

ВПЛИВ КОЕФІЦІЄНТА ДЗЕРКАЛЬНОГО ВІДБИТТЯ ВНУТРІШНЬОЇ ПОВЕРХНІ ЦИЛІНДРИЧНОЇ СВІТЛОВОЇ ШАХТИ НА КОЕФІЦІЄНТ КОРИСНОЇ ДІЇ ДЛЯ РІЗНИХ ТИПІВ НЕБОЗВОДІВ

THE SPECULAR REFLECTION COEFFICIENT INFLUENCE OF THE CYLINDRICAL LIGHT SHAFT INNER SURFACE ON THE EFFICIENCY FOR DIFFERENT TYPES OF FIRMAMENTS

Зданевич В.А., ORCID ID: 0000-0002-9875-8463, **Кундрат Т.М.**, к.т.н., ORCID ID: 0000-0001-9345-3161, **Літницький С.І.**, к.т.н., доцент, ORCID ID: 0000-0003-4962-7800, **Пугачов Є.В.**, д.т.н., проф., ORCID ID: 0000-0003-4771-0942 (Національний університет водного господарства та природокористування)

Zdanevych V.A., ORCID ID: 0000-0002-9875-8463, **Kundrat T.M.**, Candidate of Technical Sciences,, ORCID ID: 0000-0001-9345-3161, **Litnitskyi S.I.**, Candidate of Technical Sciences,, Assoc. Professor, ORCID ID: 0000-0003-4962-7800, **Pugachov E.V.**, Doctor of Technical Sciences, Professor, ORCID ID: 0000-0003-4771-0942 (National University of Water and Environmental Engineering)

Стаття присвячена визначенню впливу коефіцієнта дзеркального відбиття внутрішньої поверхні циліндричної світлової шахти на коефіцієнт корисної дії для різних типів небозводів, стандартизованих МКО (Міжнародна комісія з освітленості). Для 15-го типу небозводу наведені графіки залежності сумарного коефіцієнта корисної дії світлової шахти від індексу шахти для різних значень коефіцієнта дзеркального відбиття внутрішньої поверхні шахти.

Article is devoted to determination of the specular reflection coefficient influence of the cylindrical light shaft inner surface on the efficiency for different types of firmaments standardized by CIE (International Commission on Illumination). Efficiency of the light shaft was calculated as the relation of the output luminous flux (exiting through the lower base of the shaft) to the entering luminous flux (entering through the upper base of the shaft). The output luminous flux consists of the luminous flux created by direct light (gets on base of the shaft directly from the sky) and the luminous flux created by light which is repeatedly reflected from its inner side surface.

Calculation was carried out for the 173rd day of year (summer solstice: On June 22). Calculations were carried out for latitude 50° N. For the fifteenth type of firmament (white-blue turbid sky with broad solar corona), graphs of the dependence of the total efficiency of the light shaft on the shaft index for

different values of the specular reflection coefficient of the inner surface of the shaft are presented. For the fifteenth types of firmament the maximum values correspond to solar noon (from 67.14% to 96.9% for reflection coefficient – 0.96; from 33.72% to 95.84% for reflection coefficient – 0.8; from 17.97% to 93.43% for reflection coefficient – 0.6), and the minimum values are at sunrise and sunset (from 46.28% to 96.18% for reflection coefficient – 0.96; from 14.11% to 91.23% for reflection coefficient – 0.8; from 5.59% to 87.46% for reflection coefficient – 0.6).

It can be argued that solar time has little effect on the efficiency, which allows us to generalize the results obtained in a certain way. For example, we can calculate the arithmetic mean value during the day, but ignore the value at noon, which is significantly different from other values, and the value for a certain interval at the beginning and end of the solar day, since these are insignificant time intervals compared to the entire solar day.

As the light shaft index increases, that is, as the ratio of the radius to the shaft height increases, the efficiency value asymptotically approaches one hundred percent, which is physically correct. Knowing the radius, height, index of the shaft and the specular reflection coefficient of its inner surface, it is possible to predict natural lighting under the shaft and use energy resources more rationally.

Ключові слова: Небозвід, освітлення, промінь, світло, трасування, шахта.
Firmament, illumination, beam, light, tracing, shaft.

Вступ. До 2004 року для розрахунку яскравості неба і природної освітленості та інших характеристик світлового поля використовували документ CIE S 003/E:1996 [1], який описував розподіл яскравості за небозводом із суцільною хмарністю формулою Муна-Спенсер, запропонованою американськими вченими Муном і Спенсер ще у 1942 році.

