

Формування світлового середовища в будівлях складної геометрії

Володимир Єгорченков, професор, доктор технічних наук, професор¹ (ORCID: 0000-0003-2910-0331),
Віталій Запривода, доцент, кандидат технічних наук, доцент¹ (ORCID: 0000-0002-9790-8706)

¹ Київський національний університет будівництва і архітектури, м.Київ, Україна

АНОТАЦІЯ

Використання енергозберігаючих технологій особливо в галузі архітектури та будівництва будівель призводить до значного скорочення використання вуглеводневого палива, оскільки третина всієї енергії в державах з помірним кліматом використовується для опалення будівель. Системи освітлення в будівлях витрачають до 15-20 % енергоресурсів по відношенню до всіх витрат енергії на будівлю. Тому пошук шляхів, що знижують енергоспоживання при формуванні світлового середовища у будинках різного типу, завжди є актуальною проблемою. В роботі представлено метод формування природного і штучного світлового середовища в будівлях складної геометрії з нетрадиційними вікнами і світильниками з використанням ефективного математичного апарату точкового числення.

Ключові слова: будівлі складної геометрії, світлове середовище, системи освітлення, точкове числення, точкові рівняння.

1. ВСТУП

Природне освітлення та його розподіл по приміщенню залежить від розмірів та форми світлопрорізів, орієнтації по сторонах горизонту та їх розташування у приміщенні. Значну роль на рівень і розподіл світлових потоків грає їх відбиття від внутрішніх поверхонь огорож приміщення, яке залежить від форми, розмірів, розташування та характеру відбиття від внутрішніх поверхонь.

При проектуванні простору крім архітектурно-художніх і композиційних рішень формування середовища, потрібно знати, які параметри створюються при цих рішеннях для того, щоб не порушувати біологічні та фізіологічні потреби людини, а також не знижувати енергоефективність будівлі.

В даний час існує багато комп'ютерних програм для розрахунку природного освітлення: Radiance (Greg Ward, LBNL, США) [1], Velux Daylight Visualizer (Velux, Данія) [2], та ін. Вони добре зарекомендували себе за звичайних умов: прямокутні світлопрорізи, такої ж форми приміщення, але для нестандартних рішень вони не підходять.

Метою даної роботи є розробка науково-технічних положень формування світлового середовища у нетрадиційних будівлях, принципів визначення світлових параметрів та їх розподілу за об'ємами приміщень складної геометрії і нестандартними світлопрорізами з використанням ефективного математичного апарату точкового числення.

2. ФОРМАТ

Освітленість у розрахунковій точці D_{ij} приміщення, яка відіграє значну роль в енергоспоживанні, складається із денної освітленості від неба скрізь світлопрорізи і відбитої освітленості від внутрішніх поверхонь приміщення.

У будівлях зі складною геометрією і нестандартними світлопрорізами однозначно передбачити величини параметрів та його розподіл за об'ємом приміщення практично неможливо. У цьому випадку необхідно використовувати комп'ютерні технології. У роботі пропонується для досягнення поставленої мети

використовувати ефективний математичний апарат точкового числення.

2.1. Переваги точкового числення.

Основою точкового числення є проєкціювання геометричних об'єктів не на проєкційні площини, як у звичайній геометрії, а безпосередньо на координатні осі, оскільки зрештою саме вони нам потрібні для подальших обчислень. У точковому численні ми отримуємо їх відразу, що спрощує розробку програми та скорочує час роботи комп'ютера.

В існуючих методах при моделюванні розподілу світлових потоків між об'єктами і визначенні параметрів поля весь простір, що моделюється, розбивають на елементарні майданчики і складають систему рівнянь з їх кількістю, що дорівнює кількості майданчиків. Ця система рівнянь вирішується чисельними методами.

При використанні точкового числення складається одне або кілька рівнянь, що моделюють простір, і послідовно розраховуються всі необхідні складові. Кількість рівнянь залежить не від кількості елементарних елементів, а кількості типів геометричних об'єктів. Наприклад, у моделюванні беруть участь один циліндричний об'єкт, три плоскі чотирикутні і два плоскі трикутні. У цьому випадку складаються лише три рівняння: для циліндричного, чотирикутного та трикутного об'єктів.

2.2. Точкові рівняння. Формування точкової множини

Основою точкового числення, за яким формуються точкові множини, є точкові рівняння, що визначаються відношеннями відрізків на прямій, площ на площині та об'ємів у просторі. Ці відносини аналогічні та відрізняються кількістю елементів, що входять до системи.

Точкові рівняння розробляються без особливих складнощів, тобто їх можна вивести і самому. Але у відповідній літературі є вже готові рівняння, які можна використати для тих чи інших об'єктів [3]. Наприклад, узагальнене точкове рівняння прямолінійного трикутника має такий вигляд

$$M_{ij} = A(1-t)(1-\tau) + Bt(1-\tau) + Ct, \quad (1)$$

де M_{ij} – поточна точка сканування;

A, B, C – вершини трикутника (базові точки);
 t і τ – параметри, які визначають переміщення точки M_{ij} у двох напрямках (змінюються від 0 до 1 залежно від обраної кількості точок сканування m та n відповідно);
 i, j – порядкові номери точок сканування у відповідних напрямках.

