

МОДЕЛЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЦИЛІНДРИЧНИХ СВІТЛОВИХ ШАХТ З ДИФУЗНИМ ВІДБИВАННЯМ СВІТЛА

Постановка проблеми. Уточнена оцінка ефективності світлових шахт (СШ) дозволить раціонально підбирати їх тип, число та взаємне розташування, забезпечить відповідність світлового середовища призначенню приміщення, що зменшить зорову втомлюваність і виробничий травматизм.

Аналіз досліджень та публікацій. Існуючим способам розрахунку освітленості від циліндричних СШ та оцінці їх світлопропускання [1, 2, 4] притаманна певна спрощеність, що пояснюється намаганням отримати прості формули, використання яких не вимагає комп'ютерної реалізації. Така спрощеність призводить до похибок. В [5] запропоновано метод розрахунку освітленості від циліндричних СШ, який в даній роботі адаптується для визначення ефективності (світлопропускання) СШ.

Мета роботи – розробити метод автоматизованої оцінки ефективності циліндричних СШ та порівняти його з існуючими методами.

Основна частина. Нехай циліндрична СШ має радіус R і висоту H . Її ефективність будемо визначати як відношення вихідного та вхідного світлових потоків. Оскільки освітленість точок верхньої основи СШ дорівнює $E = (7/9)\pi L_z$ [5], то вхідний світловий потік визначимо інтегруванням:

$$F_{vh} = \frac{7}{9} \pi L_z \int_0^{2\pi} \int_0^R p dp d\phi_1 = \frac{7}{9} \pi^2 R^2 L_z, \quad (1)$$

де p – полярна відстань (вимірюється від центру верхньої основи СШ), ϕ_1 – кутовий параметр, L_z – яскравість небосхилу в zenіті.

Для визначення вихідного світлового потоку необхідно розрахувати освітленість довільної точки на нижній основі СШ. Проте осьова симетрія СШ і розподілу яскравості хмарного за Муном-Спенсер неба дозволяють розраховувати освітленість тільки вздовж радіуса нижньої основи СШ. Освітленість точок нижньої основи СШ складається з прямої освітленості (від небосхилу) та відбитої від внутрішньої поверхні СШ.

© Є.В. Пугачов, Т.М. Кундрат, 2006

Для розрахунку останньої визначимо спочатку пряму освітленість внутрішньої поверхні СШ вздовж твірної, яку зручно взяти у площині $y = 0$. Розрахунок прямої освітленості точок на твірній, чи на нижній основі СШ потребує опису границь області небесної півсфери, яка освітлює задану розрахункову точку (РТ) з координатами (x_0, y_0, z_0) . Області інтегрування (рис. 1, 2) висікаються на небесній півсфері одиничного радіусу (φ – кут між проекцією радіус-вектора точки півсфери на площину $z = z_0$ та віссю Ox , β – кут між згадуваним радіус-вектором і віссю Oz), що задається параметричними рівняннями

$$x_s = \sin \beta \cos \varphi + x_0, y_s = \sin \beta \sin \varphi, z_s = \cos \beta + z_0, \varphi \in [0, 2\pi], \beta \in [0, \pi/2], \quad (2)$$

конусом другого порядку.

Кутові параметри циліндра СШ φ і небесної півсфери φ_1 пов'язані залежностями (рис. 3):

$$\varphi_1 = \varphi - \arcsin\left(\frac{x_0 \sin \varphi}{r}\right), \varphi_1 = 2\varphi - \pi, \quad (3)$$

що одержані за теоремою синусів для розрахункових точок $x_0 < r$ та $x_0 = r$ відповідно. Тоді границі областей інтегрування по небесній півсфері опишуться рівнянням:

$$\beta = \arcsin(r'/Gp), \quad (4)$$

де при $x_0 < r$ $r' = \sqrt{(r \cos \varphi_1 - x_0)^2 + (r \sin \varphi_1)^2}$, $Gp = \sqrt{r'^2 + H^2}$, а при $x_0 = r$ $r' = r\sqrt{(\cos \varphi_1 - 1)^2 + (\sin \varphi_1)^2}$, $Gp = \sqrt{r'^2 + (H - z_0)^2}$.