Пізніше Міжнародною комісією з освітленості був стандартизований новий документ: CIE S 011/E:2003 [2]. Аналогічний документ, а саме – ДСТУ ISO 15469:2008 [3] був запроваджений в Україні. В обох стандартах наведено вже 15-ть математичних моделей типів небозводів, а небозвід із суцільною хмарністю є лише одним із них (першим). Згадані документи є ще відносно новими, і тому потребують як додаткового аналізу, так і коректного застосування (адаптації), зокрема, для умов України.

Одним з чинників, які характеризують ресурси природної освітленості, є добовий хід освітленості горизонтальної площини, створеної різними типами небозводів в характерні дні року на даній широті. Для першого типу небозводу (стандартне хмарне небо згідно з CIE) освітленість горизонтальної площини не змінюється протягом дня, оскільки розподіл яскравості за небозводом (формула Муна-Спенсер) не залежить від положення Сонця і, відповідно, сонячного часу. Для решти 14-ти типів небозводу при

розрахунках необхідно зважати на координати Сонця, оскільки розподіл яскравості за небосхилом залежить від них і впливає на освітленість горизонтальної площини і взагалі на освітленість будь-якої площини чи поверхні.

Моделювання горизонтальної освітленості від різних типів небозводу дозволяє також проєктувати освітленість в будівлях різного призначення з світлопрорізами певної форми, наприклад, у вигляді світлових шахт. Для оцінки освітленості під світловою шахтою важливо знати коефіцієнт корисної дії світлової шахти і наскільки він залежить від типу небозводу (розподілу яскравості за небозводом і, відповідно, сонячного часу).

Світлова шахта – це світловий проріз, найчастіше вертикальний, будь-якого перерізу [4-8]. Від зенітного ліхтаря вона відрізняється тим, що суттєву частку вихідного світлового потоку світлової шахти складає світло, багатократно відбите від її внутрішніх стінок. А від світлової труби – тим, що у світловій трубі вихідний світловий потік створює лише багатократно відбите світло, а пряме світло на площу вихідного отвору не потрапляє [9-15].

Світлові шахти набули широкого використання в промислових, громадських та частково в житлових будівлях. Верхнє освітлення через світлові шахти проєктують в будівлях (приміщеннях), які за їх функціональним призначенням та просторовим вирішенням мають низьку стелю і велику товщину покриття, коли немає бічного освітлення або велика глибина приміщення не дозволяє забезпечити нормативні вимоги щодо природного освітлення за допомогою бічного освітлення. Світлові шахти також доволі часто використовують як дизайнерське рішення інтер'єру.

Найчастіше застосовуються світлові шахти простих форм: циліндрична вертикальна або похила, у вигляді паралелепіпеда, зрізаного конуса, зрізаної піраміди. Це, зокрема, обумовлено складністю моделювання освітленості від світлових шахт, особливо – моделювання освітленості, створеної багаторазовим відбиванням світла всередині шахти. Бічну поверхню шахт з дзеркальним відбиттям, як правило, виконують глянцевою у світлих тонах. У ідеальній ситуації на бічній поверхні відсутня шорсткість або дефекти. Тому можна вважати, що сонячні промені всередині шахти відбиваються за законом геометричної оптики (дзеркально). Ефективність такого відбиття світлових променів залежить, зокрема, від коефіцієнта дзеркального відбиття внутрішньої поверхні світлових шахт. Цей коефіцієнт з часом може зменшуватись через забруднення бічної поверхні світлової шахти або старіння матеріалів, якими вона покрита, що, у свою чергу, зменшує коефіцієнт корисної дії світлової шахти.

Аналіз останніх досліджень. Різні аспекти згаданих вище математичних моделей типів небозводів досліджувалися рядом науковців у своїх роботах

[16-22]. Також були досліджені типи небозводів, характерні для України в різні місяці року [23-24]. Подібні задачі були вирішені для Сінгапуру [25], Чилі [26] та міста Гонконг [27]. Крім того, був проведений аналіз визначення відношення яскравості довільного елемента небозводу до яскравості в zenіті [28]. Але дослідження впливу коефіцієнта дзеркального відбиття внутрішньої поверхні циліндричної світлової шахти на коефіцієнт корисної дії авторами було виявлений лише для першого типу небозводу в роботі [29].

