгою еліптичний циліндр з контактом для підведення потенціалу, що відповідає температурі на поверхні тіла людини [7].

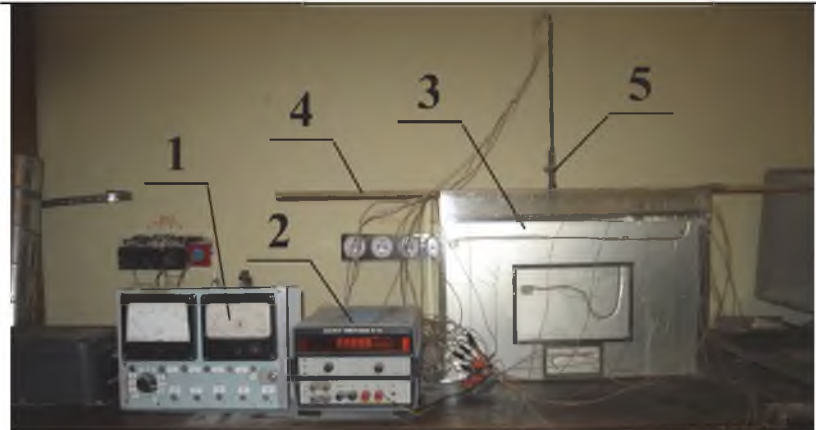


Рис. 1. Експериментальний стенд для дослідження променевого теплообміну при оцінці радіаційної складової на мікроклімат в приміщенні

1 – пристрій для регулювання потенціалів, 2 – вольтметр універсальний В7-21А, 3 – модель приміщення, 4 – пристрій для переміщення зонду, 5 – пристрій для закріплення зонду.

Як електроліт використовується дистильована вода одноразової дистиляції.

Результати вимірів і розрахунків об'ємної щільності теплового потоку в точках на поверхню тіла людини показали, що вона має різні значення залежно від орієнтації на захисні конструкції, обернені всередину приміщення, які мають різну температуру внутрішньої поверхні.

В ході проведення експерименту встановлено, що виміри проекцій на осі координат вектору напруженості електричного поля у будь-якій точці простору моделі, дає можливість отримати повну картину про величини і напрями теплових потоків в приміщенні (див. рис. 2).

Аналіз результатів проведених лабораторних досліджень показали, що нерівномірність розподілу об'ємної щільності теплового потоку по поверхні тіла людини залежить від температури захисних поверхонь, обернених всередину приміщення. Епора об'ємної щільності теплового потоку виходить більше рівномірною, якщо температура поверхонь має однакову величину, що характерно видно з результатів дослідження при поверхнево-розвиненому обігріві (мал. 3).

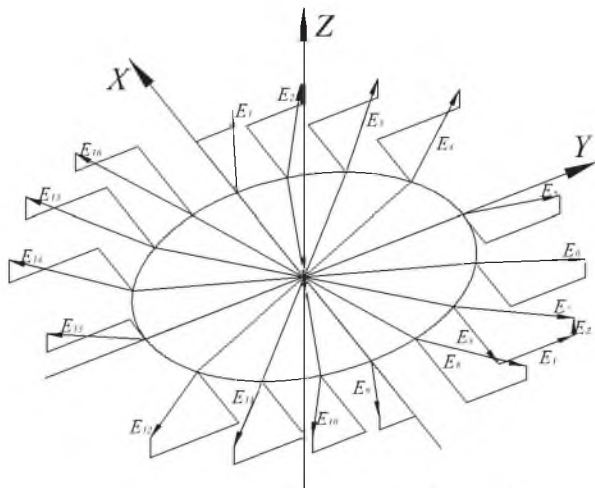
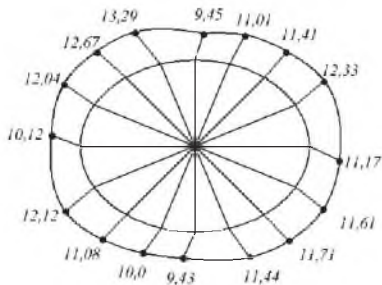
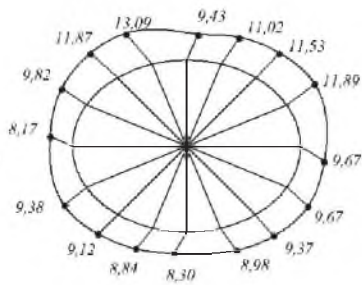


Рис. 2. Схема побудови проєкцій об'ємної щільності теплового потоку моделі, який впливає біля поверхні людини, на осі координат

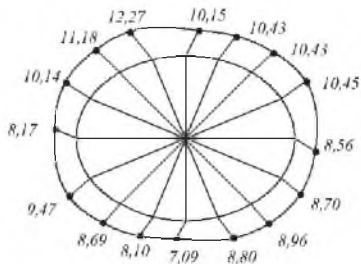
T1



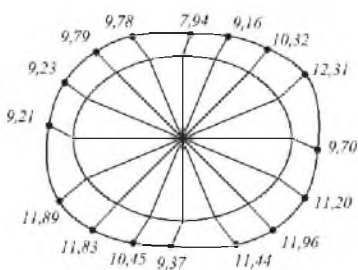
T2



T3



T4



$\zeta=0,65$

$\zeta=0,64$

Рис. 3. Епюри розподілу теплової енергії по поверхні тіла людини

---

## ВИСНОВКИ

1. Аналітичні дослідження показали, що теплове поле при променевому теплообміні і електричне поле в електропровідному середовищі описуються подібними аналітичними виразами. Тому запропоновано використати об'ємну електричну модель для дослідження променевого теплообміну між об'єктами в просторі.

2. В результаті проведених досліджень встановлено, що виміри проєкцій на осі координат вектору напруженості електричного поля у будь-якій точці простору моделі, дають можливість отримати повну картину про величини і напрями теплових потоків в приміщенні.

3. Запропонована аналогова модель дозволяє проводити дослідження променевого теплообміну в чистому вигляді, без урахування впливу конвективного теплообміну і теплопередачі, що дає можливість якісно оцінити процеси променевого теплообміну тіла людини з внутрішнім середовищем приміщення.

## ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Зигель Р. Теплообмен излучением / Р. Зигель, Дж. Хауэлл. – М.: Мир, 1975. – 934 с.
2. Блох А.Г., Журавлев Ю.А., Рьжков Л.Н. Теплообмен излучением Справочник / Блох А.Г., Журавлев Ю.А., Рьжков Л.Н.: – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 432 с.
3. Богословский В.Н. Строительная теплофизика (теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха): Учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа. – 1982. - 415 с.
4. Куксинская Т.В. Критерии гигиенической оценки степени воздействия теплового облучения при работе средней тяжести / Т.В. Куксинская, В.Б. Либерман, В.Н. Тетеревников // Научные работы институтов охраны труда ВЦСПС. – 1969. – № 59. – С. 52-57.
5. Стронг Д. Техника физического эксперимента / Стронг Д. – Л.: Лениздат, 1948. – 220 с.
6. Бабов Д.М. Руководство к практическим занятиям по гигиене с техникой санитарно-гигиенических исследований / Д.М. Бабов, Н.И. Надворный. – М.: Медицина, 1976. – 288 с.
7. Петренко А.О. Усовершенствование методики оценки теплообмена человека с внутренней средой помещения / А.С. Беліков, В.О. Петренко, А.О. Петренко // Вісник Криворізького технічного університету. – 2009. – № 23. – С. 178-182.