

УДК 628.8:004.925.8

професор Володимир Єгорченков,
egval@ukr.net, ORCID: 0000-0003-2910-0331,
Київський національний університет
будівництва і архітектури

ПРИНЦИПИ ФОРМУВАННЯ ТЕРМО-РАДІАЦІЙНОГО СЕРЕДОВИЩА В ПРИМІЩЕННЯХ З КРУГОВИМИ ВИПРОМІНЮВАЧАМИ ДОВІЛЬНОГО ПОЛОЖЕННЯ

Анотація Одним із визначальних моментів при формуванні мікроклімату в приміщеннях є випромінюючі властивості як випромінювачів, так і внутрішніх поверхонь приміщення. При формуванні термо-радіаційного середовища у приміщеннях обмін радіаційними потоками між випромінювачами і поверхнями впливає на радіаційну температуру і стан людини. Для стандартних нескладних умов ця проблема вирішується просто. Для складних умов: незвичайні приміщення і випромінювачі, виникають певні труднощі. Робота присвячена розробленню принципів формування температурно-радіаційного середовища у приміщеннях зі складною геометричною формою і з випромінювачами у формі кола/кільця загального положення з використанням прогресивного математичного апарату точкового числення. З використанням базового точкового рівняння кола розроблено точкове рівняння кола і кільця, за яким сформовано поле точок сканування і зроблена візуалізація отриманого точкового рівняння в середовищі Maple. Для сусідніх чотирьох або трьох точок сканування визначаються параметри випромінювання: коефіцієнти опромінення, радіаційна температура та потік. Сума параметрів від усіх елементів у розрахункових точках сформують їхній розподіл приміщенням. Розроблені принципи з використанням точкового числення дозволять підвищити точність розрахунків та скоротити їхній час, оскільки вилучає з розгляду громіздкі системи рівнянь, які розв'язуються чисельними методами. Подальші дослідження будуть спрямовані на розроблення програмного комплексу для формування комфортних температурно-радіаційних умов у приміщеннях за наявності поверхневих випромінювачів різних форм при різному розташуванні в просторі.

Ключові слова: термо-радіаційне середовище, кільцеві випромінювачі, коефіцієнт опромінення, точкове числення, радіаційна температура.

Вступ. Одним із визначальних моментів при формуванні мікроклімату в приміщеннях є випромінювальні властивості як випромінювачів, так і внутрішніх поверхонь приміщення. Обмін радіаційними потоками між

випромінювачами й поверхнями впливає на радіаційну температуру і стан людини. Ця проблема майже вирішена для стандартних будівель з прямокутними приміщеннями. Для приміщень зі складною геометрією і нестандартними випромінювачами виникають певні труднощі розрахунку.

Актуальність дослідження. При формуванні температурно-радіаційного середовища в приміщеннях безумовно можна замінити поверхні складної конфігурації усередненими стандартними поверхнями. Але при цьому буде втрачено реальну картину розповсюдження параметрів радіаційного поля, що впливає на стан людини в приміщенні. З іншого боку, можливі перевитрати енергетичних ресурсів через суттєві відхилення результатів розрахунку від практичного розподілу параметрів. Тому актуальність даної теми очевидна, адже дозволяє оцінити вплив кожної частини випромінювачів і огорожувальних конструкцій складної геометрії як на людину, так і на енергетичний стан будівлі.

Останні дослідження та публікації. Формування радіаційного середовища – це складна задача. Проте наявні різні методи й методики з використанням комп'ютерних технологій, які дозволяють з достатньою точністю визначити розподіл радіаційних параметрів за об'ємом приміщення. Але це стосується стандартних ситуацій або будівель з нескладною геометрією [1]. При цьому вирішення проблеми здійснюється з використанням чисельних методів розрахунку, у яких для визначення параметрів складається стільки рівнянь, на скільки комірок розбито пов'язані між собою об'єкти. При об'єктах складної геометрії кількість комірок різко збільшується. Відповідно, збільшується кількість рівнянь, які входять до системи. При цьому збільшується час роботи комп'ютера і виникає загроза зациклювання при розрахунках, а також значно ускладнюється налагодження програми. Причиною є недостатньо ефективний математичний апарат. У роботі [3] розподіл параметрів випромінювання між довільно орієнтованими поверхнями вирішено в загальному вигляді.