Мета дослідження. Дослідити вплив коефіцієнта дзеркального відбиття внутрішньої поверхні циліндричної світлової шахти на коефіцієнт корисної дії для різних типів небозводів.

Методика досліджень. Методика ґрунтується на порівняльному аналізі результатів, отриманих для різних типів небозводів при різних коефіцієнтах дзеркального відбиття внутрішньої поверхні циліндричної світлової шахти, за допомогою авторської MatLab-програми.

Результати досліджень.

Коефіцієнт корисної дії світлової шахти визначається за формулою:

$$K_p = \frac{F_{out}^{str} + F_{out}^{ref}}{F_{in}} \cdot 100\%, \quad (1)$$

де F_{in} – вхідний світловий потік; F_{out}^{str} – частина вихідного світлового потоку, створена прямим світлом від небозводу; F_{out}^{ref} – частина вихідного світлового потоку, створена світлом, багаторазово відбитим від бічної поверхні світлової шахти.

Слід зазначити, що частина світлового потоку завжди втрачається, тому $F_{out}^{str} + F_{out}^{ref}$ менше за F_{in} , а K_p менше 100%.

Вхідний світловий потік можна визначити як добуток модуля аплікати світлового вектора (освітленості верхньої горизонтальної основи шахти) на площу верхньої основи [29].

Частина небозводу, яка освітлює розрахункову точку на нижній основі шахти, утворюється в перетині небесної півсфери одиничного радіусу (центр у розрахунковій точці) з конічною поверхнею, вершина якої – розрахункова точка, а напрямна – коло верхньої основи шахти. Тоді освітленість в розрахунковій точці, створену прямим світлом від небозводу, можна визначити за відомими формулами інтегруванням в межах тілесного кута, утвореного конусом, використовуючи верхню основу шахти (конуса), а не згадану область на небесній сфері одиничного радіусу, оскільки її границі визначати складніше (конус та область на небесній півсфері обмежують однаковий тілесний кут) [29].

Для обчислення вихідного світлового потоку на нижній основі шахти розбивається радіальна сітка (29 точок уздовж радіусу та 34 точки уздовж зовнішнього кола, рис. 1), у вузлах якої визначається освітленість, а потім –

середнє значення освітленості для кожної комірки (для трикутних комірок – середнє з трьох, а для чотирикутних – з чотирьох значень). Необхідна мінімальна кількість вузлів визначалась в результаті комп'ютерних експериментів, виходячи з того, що подальше зростання кількості вузлів сітки не впливало суттєво на результат обчислень. Вихідний світловий потік F_{out}^{str} , створений прямим світлом, обчислювався як сума потоків, що проходять через всі комірки сітки. А потік, що проходить через одну комірку – як добуток середньої освітленості комірки на її площу.

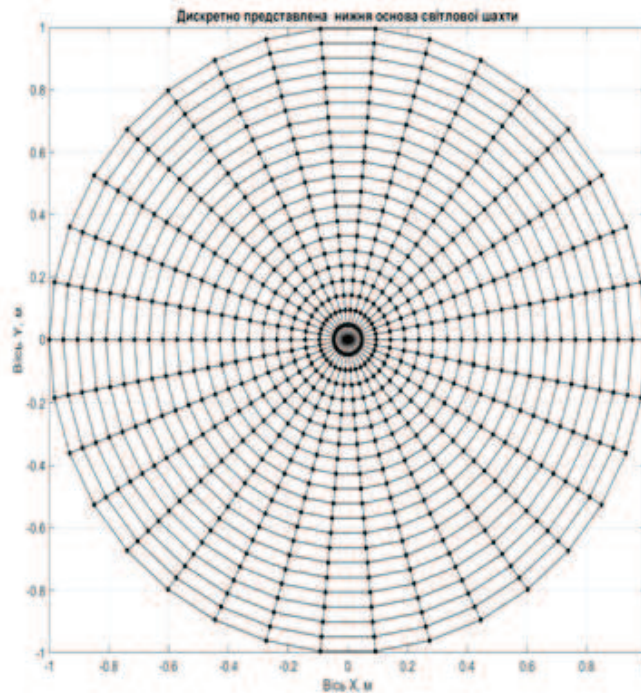


Рис. 1. Сітка, розбита на нижній основі шахти

Апліката світлового вектора та освітленість обчислюються на сітці розрахункових точок (рис. 1), розбитій на нижній основі світлової шахти так, як це описано вище. Потім обчислюється середнє значення освітленості для кожної комірки. Вихідний світловий потік F_{out}^{ref} , створений світлом, багаторазово відбитим від внутрішньої поверхні шахти, обчислювався аналогічно, тобто як сума потоків, що проходять через кожну комірку.

