

УДК 725.8

<https://doi.org/10.31713/vt1202637>

Пугачов Є.В. [1; ORCID ID: 0000-0003-4771-0942],

д.т.н., проф.

Літницький С.І. [1; ORCID ID: 0000-0003-4962-7800],

к.т.н., доцент,

Кундрат Т.М. [1; ORCID ID: 0000-0001-9345-3161],

к.т.н., доцент

Зданевич В.А. [1; ORCID ID: 0000-0002-9875-8463],

¹ Національний університет водного господарства та природокористування,
м. Рівне

СУМАРНА ЗА ДЕНЬ ОСВІТЛЕНІСТЬ ВЕРТИКАЛЬНИХ ПЛОЩИН ВІД РІЗНИХ ТИПІВ НЕБОЗВОДІВ

В статті показані графіки сумарної за день освітленості вертикальних площин від різних типів небозводів, наведених в ДСТУ ISO 15469:2008. «Розподіл яскравості денного світла просторовий. Стандартне хмарне та безхмарне небо згідно з CIE (ISO 15469:2004, IDT)», створеного на основі закордонного аналогу CIE S 011/E:2003 (ISO 15469:2004(E). «Spatial distribution of daylight – CIE standard general sky». В стандартах розглядаються 15-ть математичних моделей типів небозводів, які є вихідною інформацією для моделювання природної освітленості та інших характеристик світлового поля.

Для розрахунку сумарної за день освітленості (експозиції) вертикальних площин були обрані 79-й день року (20 березня), 172-й день року (22 червня) та 355-й день року (21 грудня). Обчислення проводилися для широти міста Рівне (50,623° пн. ш.).

Вертикальні площини задавалася з кроком 10 градусів. Для кожної площини тривалість сонячного дня від сходу до заходу Сонця для кожного з обраних днів року була поділена на 30 рівних інтервалів і, відповідно, 31 момент сонячного часу, на межах яких обчислювалася освітленість вертикальних площин для всіх 15-ти математичних моделей небозводу. Таким чином були отримані дискретно представлені залежності освітленості вертикальних площин від сонячного часу. Далі дискретні значення освітленості інтерполювалися кубічними сплайнами з метою інтегрування по сонячному часу, що дозволило отримати сумарну за день освітленість (експозицію).

Найбільша сумарна освітленість (біля 345,64 кілолюкс) спостерігається в 173-й день року при орієнтації площини на південь (9-й тип небозводу). Для першого, третього і п'ятого типів небозводів освітленість не залежала від орієнтації вертикальної площини. Для

решти типів небозводів при орієнтації на північ освітленість була найменшою. При орієнтації на південь діапазон зміни освітленості від нижньої кривої до верхньої дуже великий – становить від 44,58 до 345,64 кілолюкс.

Інформація щодо вертикальної освітленості для даного типу небозводу, характерного для певної місцевості, дозволяє оцінювати ресурси природної освітленості, визначити критичну зовнішню освітленість, раціонально використовувати штучне освітлення, заощаджуючи на ньому.

Ключові слова: експозиція, критична зовнішня освітленість, природна освітленість, освітленість вертикальної площини, сонячний час, тип небозводу.

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 експозиція нахилених під різними кутами площин, створена різними типами небозводів в характерні дні року на даній широті. Зокрема, це можуть бути вертикальні площини фасадів будівлі. Для першого типу небозводу (стандартне хмарне небо згідно з CIE) освітленість вертикальної площини не змінюється протягом дня, оскільки розподіл яскравості за небозводом (формула Муна-Спенсер) залежить тільки від кутової висоти точки на ньому. Для решти 14-ти типів небозводу при розрахунках необхідно зважати на координати Сонця, оскільки розподіл яскравості за небозводом від них залежить і впливає на освітленість вертикальної площини і, взагалі, на освітленість будь-якої площини чи поверхні.

Вертикальна площина може бути зорієнтована під різними кутами відносно сторін світу. Відповідно, це буде впливати на сумарну за день освітленість, що дозволить оцінити, для якого фасаду експозиція буде найбільшою. Крім того, моделювання освітленості вертикальної площини від різних типів небозводу дозволяє також проектувати освітленість в будівлях різного призначення з світлопрорізами певної форми.

В роботі поставлено мету – для характерних днів року розрахувати та візуалізувати криві сумарної за день освітленості (експозиції) вертикальних площин, зорієнтованих під різними кутами відносно сторін світу, від різних типів небозводів для міста Рівне.