Одним із ефективних способів опалення приміщень є панельно-променевий спосіб. Однією із переваг його – це покращення інтер'єру приміщення [4]. Системи опалення так або інакше впливають на візуальне середовище. Якщо вони не мають привабливого вигляду, архітектори і дизайнери при проєктуванні інтер'єрів задаються питанням, як сховати ці прилади, щоб вони були непримітними і мали максимальну тепловіддачу. Тільки система опалення променевими панелями не порушує інтер'єрні якості. Більш того, вони можуть бути дизайнерськими елементами, які вписуються до композиції приміщення. Оскільки променеві панелі є елементами інтер'єру, то повинно бути достатнє різноманіття вільно розташованих форм, які

розраховуються достатньо точно й ефективними методами.

Відомо, що кількість теплоти Q_{12} Вт/м², яке передається випромінюванням з більш нагрітої поверхні F_1 на поверхню F_2 , на підставі закону Стефана-Больцмана [5] залежить, зокрема, від різниці абсолютних температур поверхонь і кутового коефіцієнта опромінення

$$Q_{12} = C_{12} F_1 \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \Psi_{12}, \quad (1)$$

де C_{12} – приведений коефіцієнт випромінювання; F_1 – площа поверхні випромінювання, м²; T_1 , T_2 – абсолютні температури поверхні, що випромінює, і поверхні, яка сприймає випромінювання, відповідно, К; Ψ_{12} – кутовий коефіцієнт опромінення.

Важливе значення для процесу теплообміну між поверхнями має кутовий коефіцієнт опромінення. Він визначає яку частку променистої теплоти отримує поверхня F_2 від поверхні F_1 . Визначення цього параметру становить особливу складність.

Розподіл променистого теплообміну між поверхнями аналогічно розподілу світлового потоку і відрізняється тільки довжиною хвиль [6]. У роботі [7] побудовано графіки визначення коефіцієнтів опромінення методом світлового моделювання. Тому величини проєкції модуля тілесного кута в світлотехнічних розрахунках тотожні коефіцієнту опромінення.

Методам визначення коефіцієнта опромінення вчені приділяли значну увагу [5, 6, 7 та ін.]. Але всі вони зводилися до інженерних методів і пропонують здійснювати розрахунок для поверхонь простої форми (квадратної, прямокутної) певного положення: вертикальних, горизонтальних і похилих.

Розподіл параметрів температурно-радіаційного поля можна досить просто вирішити з використанням ефективного математичного апарату точкового числення [2]. Для початку необхідно на всіх елементах простору сформувати поле точок сканування (їх координати), з якими можна надалі працювати. У статті [8] подано розширені можливості та переваги точкового числення, найбільш вагомими серед яких можна скорочено подати у такому вигляді:

- формування поля точок сканування здійснюється за допомогою простих точкових рівнянь, які легко виводяться для більшості геометричних об'єктів. Ці точки моделюють простір і за допомогою них формуються елементи, для яких послідовно розраховуються всі необхідні параметри;
- проєціювання точок здійснюється не на проєкційні площини, як у звичайній геометрії, а безпосередньо на проєкційні осі, що є ефективним

- при програмуванні;
- при використанні точкового числення складається така кількість рівнянь, яка дорівнює кількості типів геометричних об'єктів (наприклад, для прямокутного приміщення складається одне рівняння, для мансардного приміщення – два рівняння);
- перехід від точкової форми рівняння до обчислювальної (координатної) здійснюється просто: достатньо замість базових точок геометричного об'єкта підставити їх координати, які завжди задаються у проектах.

Формулювання цілей статті. Представлена робота присвячена розробленню принципів формування температурно-радіаційного середовища у приміщеннях з випромінювачами у формі кола/кільця з використанням прогресивного математичного апарату точкового числення.

Моделювання випромінювачей у формі кола/кільця. Процес теплообміну між поверхнями в даній роботі розглядається на прикладі круглих/кільцевих випромінювачів довільного положення.

Для формування точкової множини випромінювача у формі кола складається точкове рівняння. Для цього використовуємо базове точкове рівняння окружності [2] (рис. 1)