Розрахунок горизонтальної освітленості проводився для 79-го дня року (весняне рівнодення: 20 березня), 173-го дня року (літнє сонцестояння: 22 червня) та 355-го дня року (зимове сонцестояння: 21 грудня). Обчислення проводилися для широти 50° пн. ш. Розглядалися випадки, коли коефіцієнт світловідбиття внутрішньої поверхні шахти дорівнював 0.96, 0.8 та 0.6. Координати Сонця обчислювались за відомими формулами.

Сонячний час відраховувався від сонячного полудня в бік сходу зі знаком «–», в бік заходу зі знаком «+». Спираючись на координати Сонця на певний

момент сонячного часу, обчислювалася кутова відстань між елементом небозводу та Сонцем, необхідна для розрахунку яскравості вхідного променя.

Тривалість сонячного дня від сходу до заходу Сонця для кожного з обраних днів року була поділена на 30 рівних інтервалів, на межах яких обчислювались прямий і відбитий світлові потоки та коефіцієнти корисної дії світлової шахти для всіх 15-ти математичних моделей небозводу. Обчислення проводилися в системі комп'ютерної математики MatLab. Освітленість обчислювалась у кілолюксах, а коефіцієнти корисної дії у відсотках.

Також слід зазначити, що обчислення виконувалися для різних співвідношень радіусу шахти до її висоти (R/H), тобто для різних індексів шахти [32]. Радіус шахти складав 1 м , а висота шахти варіювалася в межах від $0,1111\text{ м}$ до 10 м . Зрозуміло, що в архітектурно-будівельній практиці світлові шахти всіх таких співвідношень не використовують, але для того, щоб наочно показати характер зміни коефіцієнта корисної дії, розрахунок виконувався для такого широкого діапазону.

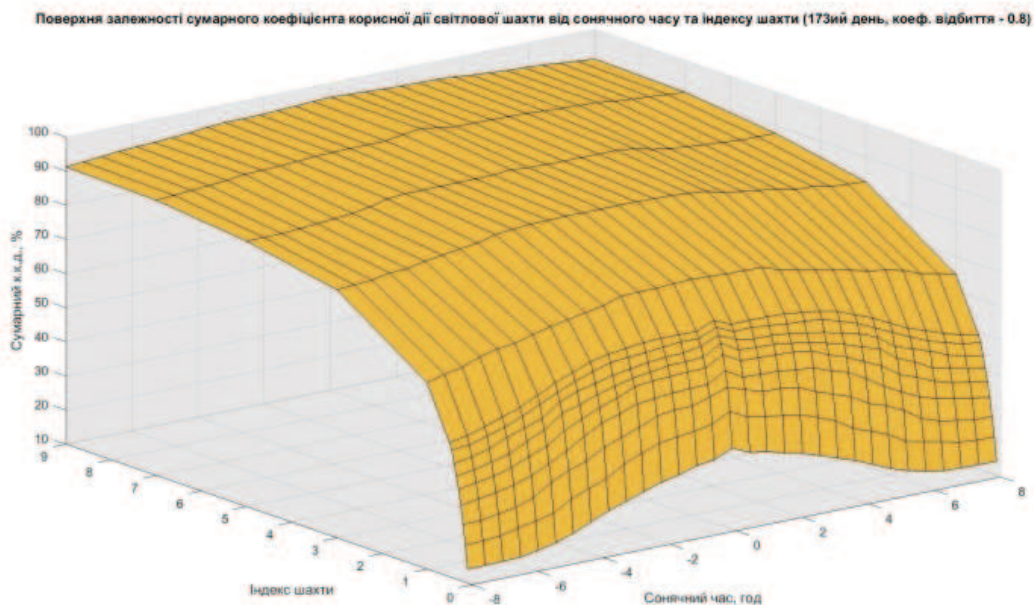


Рис. 2. Поверхня залежності сумарного коефіцієнта корисної дії світлової шахти від сонячного часу та індексу шахти (п'ятнадцятий тип небозводу, 173-й день, коефіцієнт відбиття – 0.8)

