

## АНАЛІЗ АНАЛІТИЧНИХ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ ЕФЕКТИВНОСТІ ПОРОЖНИСТИХ ТРУБЧАСТИХ СВІТЛОВОДІВ

*Київський національний університет будівництва і архітектури*

**Стрімкий розвиток та дослідження систем інтегрального освітлення призвели до наявності низки методів моделювання створюваного ними світлового поля у приміщеннях будівель. У статті аналізуються підходи та виявляються характерні відмінності цих моделей.**

**Постановка проблеми.** Системи інтегрального освітлення будівель є прогресивним засобом як природного так і штучного освітлення приміщень [1, стр.856]. Процес розповсюдження світла базується на ефекті дзеркального відбиття від внутрішньої поверхні конструкції. Такий спосіб освітлення приміщень підвищує загальну енергоефективність будівель за рахунок:

- зменшення витрат електроенергії на освітлення приміщень із глибинним розташуванням або підземних;
- оптимального використання із світлорегуляторами;
- зменшенні загальної площі отворів у зовнішніх огорожувальних конструкціях;
- мінімізації передачі інфрачервоного випромінювання в приміщення;
- використання геліоаккумуляторів задля живлення структурних частин системи [2].

Паралельні теоретичні та практичні вишукування, поширення експериментальних досліджень призвели до великої кількості методів моделювання освітленості від порожнистих трубчастих світловодів.

**АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПУБЛІКАЦІЙ.** Наприкінці ХХ сторіччя вивчення, моделювання та впровадження новітніх систем суміщеного освітлення було розпочато у багатьох країнах – США, Австралії, Росії, Англії, Італії, Швейцарії, Німеччині [1, стр.856]. В останні роки особливого розвитку набули методи із використанням аналітичної геометрії у Словаччині [3,4], Росії та Україні [5,6,7].

**Постановка задачі.** Мета роботи – проаналізувати існуючі аналітичні методи розрахунку освітленості від сучасних систем інтегрального освітлення.

**Аналітичні методи розрахунку ефективності світловодів та характеристик світлового поля від них**

### **1. Моделювання освітленості із використанням алгоритму зворотного трасування променів**

Даний метод, запропонований у 2008 році словацькими вченими М.Косіфай, С.Дарула та Р.Кітлером, базується на використанні вищезгаданого методу [3,4]. Завдяки його застосуванню можливо розрахувати освітленість у будь-якій РТ в приміщенні від полого трубчастого світловоду із будь-якою геометричною структурою, оптичними діаметром та довжиною. Метод дає

достовірні результати за умов 15 стандартизованих типів небосхилів прийнятих CIE та ISO для будь-якого територіального місцезнаходження системи освітлення. Загальне рівняння визначення освітленості від світловоду із плоским концентратором та дифузором, функція проходження світла крізь який підпорядковується закону Ламберта, приймає вигляд:

$$E = \frac{\tau_d}{\pi} \int_0^R r dr \int_0^{2\pi} \frac{\cos^2 \Theta}{R_{d\sigma}^2(\Theta, \Phi)} d\phi_0 \times \int_0^{\pi/2} \cos \vartheta \sin \vartheta d\vartheta \times \int_0^{2\pi} j_T(\vartheta, \phi, \phi_0, r) p_D(\vartheta, \phi, \Theta, \Phi) d\phi \quad (1.29)$$

Де  $j_T(\vartheta, \phi, \phi_0, r)$  - функція, що відображає процес проходження загального світлового потоку крізь світловод та є сумою функцій розповсюдження дифузного та прямого світла;

$p_D(\vartheta, \phi, \Theta, \Phi)$  - функція, що відображає процес розповсюдження сонячної енергії крізь дифузор.