Кутові параметри циліндра СШ φ і небесної півсфери φ_1 пов'язані залежностями (рис. 3):

$$\varphi_1 = \varphi - \arcsin\left(\frac{x_0 \sin \varphi}{r}\right), \varphi_1 = 2\varphi - \pi, \quad (5)$$

що одержані за теоремою синусів для розрахункових точок $x_0 < r$ та $x_0 = r$ відповідно. Тоді границі областей інтегрування по небесній півсфері опишуться рівнянням:

$$\beta = \arcsin(r'/Gp), \quad (6)$$

де при $x_0 < r$ $r' = \sqrt{(r \cos \varphi_1 - x_0)^2 + (r \sin \varphi_1)^2}$, $Gp = \sqrt{r'^2 + H^2}$, а при $x_0 = r$ $r' = r\sqrt{(\cos \varphi_1 - 1)^2 + (\sin \varphi_1)^2}$, $Gp = \sqrt{r'^2 + (H - z_0)^2}$.

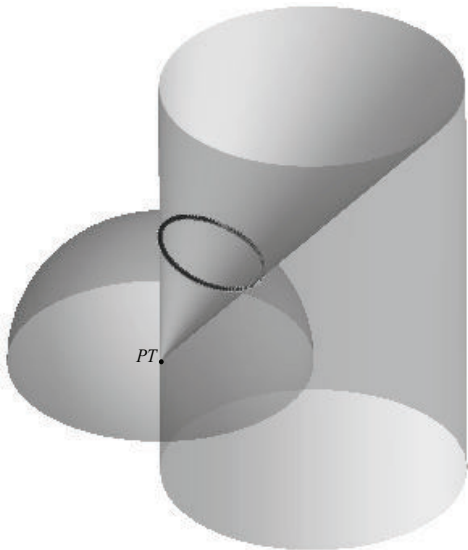


Рисунок 1

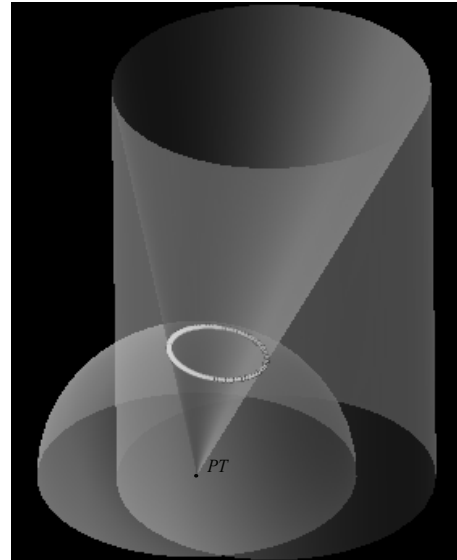
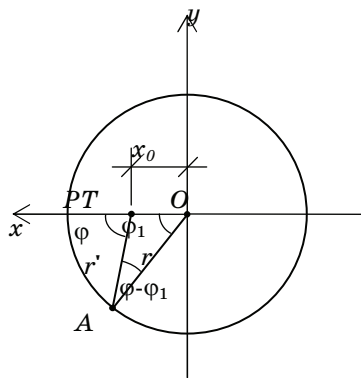


Рисунок 2

а)



б)

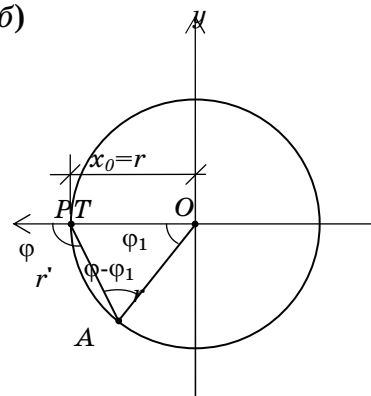


Рисунок 3

А координати світлового вектора в РТ на основі та твірній циліндра від зазначених областей небесної півсфери визначаються за формулами [5]:

$$x' = -\frac{1}{3} L_z \int_0^{\varphi} \int_0^{\beta} (\sin \beta)^2 \cos \varphi (1 + 2 \cos \beta) d\beta d\varphi, \quad y' = 0; \quad (7)$$

$$z' = -\frac{1}{3} L_z \int_0^{\varphi} \int_0^{\beta} \cos \beta \sin \beta (1 + 2 \cos \beta) d\beta d\varphi,$$

де $\varphi \in [0, 2\pi]$ для РТ на основі, $\varphi \in [\pi/2, 3\pi/2]$ для РТ на твірній, а кут β визначається з (4) для відповідних випадків розташування РТ.

Багаторазове відбивання світла всередині СШ змодельоване послідовним відбиванням. На рис. 4 показано залежності прямої освітленості точок твірної від їх висоти на СШ - 3, освітленості відбитим після k відбивань світлом - 2 та сумарної (прямої і відбитої) освітленості - 1 для таких умов $R=1$, $H=3$, $\rho=0,8$, $k=8$, $L_z=1$.