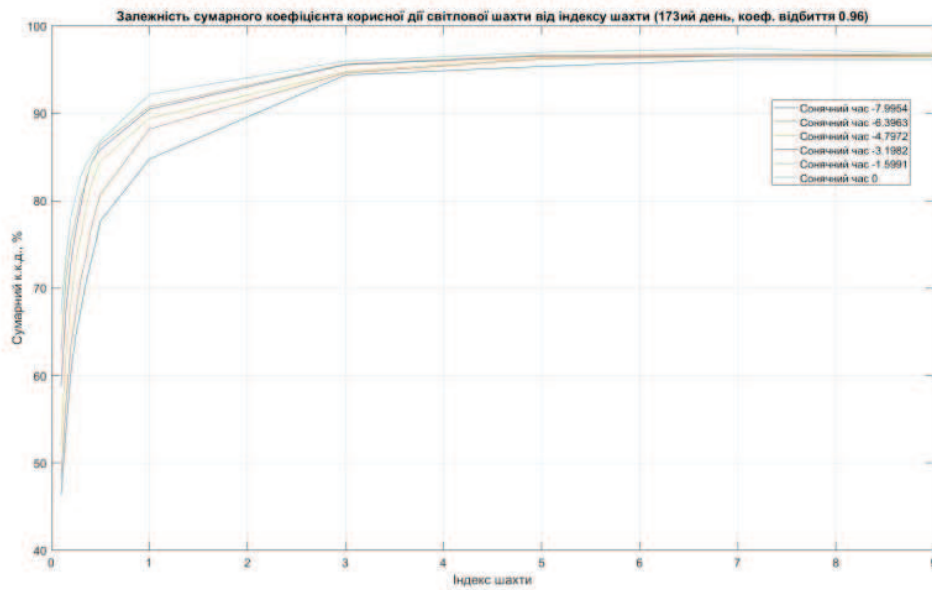


Рис. 3. Залежності сумарного коефіцієнта корисної дії світлової шахти від індексу шахти (п'ятнадцятий тип небозводу, 173-тій день, коефіцієнт відбиття – 0.96) для різних моментів сонячного часу

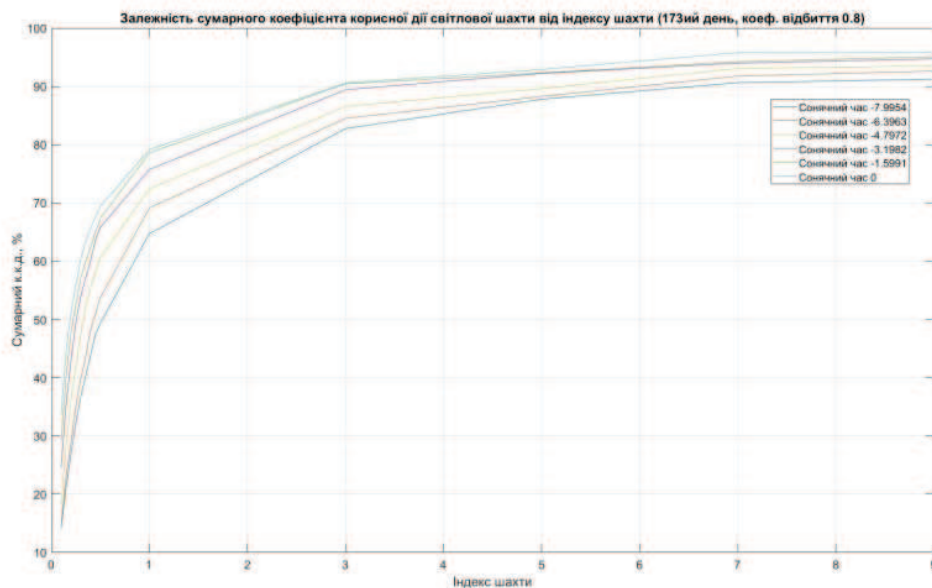


Рис. 4. Залежності сумарного коефіцієнта корисної дії світлової шахти від індексу шахти (п'ятнадцятий тип небозводу, 173-тій день, коефіцієнт відбиття – 0.8) для різних моментів сонячного часу

Щоб не перевантажувати статтю інформацією, результати розрахунків були наведені лише для 173-го дня року (літнє сонцестояння: 22 червня) для однієї математичної моделі небозводу – п'ятнадцятої (біло-блакитне туманне небо із широкою сонячною короною).