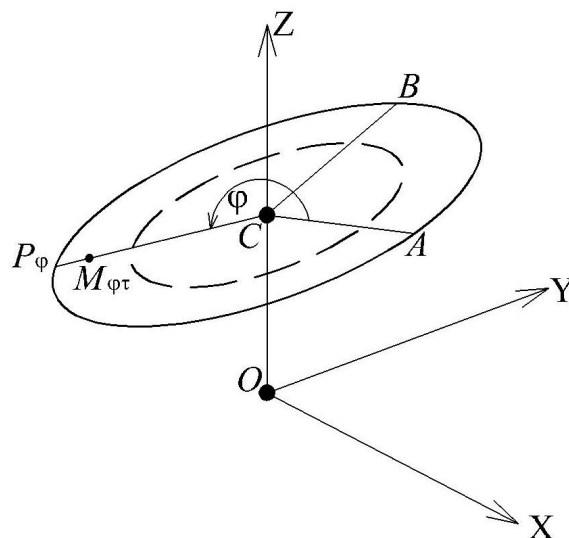


Рис. 1. Схема випромінювача у формі кола/кільця довільного положення

$$P_{\varphi} = (A - C) \cos \varphi + (B - C) \sin \varphi + C \quad (2)$$

де A , B , C – базові точки кола, які задаються проектом з відомими координатами; P_{φ} – поточна точка кола; φ – кут переміщення відрізка CP_{φ} , змінюється від 0 до 2π ; $M_{\varphi\tau}$ – поточна точка поверхні.

Точкові рівняння деяких інших характерних геометричних об'єктів

представлено в [7].

Точкове рівняння останнього параметру

$$M_{\varphi\tau} = P_{\varphi}(1 - \tau) + C\tau \quad (3)$$

де τ – параметр поточної точки $M_{\varphi\tau}$ в напрямку відрізка $P_{\varphi}C$, що змінюється від 0 до 1.

При підставленні рівняння (2) до рівняння (3) отримується кінцеве точкове рівняння кола

$$M_{\varphi\tau} = (A - C)(1 - \tau)\cos\varphi + (B - C)(1 - \tau)\sin\varphi + C \quad (4)$$

Задається інтервал та крок розташування точок сканування. Приймаються намери точок у відповідних напрямках i від 1 до m , j від 1 до n , тоді $\tau = i/m$; $\varphi = j/n$.

При переході до координатної форми точок сканування замість базових точок треба підставити їхні координати, решта параметрів залишається незмінною.

$$\begin{aligned} x_{\varphi\tau} &= (x_A - x_C)(1 - \tau)\cos\varphi + (x_B - x_C)(1 - \tau)\sin\varphi + x_C; \\ y_{\varphi\tau} &= (y_A - y_C)(1 - \tau)\cos\varphi + (y_B - y_C)(1 - \tau)\sin\varphi + y_C; \\ z_{\varphi\tau} &= (z_A - z_C)(1 - \tau)\cos\varphi + (z_B - z_C)(1 - \tau)\sin\varphi + z_C. \end{aligned} \quad (5)$$

Візуалізація отриманого точкового рівняння (5) здійснено в середовищі Maple (рис. 2). Таким чином отримані координати будь-якої точки, які знаходяться в межах кола.

Для кільцевого випромінювача використовується те ж рівняння (4) але межі параметру поточної точки $M_{\varphi\tau}$ τ змінюються від 0,5 до 0. Візуалізацію точкового рівняння (5) з такими межами представлено на рис. 3.

Розподіл параметрів випромінювання поверхнями приміщення. Радіаційна температура розподіляється поверхнями приміщення вкрай нерівномірно. Голова людини більш вразлива до радіаційного перегріву і переохолодження [9]. Тому поряд з середньою радіаційною температурою приміщення треба враховувати і температуру конкретних ділянок поверхонь або випромінювача. Тому треба аналізувати всі ділянки щодо розповсюдження радіаційних параметрів зокрема тих, що безпосередньо взаємодіють з людиною.

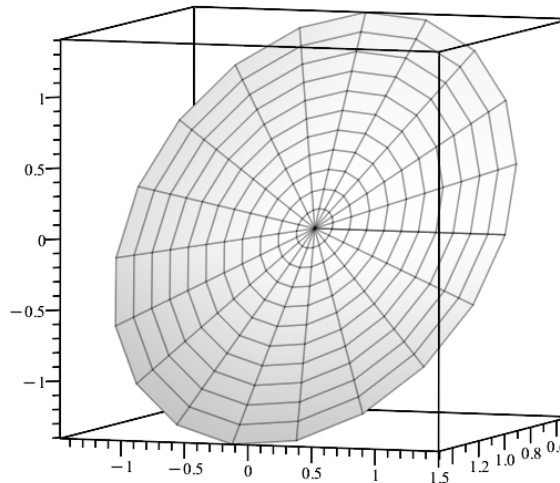


Рис. 2. Візуалізація точок сканування кола у середовищі Maple (точки сканування розташовані на перетині ліній сітки)