Для прямолінійного світловоду функція дифузного розповсюдження світлового потоку приймає вигляд:

$$j(\vartheta, \phi, \phi_0, r) = L(\zeta, \alpha - \alpha_s) p^N \tau_e, \quad (1.30)$$

де  $L(\zeta, \alpha - \alpha_s)$  - функція яскравості небосхилу, кд/м<sup>2</sup>;

Для проходження прямої компоненти сонячного світла набуває виразу:

$$j_c(\vartheta, \phi, \phi_0, r) = \frac{P_v}{\cos \zeta_s} \times \frac{p^{N_{sky}(\phi)} \tau_e}{2\pi(1 - \cos \Re_s)}, \quad (1.31)$$

де  $\frac{P_v}{\cos \zeta_s}$  - зовнішня яскравість площини нормальної до падаючого променю

$\Re_s$  - кутовий радіус сонячного диску відносно РТ.

Для знаходження траєкторії руху одиничного сонячного променю та кількості внутрішніх відбиттів був застосований метод зворотного трасування променів від елементарної площини дифузору до елементарної площини куполу. Це дає змогу обрахувати місцезнаходження точки перетину променя із внутрішньою поверхнею світловоду та вихідним отвором у полярній та картезіанській системах координат та описати функцію розповсюдження загального світлового потоку крізь світловод.

## 2. Моделювання освітленості від світлових шахт із дифузним світловідбиттям на основі теорії світлового поля.

Метод запропонований у 2010 році та впроваджує геометричні методи розрахунку інтегральних характеристик світлового поля (ІХСП) від світлових шахт різних геометричних форм [5, стр.84]. Метод базується на теорії світлового поля, що досліджувалась в роботах низки вчених (Болдирєв, Гершун, Гуревич, Гуторов, Мешкова, Сапожников), та дозволяє розрахувати як

ефективність світловодів, так і значення світлового поля. Розглянуті світловоди не враховують наявності дифузора, який змінює характер поширення світлового потоку, тому простір під світловодами поділяється на три зони освітлення робочої поверхні від світловоду [5,стр.27]. Відповідно до положення розрахункових точок у цих зонах формули розрахунку освітленості приймають наступний вигляд. Розглянемо їх на прикладі циліндричного світловоду.

Для I-ї області:

$$E = -\frac{2L_z}{3} \int_0^r \int_0^\pi \frac{r_Q (z_0 - h)^2}{l^4} \left( 1 + 2 \frac{h - z_0}{l} \right) dr_Q d\theta + \frac{\rho r}{\pi} \int_0^h \int_{\varphi_1}^{2\pi} \frac{(E^\Pi + E_k^B)(z_0 - z)(r - x_0 \cos \varphi_1) d\varphi_1 dz}{(x_0^2 - 2x_0 r \cos \varphi_1 + r^2 + (z_0 - z)^2)^2}, \quad (1.32)$$

Для II-ї та III-ї області:

$$E = -\frac{2L_z}{3} \int_0^r \int_0^\pi \frac{r_Q (z_0 - h)^2}{l^4} \left( 1 + 2 \frac{h - z_0}{l} \right) dr_Q d\theta + \frac{\rho r}{\pi} \int_0^{z_M} \int_{\omega_1}^{\omega_2} \frac{(E^\Pi + E_k^B)(z_0 - z)(r - x_0 \cos \varphi_1) d\varphi_1 dz}{(x_0^2 - 2x_0 r \cos \varphi_1 + r^2 + (z_0 - z)^2)^2}, \quad (1.33)$$

де  $L_z$  – яскравість небосводу в зеніті, кд/м<sup>2</sup>;

$E^\Pi$  – освітленість прямим світлом в РТ твірної, Лк;

$E_k^B$  – приріст освітленості в РТ твірної від  $k$  відбивань світла, Лк.

Розроблені Т.М. Кундратом номограми впроваджують розрахунок ІХСП від довільного числа світловодів, можливість побудови зон освітленості під ними в приміщенні та забезпечують обґрунтованість при виборі оптимальної конфігурації систем [5,стр.54-55, 74-75].

Метод із використанням теорії світлового поля отримав розвиток у працях Ю.В. Гарбарук [7], в яких розроблено математичну модель перенесення світлового потоку крізь світловоди із дзеркальним світловідбиттям. Використання матеріалів внутрішньої поверхні із високим коефіцієнтом направленої відбиття випромінювання є пріоритетним напрямом у розробці систем інтегрального освітлення.