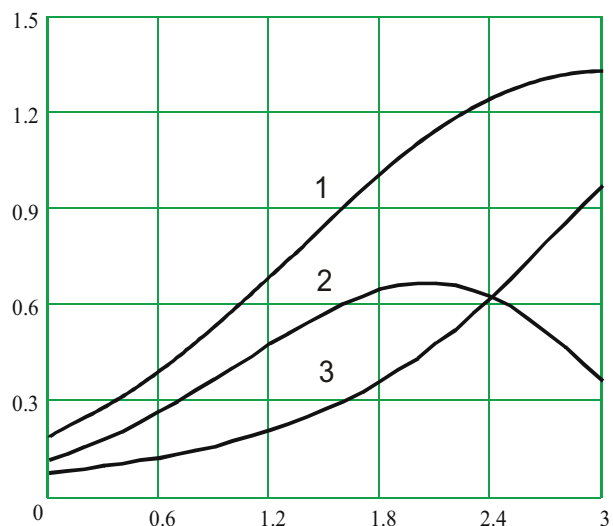


Рисунок 4

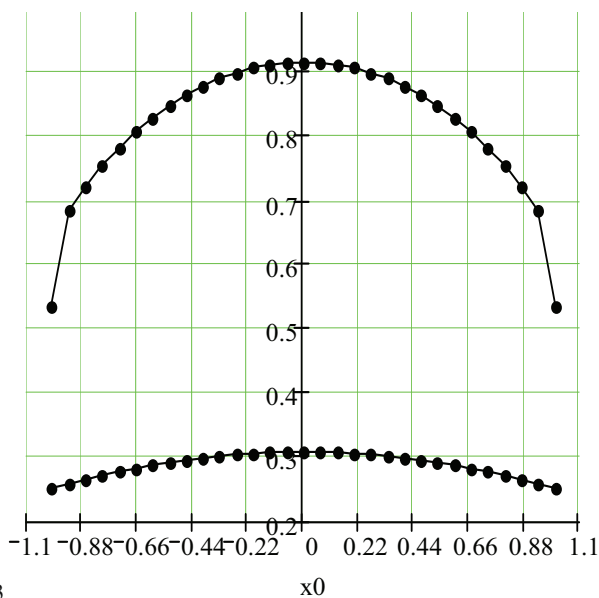


Рисунок 5

Сумарна освітленість твірної була підґрунтям для розрахунку освітленості точок на її основі світлом, відбитим від внутрішньої поверхні СШ. Освітленість РТ на нижній основі циліндра СШ від прямого та відбитого світла E дорівнює їх сумі. На рис. 5 показано графіки сумарної освітленості E від прямого та відбитого світла на нижній основі СШ (верхній графік) та прямої освітленості (нижній графік). Тоді світловий потік на виході з СШ визначимо, інтегруючи по поверхні її нижньої основи:

$$E_{vuh} = L_z \int_0^{2\pi} \int_0^R E_p dp d\phi_1. \quad (8)$$

Ефективність СШ K_p у відсотках визначиться відношенням:

$$K_p = \frac{F_{vh}}{F_{vuh}} 100\%. \quad (9)$$

На рис. 6 показано залежності ефективності СШ від кількості відбивань світла для різних значень коефіцієнта світловідбивання (від 0,1 до 0,9). З рисунку видно, що для малих коефіцієнтів світловідбивання (до 0,6) ефективність СШ несуттєво залежить від кількості відбивань, і практично достатньо 5-6 відбивань, а для великих коефіцієнтів світловідбивання (більше 0,6) необхідно для відтворення реальної картини 9-10 відбивань світла.

На рис. 7 показано залежності світлопропускання циліндричних СШ від відношення R/H (індекс СШ) при $\rho = 0,88$ за даними [3] – 1, [4] – 3 та за результатом розрахунку авторів – 2 ($k = 8$). Графік 3 значно відхиляється від інших двох графіків, що пояснюється надмірними спрощеннями, прийнятими в [4]. Графік 2, починаючи приблизно з індексу СШ 0,7, практично збігається з графіком 1, що отриманий експериментально. Тобто збігається для світлопрорізів, що є вже швидше зенітними ліхтарями круглої форми, для яких відбите стінками світло не відіграє таку значну