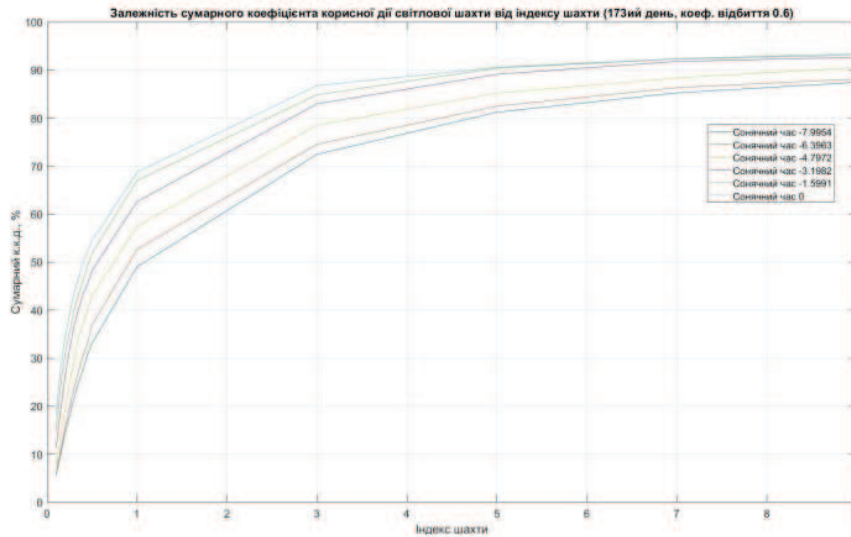


Рис. 5. Залежності сумарного коефіцієнта корисної дії світлової шахти від індексу шахти (п'ятнадцятий тип небозводу, 173-тій день, коефіцієнт відбиття – 0. 6) для різних моментів сонячного часу

На рис. 2 показана поверхня залежності сумарного коефіцієнта корисної дії світлової шахти від сонячного часу та індексу шахти. Сумарний коефіцієнт корисної дії світлової шахти спершу обчислювався для різних значень індексів шахти і одного певного значення сонячного часу. В сукупності ці значення утворюють ламану плоску лінію, яка показує залежність сумарного коефіцієнта корисної дії світлової шахти від індексу шахти. Деякі з цих плоских ламаних ліній (не всі, оскільки ламані зливаються) показані на рис. 3-5, а на рис. 2 показані результати, отримані протягом усього сонячного дня, об'єднанні у поверхню.

З рис. 2 видно, що значення є симетричними відносно сонячного полудня, коли сонячний час дорівнює нулю. Максимальні значення відповідають сонячному полудню, а мінімальними – часу сходу і заходу сонця. Поверхня, наведена на рис. 2, наочно показує, що сумарний к. к. д. світлової шахти майже не залежить від сонячного часу, а графіки (рис. 3-5) вже мають більш практичне значення.

Для 15-го типу небозводу максимальні значення відповідають сонячному полудню (від 67.14% до 96.9% при коефіцієнті відбиття – 0.96; від 33.72% до 95.84% при коефіцієнті відбиття – 0.8; від 17.97% до 93.43% при коефіцієнті відбиття – 0.6), а мінімальні – часу сходу і заходу сонця (від 46.28% до 96.18% при коефіцієнті відбиття – 0.96; від 14.11% до 91.23% при коефіцієнті відбиття – 0.8; від 5.59% до 87.46% при коефіцієнті відбиття – 0.6). У всіх випадках при збільшенні індексу світлової шахти, тобто коли відношення R/H збільшується, значення коефіцієнта корисної дії асимптотично наближається до ста відсотків, що є фізично коректним.

Висновки. У статті розглядалося питання впливу коефіцієнта дзеркального відбиття внутрішньої поверхні циліндричної світлової шахти на коефіцієнт корисної дії вертикальної дзеркально відбиваючої циліндричної світлової шахти для різних типів небозводів, стандартизованих МКО (Міжнародна комісія з освітленості). Коефіцієнт корисної дії світлової шахти обчислювався як відношення вихідного світлового потоку до вхідного світлового потоку.

Розрахунок горизонтальної освітленості проводився для 173-го дня року (літнє сонцестояння: 22 червня). Обчислення проводилися для широти 50° пн. ш. Безпосередньо у статті продемонстровані результати для п'ятнадцятої моделі небозводу (біло-блакитне туманне небо із широкою сонячною короною). Максимальні значення коефіцієнта корисної дії відповідають сонячному полудню, а мінімальними – часу сходу і заходу сонця. Причому зменшення коефіцієнта дзеркального відбиття внутрішньої поверхні циліндричної світлової шахти значно зменшує коефіцієнт корисної дії світлової шахти при малих значеннях індексу світлової шахти і поступово зменшує – при зростанні значення індексу світлової шахти.