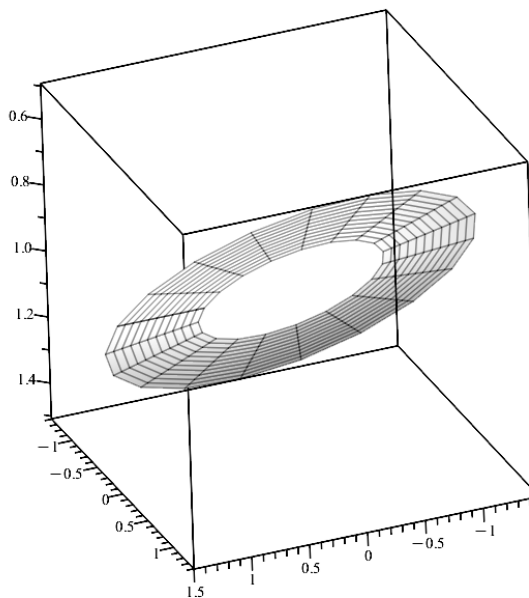


Рис. 3. Візуалізація точок сканування кільця

У більшому ступеню це стосується приміщень з огорожувальними конструкціями і випромінювачами складної геометрії, оскільки в цих випадках важко прогнозувати заздалегідь величини параметрів.

Припустимо, є випромінювач у формі кільця нахиленого на певний кут (рис. 3). Такі випромінювачі часто використовуються для опалення приміщень [10]. При цьому пропонується для розрахунків приймати середню температуру поверхні випромінювання. Для розрахунків розподілу радіаційних потоків по поверхнях приміщення це дійсно має рацію. Але людина дуже чутлива до випромінювання, яке попадає на її голову. Тому треба урахувати радіаційну температуру кожної ділянки. Особливо, коли труби з теплоносієм розташовуються за певної відстані один від одного (рис. 4).

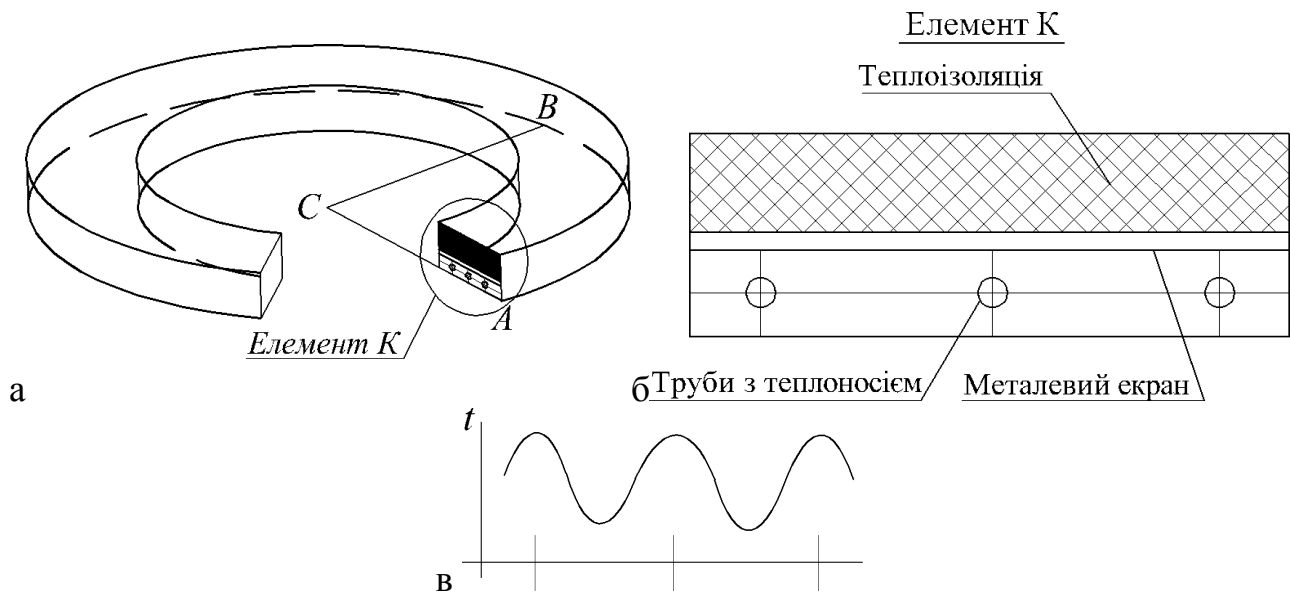


Рис. 4. Приклад кільцевого випромінювача з певним розташуванням труб з теплоносієм:
а – загальний вигляд; б – елемент К; в – розподіл температури

Вибір розрахункового значення радіаційної температури залежить від відстані від обігрівача до голови людини. Якщо ця відстань більше п'яти габаритних розмірів випромінювача, то він вважається точковим, а за розрахунку приймається середня температура випромінювальної площини. І навпаки, якщо ця відстань менше або дорівнює п'яти габаритним розмірам випромінювача, то джерело вважається площинним або поверхневим. У такому випадку слід розраховувати кожен комір з відповідною температурою окремо для впливу кожної з них на голову людини. Також важливим питанням є вплив на розподіл температури поверхнею випромінювача відстані (рис. 5) між центрами труб з теплоносіями стандартних діаметрів [10].