**Висновки та перспективи подальших досліджень.** Наведені моделі є основними методами розрахунку задач будівельної світлотехніки щодо розрахунку ефективності порожніх трубчастих світловодів та характеристик світлового поля, що створюється при їх використанні.

Метод розрахунку освітленості HOLIGRIM [4] із використання алгоритму зворотного трасування променів є найбільш повним та точним з огляду на врахування в ньому усіх стандартизованих умов небосхилу, точного розрахунку

проходження променів крізь світловоди із кутовими адаптерами та наявності куполу і дифузору при визначенні характеристики світлового поля.

Метод моделювання світлового поля, запропонований Ю.В. Гарбарук, Т.М. Кундратом та Є.В. Пугачовим, цілком достовірний за умов хмарного небосхилу та як дифузного, так і дзеркально відбиваючого матеріалу внутрішньої поверхні світловоду. Але не були враховані впливи куполу і дифузору на світловий потік та зміну характеру проходження світла. В цілому, цей підхід точно відображає геометричний та фізичний процес перенесення світлового потоку системи суміщеного освітлення, що, в першу чергу, залежить саме від геометричної конфігурації світловоду.

Реальні моделі світловодів мають куполи різної геометрії, матеріал нанесений на внутрішню поверхню відбиває світло за законами дзеркального або дзеркально-дифузного світловідбиття із коефіцієнтами  $\rho$  від 0,95 до 0,99 в залежності від спектрального складу потоку, а дифузори прямують до характеристик рівнояскравих випромінювачів. Подальше вивчення процесу дзеркального багаторазового світловідбиття, врахування дійсних характеристик падаючого світлового потоку, будови світловодів та процесу переносу світлової енергії, використовуючи методи аналітичної геометрії для моделювання світлового поля від інтегральних систем освітлення, є найбільш перспективним напрямом подальшого дослідження.

## Література

1. *Айзенберг Ю.Б.* Справочная книга по светотехнике / Под ред. Ю.Б. Айзенберга. 3-е изд. перераб. и доп. — М.: Знак, 2006. — 972с: ил.
2. *Радомцев Д.О.* Підвищення енергоефективності будівель засобами сучасних систем інтегрального освітлення / Д.О. Радомцев // Будівельні конструкції. — 2013. №.77 — с. 274-278.
3. *Kocifaj M.* Theoretical solution for light transmission of a bended hollow light guide / M. Kocifaj, F. Kundracik, S. Darula, R. Kittler // Solar Energy. — 2010. Vol.84 — pp. 1422-1432.
4. *Kocifaj M.* HOLIGILM – Hollow light guide interior illumination method – An analytical calculation approach for cylindrical light-tubes / M. Kocifaj, F. S. Darula, R. Kittler // Solar Energy. — 2008. Vol.82 — pp. 247-259.
5. *Кундрат Т.М.* Геометричне моделювання освітленості від світлових шахт із дифузним відбиванням світла: дис.. ... кандидата технічних наук: 05.01.01 / Кундрат Тарас Миколайович. — Рівне, 2010. — 198с.
6. *Гарбарук Ю.В.* Порівняння коефіцієнта корисної дії дзеркально відбиваючих світлових шахт у вигляді паралелепіпеда залежно від їх геометричних параметрів / Ю.В. Гарбарук, Є.В. Пугачов // Будівельні конструкції. — 2013. №.77 — с. 355-358.
7. *Пугачов Є.В.* Дискретне геометричне моделювання скалярних і векторних полів стосовно будівельної світлотехніки: дис.. ... доктора технічних наук: 05.01.01 / Пугачов Євген Валентинович. — Київ, 2001. — 353с.

### **Аннотация**

Стремительное развитие и исследования систем интегрального освещения привело к наличию методов моделирования создаваемого ими светового поля в помещениях зданий. В статье анализируются подходы, определяются характерные отличия этих моделей.

### **Annotation**

Impetuous world-wide development and research of actual integrated daylight systems has brought to existence of several calculation and modeling produced light field methods. Analysis of approaches, specific distinctions and principal usage conditions set in this article.