Інформація щодо коефіцієнта дзеркального відбиття, радіусу, висоти та індексу шахти дозволяє прогнозувати природну освітленість під шахтою, раціонально використовувати штучне освітлення, заощаджуючи на ньому. Крім того, розроблену MatLab-програму можна використати для моделювання природної освітленості в приміщеннях будівель різного призначення від світлових шахт різних розмірів.

1. CIE standard overcast sky and clear sky. CIE S 003/E:1996 (ISO 15469:1997), 1997.
2. Spatial distribution of daylight – CIE standard general sky. CIE S 011/E:2003 (ISO 15469:2004(E)), 2004.
3. Розподіл яскравості денного світла просторовий. Стандартне хмарне та безхмарне небо згідно з CIE (ISO 15469:2004, IDT) : ДСТУ ISO 15469:2008. Київ: Держспоживстандарт України, 2013. 7 с.
Rozpodil yaskravosti dennoho svitla prostorovyy. Standartne khmarne ta bezkhmarne nebo z'hidno z CIE (ISO 15469:2004, IDT) : DSTU ISO 15469:2008. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrayiny, 2013. 7 s.
4. M. Kocifaj, F. Kundracik, S. Darula and R. Kittler, Theoretical Solution for Light Transmission of a Bended Hollow Light Guide, Solar Energy 84 (2010) 1422–1432. <http://doi.org/10.1016/j.solener.2010.05.002>
5. I. Acosta, J. Navarro, J. J. Sendra, Lighting Design in Courtyards: Predictive Method of Daylight Factors under Overcast Sky Conditions, Renewable Energy 71 (2014) 243–254. <http://doi.org/10.1016/j.renene.2014.05.020>
6. R. Kittler, M. Kocifaj, S. Darula, Daylight Science and Daylighting Technology, New York, Springer, 2012.
7. D. Phillips, Daylighting. Natural Light in Architecture, Elsevier, 2004.

8. Кундрат Т.М. Геометричне моделювання освітленості від світлових шахт з дифузним відбиванням світла: дис. ... канд. техн. наук: 05.01.01 / Кундрат Тарас Миколайович. – Рівне, 2010. – 198 с.

Kundrat T.M. Heometrychne modelyuvannya osvitenosti vid svitlovykh shakht z dyfuznym vidbyvanniam svitla: dys. ... kand. tekhn. nauk: 05.01.01 / Kundrat Taras Mykolayovych. – Rivne, 2010. – 198 s.

9. M. Kocifaj, F. Kundracik, S. Darula and R. Kittler, Availability of Luminous Flux below a Bended Light-Pipe: Design Modelling under Optimal Daylight Conditions, *Solar Energy* 86 (2012) 2753–2761. <http://doi.org/10.1016/j.solener.2012.06.017>

19. A. P. Diéguez', N. Gentile, H. von Wachenfelt and M.-C. Dubois, Daylight Utilization with Light Pipe in Farm Animal Production: A Simulation Approach, *Journal of Daylighting* 3 (2016) 1–11. <http://dx.doi.org/10.15627/jd.2016.1>

11. B. Obradovic, B. S. Matusiak, Daylight Transport Systems for Buildings at High Latitudes, *Journal of Daylighting* 6 (2019) 60–79. <http://dx.doi.org/10.15627/jd.2019.8>

12. A. Goharian, M. Mahdavejad, A Novel Approach to Multi-Apertures and Multi-Aspects Ratio Light Pipe, *Journal of Daylighting* 7 (2020) 186–200. <http://dx.doi.org/10.15627/jd.2020.17>

13. B. Obradovic, B. S. Matusiak, Illumination and Lighting Energy Use in an Office Room with a Horizontal Light Pipe: Field Study at a High Latitude, *Journal of Daylighting* 9 (2022) 209–227. <http://dx.doi.org/10.15627/jd.2022.16>

14. P. Zazzini, A. Di Crescenzo, L. Pio Rossitti, R. Mirando, Experimental Analysis on a 1:2 Scale Model of the Modified Double Light Pipe, *Journal of Daylighting* 9 (2022) 228–241. <http://dx.doi.org/10.15627/jd.2022.17>

15. N. Sönmez, A. C. Kunduracı, C. Çubukçuoğlu, Daylight Enhancement Strategies Through Roof for Heritage Buildings, *Journal of Daylighting* 11 (2024) 234–246. <http://dx.doi.org/10.15627/jd.2024.17>

16. K. Alshaibani, Average Daylight Factor for the ISO/CIE Standard General Sky, *Lighting Res. Technol.* 48 (2016) 742–754.