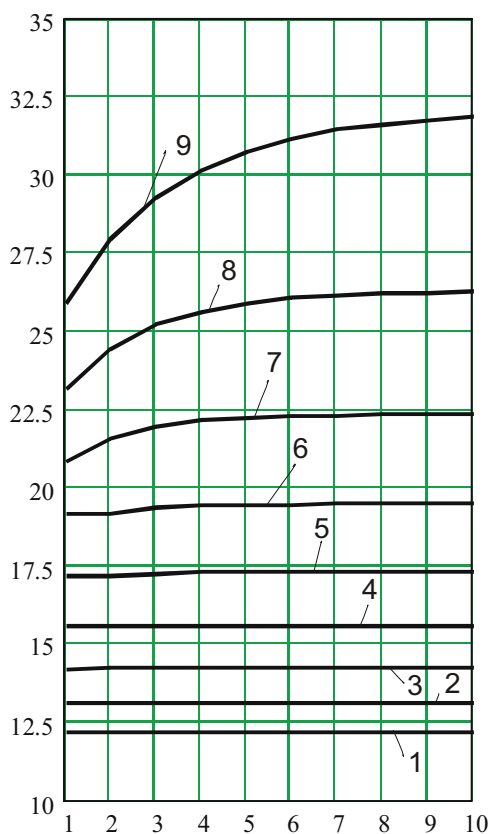


Рисунок 6

роль, як для СШ. На жаль в [3] не описуються умови експерименту та устаткування. Але в роботі [2] того ж автора зазначається, що він проводив теоретичні та експериментальні дослідження для рівнояскравого небосхилу, а не для небосхилу з розподілом яскравості за Муном-Спенсер (стандарт МКО).

Висновки. Розроблений метод і його програмна реалізація в середовищі MathCad дозволяють точніше визначити ефективність світлопропускання циліндричних СШ з дифузним відбиванням світла і відповідно раціонально підбирати СШ. Подальші дослідження можна спрямувати на автоматизацію розрахунку освітленості від СШ, визначення їх необхідного числа

та раціонального розміщення, виходячи з призначення та розмірів приміщення.

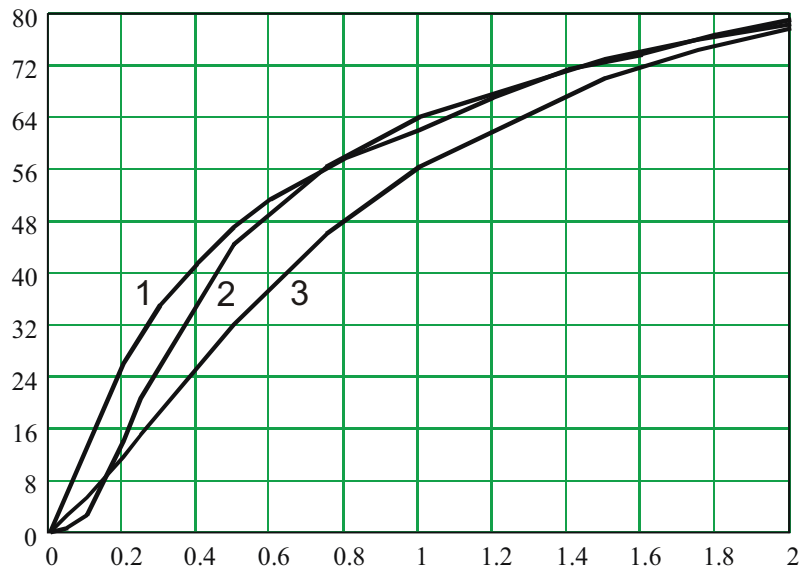


Рисунок 7

ЛІТЕРАТУРА

1. Земцов В.А. Естественное освещение помещений через зенитные фонари шахтного типа // Исследования по строительной светотехнике. Труды НИИСФ. – М., 1981. – С. 28-31.
2. Земцов В.А. К расчёту естественного освещения помещений с зенитными фонарями // Исследования по строительной светотехнике. Труды НИИСФ. – М., 1984. – С. 56-58.
3. Земцов В.А. Светопропускание проёмов зенитных фонарей направленного отражения // Вопросы качества естественного и искусственного освещения зданий. Труды НИИСФ. – М., 1980. – С. 70-77.
4. Киреев Н.Н. Метод расчёта коэффициента светопропускания фонарей без заполнения // Светотехника. – 1975. – №8. – С. 10-12.
5. Пугачов Є.В. Дискретне геометричне моделювання скалярних і векторних полів стосовно будівельної світлотехніки: Дис. ... докт. техн. наук: 05.01.01 – К., 2001. – 353 с.

Получено 14.03.2006 г.