Різні аспекти згаданих вище математичних моделей типів небозводів досліджувалися рядом науковців у своїх роботах [4-10]. Також були досліджені типи небозводів, характерні для України в різні місяці року [11-12]. Подібні задачі були вирішені для Сінгапуру [13], Чилі [14], Іспанії [15], Нігерії [16] та міста Гонконг [17]. Крім того, був проведений аналіз визначення відношення яскравості довільного елемента небозводу до яскравості в зеніті [18], а в роботі [19] була визначена освітленість горизонтальних площин від різних типів небозводів для міст Хмельницький і Одеса. Проте в цих роботах освітленість вертикальної площини від різних типів небозводів не розглядалася.

В загальному вигляді освітленість площини визначається за формулою:

$$E = \int_{\Omega} dE_H \cdot \cos \beta, \quad (1)$$

де Ω – тілесний кут, який обмежує світловий потік, падаючий на площину; dE_H – освітленість площини, перпендикулярної осі елементарного тілесного кута $d\Omega$, створена елементарним випромінювачем, в межах цього тілесного кута; $\cos \beta_x$, $\cos \beta_y$, $\cos \beta_z$ – функції цінності випромінювання для освітленості координатних площин (β_x , β_y , β_z – кути падіння світла на координатні площини yOz , xOz , xOy).

Освітленість вертикальної площини можна обчислити як модуль скалярного добутку одиничної нормалі $\vec{n}$ до вертикальної площини та світлового вектора, створеного областю інтегрування S (рис.1). Зважаючи на те, що $d\Omega = \frac{\cos \theta}{l^2} dS$, формули для обчислення координат світлового вектора, створеного областю інтегрування, можна записати у вигляді:

$$\varepsilon_x = \int_S t_x \cdot \frac{L_\theta \cdot \cos \theta}{l^2} dS, \quad (2)$$

$$\varepsilon_y = \int_S t_y \cdot \frac{L_\theta \cdot \cos \theta}{l^2} dS, \quad (3)$$

$$\varepsilon_z = \int_S t_z \cdot \frac{L_\theta \cdot \cos \theta}{l^2} dS, \quad (4)$$

де t_x, t_y, t_z – координати одиничного вектора $\vec{t}$, спрямованого від середини елементарної площинки dS на небозводі в розрахункову точку; l – відстань між ними; θ – кут між $\vec{t}$ та вектором нормалі до поверхні випромінювача; S – область інтегрування; L_θ – яскравість довільного елемента небозводу, яка обчислюється за формулою:

$$L_\theta = \frac{L_Z \cdot f(\chi) \cdot \varphi(Z)}{f(Z_S) \cdot \varphi(0)}, \quad (5)$$

де φ – функція градації яскравості, яка пов'язує яскравість елемента небозводу та його зенітний кут; f – індикатриса розсіювання, що пов'язує відносну яскравість елемента небозводу з його кутовою відстанню від Сонця; L_Z – яскравість небозводу у зеніті. φ та f визначаються згідно формул, наведених в ДСТУ ISO 15469:2008, а L_Z – згідно [6, 20].

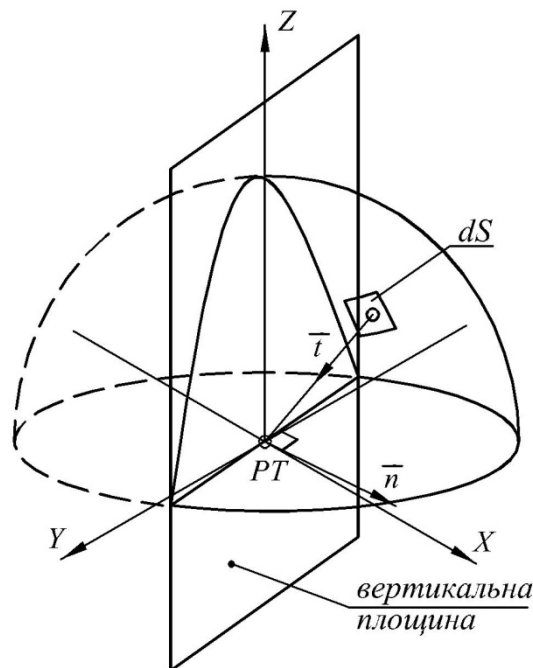


Рис.1. До визначення області інтегрування

Слід зазначити, що границі області інтегрування S – формули (2), (3) і (4) – залежать від орієнтації вертикальної площини відносно сторін світу. Якщо розташувати розрахункову точку PT на вертикальній площині і, відповідно, сумістити з нею центр небесної півсфери, то вертикальна площина поділить небесну півсферу на дві рівні частини з різним розподілом яскравості. Якщо уявити, що площина є фасадом будівлі, то