17. R. Kittler, S. Darula, CIE General Sky Standard Defining Luminance Distribution, *Proceedings of eSim Conference. Montreal, Canada* (2002) 36–43.

18. R. Kittler, S. Darula, The Research Search for the Least Beneficial Overcast Sky and Progress in Defining Its Luminance Gradation Function, *Building Research Journal* 61 (2014) 151–166. <http://doi.org/10.2478/brj-2014-0012>

19. W. Li, L. Tang, M. Lee and T. Munner, Classification of CIE Standard Skies Using Probabilistic Neural Networks, *International Journal of Climatology* 30 (2009) 305–315. <http://doi.org/10.1002/joc.1891>

20. P. R. Tregenza, Analysing Sky Luminance Scans to Obtain Frequency Distributions of CIE Standard General Skies Generation Communication and Networking (25–28 November 2015, Jeju Island, South Korea), *FGCN 2015 IEEE CPS Post Proceedings. Jeju: SERSC*, 49–54. <https://www.doi.org/10.1109/FGCN.2015.22>

21. D. H.W. Li, T.C. Chau, K. K.W. Wan, A Review of the CIE General Sky Classification Approaches, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 31 (2014) 563–574. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.12.018>

22. S. Litnitskyi, E. Pugachov, T. Kundrat, V. Zdanevych, Determination of Efficiency of the Vertical Specularly Reflecting Cylindrical Light Shaft for Different Types of Firmanents. *Journal of Daylighting* 12, (2025) 278–292. doi: 10.15627/jd.2025.19

23. D. Radomtsev, O. Sergeychuk, Implementation of CIE General Sky Model Approach in Ukraine and Effects on Room Illuminance Mode, International Journal of Smart Home. Tasmania: SERSC, 10 (2016) 57–70.

24. D. Radomtsev, O. Sergeychuk, Employment Features of CIE S 011/E:2003 (ISO 15469: 2004) “CIE Standard General Sky” under Designing Systems of Room Daylighting. 9th International Conference on Future Technology 39 (2007) 31–51.

25. S. K. Wittkopf, Analysing Sky Luminance Scans and Predicting Frequent Sky Patterns in Singapore, Lighting Research and, Lighting Research and Technology 36 (2004) 271–281.

26. M. B. Piderit, C. Cauwerts, M. Diaz, Definition of the CIE Standard Skies and Application of the HDRI Technique to Characterize the Spatial Distribution of Daylight in Chile, Journal of Construction 13 (2014) 22–30. <https://www.doi.org/10.4067/S0718-915X2014000200003>

27. E. Ng, V. Cheng, A. Gadi, J. Mu, M. Lee and A. Gadi, Defining Standard Skies for Hong Kong, Building and Environment 42 (2007) 866–876. <http://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.10.005>

28. Пугачов Є.В., Літницький С.І., Кундрат Т.М., Зданевич В. А. Аналіз визначення відношення яскравості довільного елемента небозводу до яскравості в зеніті, наведеного в ДСТУ ISO 15469:2008. Сучасні проблеми моделювання: збірник наукових праць МДПУ ім. Б. Хмельницького; Мелітополь : Видавництво МДПУ ім. Б. Хмельницького, 2023. Вип. 25. С. 184-192.

Puhachov YE. V., Litnits'kyi S. I., Kundrat T. M., Zdanevych V. A. Analiz vyznachennya vidnoshennya yaskravosti dovil'noho elementa nebozvodu do yaskravosti v zeniti, navedenoho v DSTU ISO 15469:2008. Cuchasni problemy modelyuvannya: zbirnyk naukovykh prats' MDPU im. B. Khmel'nyts'koho; Melitopol' : Vydavnytstvo MDPU im. B. Khmel'nyts'koho, 2023. Vyp. 25. S. 184-192.

29. Гарбарук Ю.В. Геометричне моделювання природної освітленості від дзеркально відбиваючих світлових шахт : дис. ... канд. техн. наук: 05.01.01. Київ, 2016. 165 с.

Harbaruk YU. V. Heometrychne modelyuvannya pryrodnoyi osvitenosti vid dzerkal'no vidbyvayuchykh svitlovykh shakht : dys. ... kand. tekhn. nauk: 05.01.01. Kyiv, 2016. 165 s.