Як видно з рис. 5, чим більша відстань між центрами труб тим більша різниця між температурою точок, відповідних до центрів труб, і між центрами. При відстані між трубами 10 см різниця становить лише 2 К. У цьому випадку можна приймати середнє значення радіаційної температури на всій поверхні випромінювача. В інших випадках різниця становить від 5 до 15 К. У такому випадку треба досліджувати вплив на людину та на елементи огорожувальних поверхонь кожної зони випромінюючої поверхні. Зручніше за все ці дослідження робити з використанням математичного апарату точкового числення.

Спочатку формується поле точок сканування з індексами фт, кількість яких залежить від точності розрахунків. Цей принцип здійснюється за допомогою точкових рівнянь (5).

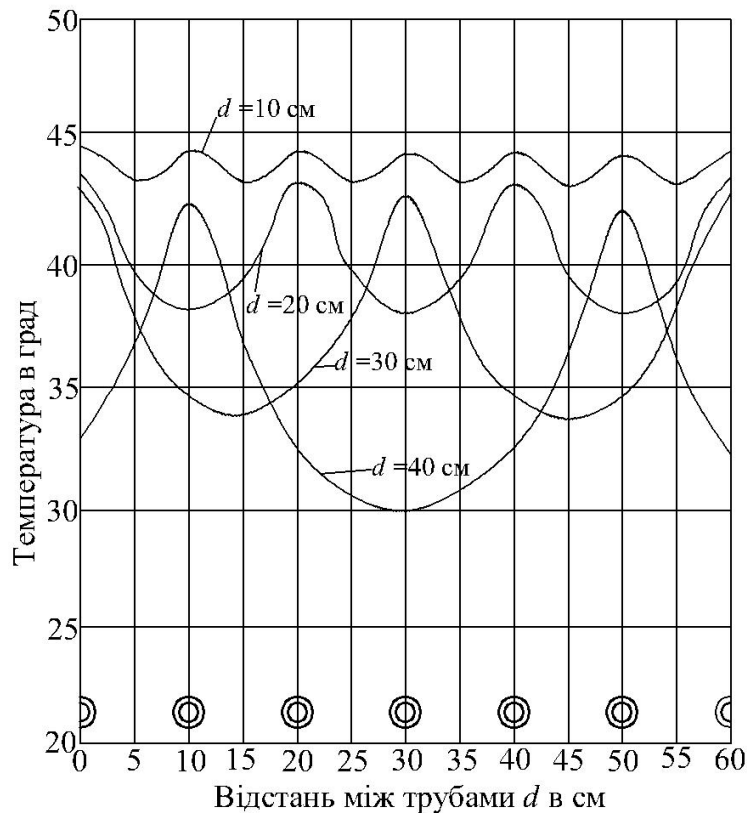


Рис. 5. Залежність розподілу температури по поверхні випромінювача від відстані між трубами з теплоносієм

На поверхні, що випромінює, чотири сусідні точки сканування поєднуються в елементи, які вважаються точковими відносно елементів інших поверхонь або голови людини. Вважається, що температура в межах цього елемента незмінна. Вона задається залежно від типу теплоносія, призначення приміщення, розташування труб тощо. Визначаються центри цих елементів з індексами G_{ev} :

- для триточкового елемента (центр ваги трикутника, у кільцевому випромінювачі немає)

$$\begin{aligned} x_{ev} &= \frac{x_{ij} + x_{(i+1)j} + x_{i(j+1)}}{3}; \\ y_{ev} &= \frac{y_{ij} + y_{(i+1)j} + y_{i(j+1)}}{3}; \\ z_{ev} &= \frac{z_{ij} + z_{(i+1)j} + z_{i(j+1)}}{3}; \end{aligned} \quad (6)$$

- для чотириточкового елемента (середина однієї діагоналі, рис. 6)