Перехід від точкової форми рівняння до обчислювальної (координатної) здійснюється просто: достатньо замість базових точок геометричного об'єкта підставити їх координати, які завжди задаються у проєктах (ще одна перевага точкового числення). Наприклад, для довільного трикутника координати точки M_{ij} , рівняння (1), виглядають так

$$\begin{aligned} x_{ij} &= x_A(1-t)(1-\tau) + x_B t(1-\tau) + x_C \tau; \\ y_{ij} &= y_A(1-t)(1-\tau) + y_B t(1-\tau) + y_C \tau; \\ z_{ij} &= z_A(1-t)(1-\tau) + z_B t(1-\tau) + z_C \tau. \end{aligned} \quad (2)$$

Розрахункова схема і реалізація точкової множини в середовищі MathCad представлено на рис.1

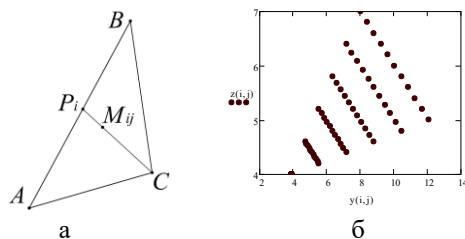


Рисунок 1. Розрахункова схема трикутника (а) і візуалізація точкової множин

2.3. Формування природної освітленості у приміщенні

Величина освітленості від ділянки небозводу через світлопроріз у якусь точку приміщення залежить від величини тілесного кута світлопрорізу, який можна представити як суму елементарних тілесних кутів. Кожен елементарний тілесний кут, має вигляд піраміди з вершиною в даній точці приміщення, а її грані проходять через чотири (або три) сусідні точки сканування світлопрорізу (рис. 2). Вважається, що в межах основи елементарної піраміди яскравість небосхилу постійна.

Освітленість від ділянки небосхилу, ΔE_G , лк, що формується в межах елементарного тілесного кута світлопрорізу в дану точку приміщення, розташовану на площині, визначиться так

$$\Delta E_G = L_z \cdot g_{ev} \cdot \sigma_{ev}^{ij} \cdot \cos \alpha_{ev}, \quad (3)$$

де L_z – яскравість неба в зеніті [4], $\text{кд} \cdot \text{м}^{-2}$;

g_{ev} – коефіцієнт відносної яскравості елементарної ділянки небосхилу у напрямку від даної точки D_{ij} до центру елементарної ділянки світлопрорізу G_{ev} [5];

α_{ev} – кут між нормаллю n до ділянки неба та віссю тілесного кута елементарної піраміди;

ε, v – кількість елементарних пірамід у двох напрямках;

i, j – порядкові номери точок сканування у двох напрямках;

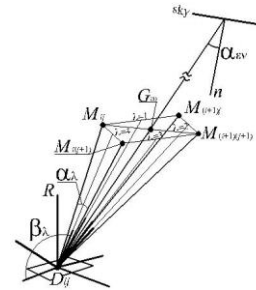


Рисунок 2. Схема використання точок M_{ij} сканування при розрахунку параметрів світлового середовища

σ_{ev}^{ij} – величина проєкції вектора елементарного тілесного кута, cp , елемента світлопрорізу на нормаль до площини, в якій знаходиться дана точка D_{ij} . Ця величина визначається за таким відомим виразом

$$\sigma_{ev}^{ij} = \frac{1}{2} \sum_{\lambda=1}^p \alpha_{\lambda} \cdot \cos \beta_{\lambda} \quad (4)$$

Кутові параметри, що входять до цієї формули представлені на рис. 2. Вони елементарно визначаються за допомогою отриманих вище координат.

Сумарна освітленість від одного світлопрорізу буде

$$E_{day}^1 = \sum \Delta E_G = L_z \sum_{\varepsilon=1}^m \sum_{v=1}^n g_{ev} \cdot \sigma_{ev}^{ij} \cdot \cos \alpha_{ev}, \quad (5)$$

а загальна освітленість від всіх вікон визначається так

$$E_{day} = \sum_1^N E_{day}^N, \quad (6)$$

де N – кількість вікон.

3. ВИСНОВКИ

Таким чином розроблені науково-технічні положення формування світлового середовища у нетрадиційних будівлях з використанням точкового числення. Використання цих положень дасть можливість оптимізувати роботу програмних продуктів та забезпечити високу ефективність споживання енергоресурсів за рахунок раціонального розподілу світлових потоків з урахуванням розташування і форми світлопрорізів і огорожувальних конструкцій приміщень.

Список літератури

- [1] Radiance (Greg Ward, LBNL, США) <https://radsite.lbl.gov/radiance/>
- [2] Velux Daylight Visualizer (Velux, Данія) <https://www.velux.ua/uk-ua/our-company>
- [3] Балюба И.Г., Найдыш В.М. Точечное исчисление: Учебное пособие. Мелитополь: МГПУ им. Б. Хмельницького, 2015. 234 с.
- [4] S. Darula, R. Kittler. Standard sky calculations for daylighting design and energy performance purposes. Fzyka budowl w teorii i praktyce. Tom IV, 2009. – S. 23 – 28.
- [5]. ISO 15469:2004 Spatial distribution of daylight. CIE standard general sky.