одна половина півсфери буде знаходитися перед фасадом і освітлювати площину, а інша – за ним (площину не освітлює). Тому для обчислення освітленості вертикальної площини слід інтегрувати лише по тій половині півсфери, яка освітлює площину (рис. 1).

Для розрахунку вертикальної освітленості були обрані 79-й день року (20 березня), 172-й день року (22 червня) та 355-й день року (21 грудня). Обчислення проводилися для широти міста Рівне ($50,623^\circ$ пн. ш.). 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.

Вертикальні площини задавалася з кроком 10 градусів. Для кожної площини тривалість сонячного дня від сходу до заходу Сонця для кожного з обраних днів року була поділена на 30 рівних інтервалів і, відповідно, 31 момент сонячного часу, на межах яких обчислювалася вертикальна освітленість для всіх 15 -ти математичних моделей небозводу. Таким чином були отримані дискретно представлені залежності освітленості вертикальної площини від сонячного часу. Далі дискретні значення освітленості інтерполювалися кубічними сплайнами з метою інтегрування по сонячному часу, що дозволило отримати сумарну за день освітленість (експозицію). Обчислення проводилися в системі комп'ютерної математики MatLab. Освітленість обчислювалася у кілолюксах.

Результати обчислень сумарної за день освітленості (експозиції) вертикальних площин представлені на рисунках 2-4 у вигляді полярних графіків. Для кращого розрізнення криві позначені різними типами ліній.

Зрозуміло, що найбільша сумарна освітленість (біля $345,64$ кілолюкс) спостерігається в 173-й (найдовший) день року при орієнтації площини на південь (9-й тип небозводу). Для першого, третього і п'ятого типів небозводів освітленість не залежить від орієнтації вертикальної площини. Для решти типів небозводів при орієнтації на північ експозиція найменша. Криві, зображені на рис. 2-4, могли б бути витягнуті більше в напрямку південного-сходу або в напрямку південного-заходу залежно від номера дня року. При орієнтації на південь діапазон зміни освітленості від нижньої кривої до верхньої дуже великий – становить від $44,58$ до $345,64$ кілолюкс. Це свідчить про важливість правильного вибору типу небозводу, характерного для даної місцевості, або типів небозводу, характерних для даної місцевості в різні періоди року.

З рис. 2 видно, що найбільшу сумарну освітленість створює 14-й тип небозводу, а найменшу з 1-го по 5-й типи небозводів.

З рис. 3 видно, що найбільшу сумарну освітленість створюють типи небозводів з 6-го по 10-й та з 13-го по 15-й, а найменшу з 1-го по 5-й та з 11-го по 12-й типи небозводів.

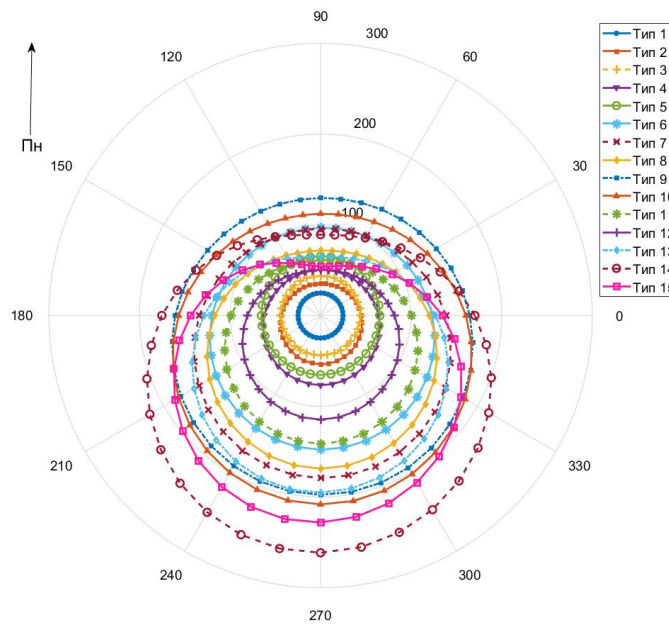


Рис.2. Залежності сумарної за день освітленості вертикальної площини від її орієнтації відносно сторін світу для 79-го дня року (20-те березня)