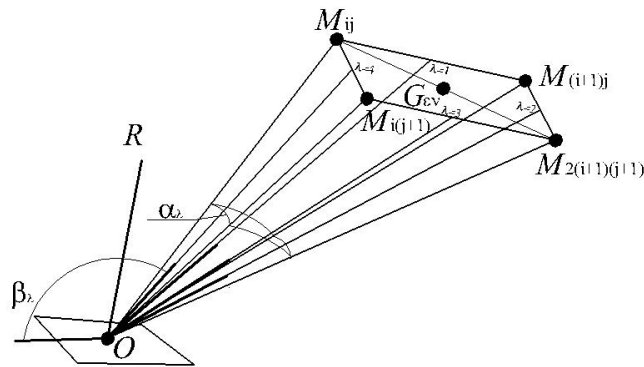


Рис. 6. Схема елементарної піраміди, в якій формується радіаційний потік

$$\begin{aligned} x_{ev} &= \frac{x_{ij} + x_{(i+1)(j+1)}}{3}; \\ y_{ev} &= \frac{y_{ij} + y_{(i+1)(j+1)}}{3}; \\ z_{ev} &= \frac{z_{ij} + z_{(i+1)(j+1)}}{3}. \end{aligned} \quad (7)$$

У межах цього елемента температура поверхні, що випромінює, незмінна.

Радіаційний потік від випромінювача в деякій точці O приміщення формується в межах тілесного кута, обмеженого поверхнями, що проходять через криволінійні грані випромінювача й точку O . Якщо використати отримані за формулами (5) точки сканування, то весь тілесний кут випромінювача можна подати як суму елементарних тілесних кутів з вершиною в точці O , які мають форму елементарні піраміди з гранями, що проходять через чотири (або три) точки сканування, координати яких уже відомі. Назвемо таку піраміду *фасеткою*.

Вершини елементарних пірамід збігаються з центрами елементарних майданчиків O поверхні, що поглинає, а основою є елементарні майданчики поверхні, що випромінює (рис. 6).

У даному випадку кільцевий випромінювач загальною площею F_1 (рис. 4), матеріал якого, кількість теплоти, що випромінюється в простір, і розподіл температури на його поверхні відомі. При розробленні випромінювального приладу цими параметрами, зазвичай, задаються. Потрібно визначити розподіл температури на іншій поверхні F_2 , матеріал і форма якої також відомі. Це завдання часто має місце у багатьох випадках, наприклад, при використанні системи променистого зонального опалення для визначення параметрів, що формують комфортні умови в приміщеннях.

Для визначення розподілу температури на внутрішніх поверхнях приміщення з формули (1) визначаємо температуру, яка створюється на елементарному майданчику поверхні F_2

$$t_{kl}^2 = 100 \sqrt[4]{\left(\frac{273 + t_{ev}^1}{100}\right)^4 - \frac{Q_{ev}^1}{\psi_{12} C_{12} F_{ev}^1}} - 273. \quad (8)$$

Елементарне значення площі поверхні підраховується таким чином

$$F_{ev}^1 = F_1 / n \cdot m, \quad (9)$$

де F_1 – загальна площа поверхні, що випромінює, m^2 ; $n \cdot m$ – загальна кількість елементів.

Всі параметри рівнянь (8) і (9) відомі. Але деяку складність представляє визначення коефіцієнта опромінення. Покажемо, як просто можна визначити з використанням точкового числення [11]. Ця величина визначається за відомою формулою [12]

$$\sigma_{ev}^{ij} = \frac{1}{2} \sum_{\lambda=1}^p \alpha_{\lambda} \cdot \cos \beta_{\lambda} \quad (10)$$

де α_{λ} – кут, під яким видно λ -у сторону основи елементарної піраміди; β_{λ} – кут між зовнішньою поверхнею λ -ої грані піраміди та розрахунковою площиною, в якій знаходиться точка O з координатами x_o, y_o, z_o , м; p – кількість сторін елементарної піраміди.

Ці кути елементарно визначаються за допомогою отриманих вище координат. Для прикладу представлено визначення кута α однієї грані

$$\alpha_{ij}^{(i+1)j} = \arccos \frac{\Delta x_{ij} \Delta x_{(i+1)j} + \Delta y_{ij} \Delta y_{(i+1)j} + \Delta z_{ij} \Delta z_{(i+1)j}}{\sqrt{[(\Delta x_{ij})^2 + (\Delta y_{ij})^2 + (\Delta z_{ij})^2][(\Delta x_{(i+1)j})^2 + (\Delta y_{(i+1)j})^2 + (\Delta z_{(i+1)j})^2]}}; \quad (11)$$

де $\Delta x_{ij} = x_{ij} - x_o$, $\Delta y_{ij} = y_{ij} - y_o$, $\Delta z_{ij} = z_{ij} - z_o$, ...

Для визначення косинуса кута між нормаллю до розрахункової площини і зовнішньою поверхнею площини грані елементарної піраміди $M_{ij}M_{(i+1)j}O$ визначається нормаль до останньої, що характеризується як точка виходу з площини $S_{ij}^{(i+1)j}(x_{ij}^{(i+1)j}, y_{ij}^{(i+1)j}, z_{ij}^{(i+1)j})$. Координатна форма цієї нормалі визначається за такими виразами:

$$\begin{aligned}x_{ij}^{(i+1)j} &= y_{ij} z_{(i+1)j} - y_{(i+1)j} z_{ij} + y_o (z_{ij} - z_{(i+1)j}) + z_o (y_{(i+1)j} - y_{ij}); \\y_{ij}^{(i+1)j} &= z_{ij} x_{(i+1)j} - z_{(i+1)j} x_{ij} + x_o (z_{(i+1)j} - z_{ij}) + z_o (x_{ij} - x_{(i+1)j}); \\z_{ij}^{(i+1)j} &= x_{ij} y_{(i+1)j} - x_{(i+1)j} y_{ij} + x_o (y_{ij} - y_{(i+1)j}) + y_o (x_{(i+1)j} - x_{ij}).\end{aligned}\quad (12)$$

Косинус зовнішнього кута між площиною та нормаллю визначиться у такий спосіб

$$\cos \beta_{ij}^{(i+1)j} = \frac{x_R x_{ij}^{(i+1)j} + y_R y_{ij}^{(i+1)j} + z_R z_{ij}^{(i+1)j}}{\sqrt{(x_{ij}^{(i+1)j})^2 + (y_{ij}^{(i+1)j})^2 + (z_{ij}^{(i+1)j})^2}} \quad (13)$$

де x_R, y_R, z_R — координати точки, що визначають одиничну нормаль OR до розрахункової площини. Вони задаються так, щоб відрізок OR був перпендикулярним до цієї площини з використанням формули (12), а його довжина становила $|OR| = 1$ м.

У результаті величина коефіцієнта опромінення в розгорнутому вигляді буде такою

$$\sigma_{ev}^G = \frac{1}{2} (\alpha_{ij}^{(i+1)j} \cos \beta_{ij}^{(i+1)j} + \alpha_{(i+1)j}^{(i+1)(j+1)} \cos \beta_{(i+1)j}^{(i+1)(j+1)} + \alpha_{(i+1)(j+1)}^{i(j+1)} \cos \beta_{(i+1)(j+1)}^{i(j+1)} + \alpha_{i(j+1)}^{ij} \cos \beta_{i(j+1)}^{ij}). \quad (14)$$

Знайдена температура додається до початкової температури t_{kl}^{20} , яка була до дії випромінювача

$$t_{kl}^{2s} = t_{kl}^2 + t_{kl}^{20} \quad (15)$$

Потім за формулою (1) підраховується нова величина теплового потоку на елементи з точкою O і далі здійснюється перехід до наступного елементу поверхні, що випромінює.

Для поверхонь приміщення, які сприймають випромінення, також формується точкова множина за допомогою точкових рівнянь. Координати точок об'єднуються в елементи з центрами $O, O_1, O_2, \dots$. Ці поверхні можуть мати складну геометричну форму і довільно розташовуватись у просторі. Так поступово перебираються всі елементи і здійснюється розподілення радіаційної температури від усіх випромінювачів і за всіма елементами поверхонь приміщень. Слід наголосити, що, за даною методикою перебираються значення у програмі до завершення, а не складаються системи рівнянь, як у чисельному

методі.

Визначення величини радіаційного теплового потоку від випромінювачів незвичайної форми на внутрішніх поверхнях приміщення здійснено з використанням математичного апарату точкового числення, що дозволяє розраховувати елементи нестандартної форми (випромінювачі та внутрішні поверхні приміщення). Це підвищує точність розрахунків, забезпечує максимальне заощадження енергетичних ресурсів на формування мікроклімату та підвищує рівень енергоефективності будівель.

У результаті проведених досліджень визначено таку послідовність дій:

1. Визначаються розрахункові схеми (моделі) випромінювачів та всіх поверхонь приміщення.
2. Для цих моделей розробляються (підбираються) точкові рівняння.
3. Складається обчислювальний алгоритм розв'язання геометричної задачі та формуються поля точок сканування.
4. Кожні сусідні чотири (або три) точки об'єднуються в елементи (фасетки-піраміди) і визначаються координати центрів їх основ.
5. Для цих елементів визначаються коефіцієнти опромінення з використанням координат точок сканування.
6. Підраховуються радіаційні параметри (радіаційні температура і потік).
7. Розробляється програма розрахунку з урахуванням геометричних і фізичних параметрів.

Таким чином розроблено принципи визначення радіаційних температури та потоку від випромінювачів нестандартної форми в приміщеннях складної геометричної форми з використанням точкового числення. Воно найбільш ефективно при врахуванні багаторазових відбитків від внутрішніх поверхонь приміщення. Але цей процес буде досліджено в наступних роботах.

References

1. Jakubiec J.A., Reinhart C.F. DIVA 2.0: "Integrating daylight and thermal simulations using Rhinoceros 3d, DaySim and EnergyPlus". Proceedings of Building Simulation 2011: 12th Conference of International Building Performance Simulation Association, Sydney, 14-16 November.
2. Baliuba Y.H. Naidysh V.M. "Tochechnoe ischislenie". MHPU, 2015.
3. Yehorchenkov V.O. "Modelirovanie parametrov izlucheniia mezhdru poverkhnostiami proizvolnogo polozheniia s ispolzovaniem tochechnogo ischysleniia" Ventyliatsiia, osviltennia ta teplohazopostachannia. Iss. 26, 2018, pp. 50-54.
4. Bozhenko M.F. "Systemy opalennia, ventyliatsii i kondytsiiuvannia povitria budivel". KPI im. Ihoria Sikorskoho, 2019.

5. Ylinskii V.M. "Stroitelnaia teplofizika". Vysshaia shkola, 1974.
6. Fokin K.F. "Stroitelnaia teplotekhnika ohrazhdaiushchikh chastei zdanii". Iss. 4, Stroiizdat, 1973.
7. Sharkauskas Y.Y. "K raschetu sistem luchistogo otopeniia pomeshchenii". Nauchnye trudy MISI. Iss. 52, 1967.
8. Yehorchenkov V., Buravchenko V., Plosky V.O. "Solar Gain in the Buildings of Unconventional Shape". *2023 IEEE 3rd KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek)*, pp. 502-507, DOI: 10.1109/KhPIWeek61412.2023.10312876.
9. Bankhidi L., V.M. Beliaeva (transl.). "Teplovoi mikroklimat pomeshchenii: Raschet komfortnykh parametrov po teplooshchushcheniiam cheloveka". Stroiizdat, 1981.
10. Missenard F.A., Protopopova A.P (transl.). "Luchistoe otopenie i okhlazhdenie". Stroiizdat, 1961
11. Yehorchenkov V., Farenjuk H. "Formuvannia komfortnoho svitlo-radiatsiinoho seredovyscha v budivliakh z nestandartnymy ohorodzhuvalnymy konstruktsiiamy". DP NDIBK, 2021
12. Wiener Ch. "Lehrbuch der darstellenden Geometrie", Vol. 1, B. G. Teubner, 1884.

UDC 628.8:004.925.8

Professor **Volodymyr Yehorchenkov**
egval@ukr.net, ORCID: 0000-0003-2910-0331,
Kyiv National University
of Construction and Architecture

PRINCIPLES OF FORMING A THERMO-RADIATIVE ENVIRONMENT IN PREMISES WITH CIRCULAR GENERAL-PURPOSE RADIATORS

Abstract. *One of the key factors in forming the indoor microclimate is the radiative properties of both the emitters and the interior surfaces of the room. When creating a thermo-radiative environment indoors, the exchange of radiation fluxes between the emitters and the surfaces affects the radiation temperature and the human condition. For standard and uncomplicated scenarios, this problem is solved easily. However, in complex situations – such as unusual premise geometries and emitters – certain difficulties arise. This work is dedicated to developing principles for forming a thermo-radiative environment in rooms with complex geometries and with circular or ring-shaped general-purpose radiators using an advanced mathematical tool – point calculus. Based on the fundamental point equation of a circle, a point-based equation for a circle and a ring has been developed. This equation is used to create a scanning point field and to visualize the resulting*

equation in the Maple environment. For each group of three or four neighbouring scanning points, the radiation parameters are determined: irradiation coefficients, radiation temperature, and radiation flux. The total of these parameters from all elements at the calculation points forms their distribution throughout the premise. The developed principles using point calculus allow for increased calculation accuracy and reduced computation time by eliminating the need to compile bulky systems of equations that are typically solved by numerical methods. As a result of the research, a sequence of actions was determined for simulation of the thermal radiation processes. Future research will focus on developing a software package for creating comfortable thermo-radiative conditions in premises equipped with surface radiators of various shapes and spatial arrangements.

Keywords: thermo-radiative environment, ring radiators, irradiation coefficient, point calculus, radiation temperature.