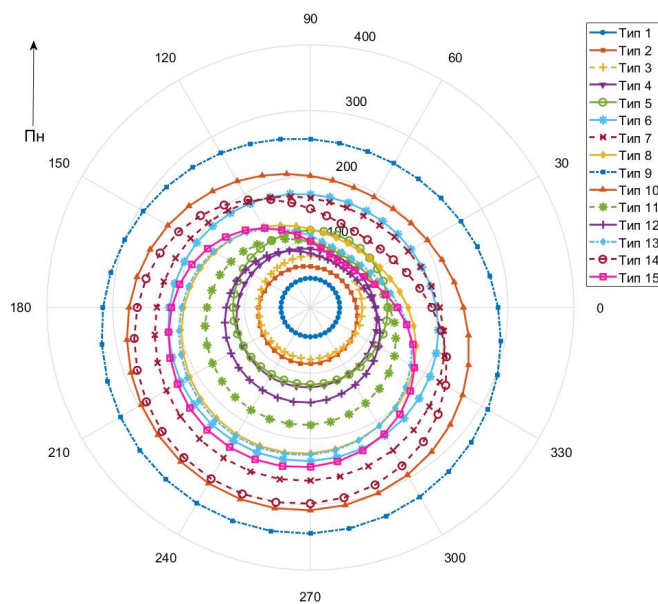


Рис.3. Залежності сумарної за день освітленості вертикальної площини від її орієнтації відносно сторін світу для 173-го дня року (22-го червня)

З рис. 4 видно, що найбільшу сумарну освітленість створюють 14-й та 15-й типи небозводів, а найменшу з 1-го по 5-й типи небозводів.

Інформація щодо сумарної за день освітленості вертикальної площини для даного типу небозводу, характерного для певної місцевості, дозволяє оцінювати ресурси природної освітленості, визначити критичну зовнішню освітленість, раціонально використовувати штучне освітлення, заощаджуючи на ньому.

Подальші дослідження можна спрямувати на моделювання освітленості площин різного нахилу та орієнтації відносно сторін світу.

Крім того, розроблену MatLab-програму можна використати для моделювання освітленості вертикальних площин в приміщеннях будівель різного призначення від світлопрорізів різної форми.

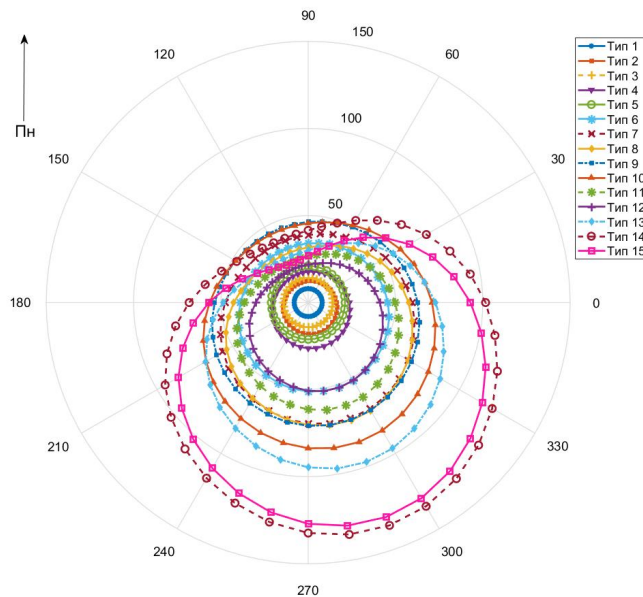


Рис.4. Залежності сумарної освітленості вертикальної площини від її орієнтації відносно сторін світу для 355-го дня року (21-го грудня)

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. 4. Alshaibani K. Average Daylight Factor for the ISO/CIE Standard General Sky, Lighting Res. Technol. 48 (2016) 742–754. 5. Kittler R., Darula S. CIE General Sky Standard Defining Luminance Distribution, Proceedings of eSim Conference. Montreal, Canada (2002) 36–43. 6. Kittler R., Darula S. 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> 7. Li W., Tang L., Lee M., Munner T. Classification of CIE Standard Skies Using Probabilistic Neural Networks, International Journal of Climatology 30 (2009)



305–315. <http://doi.org/10.1002/joc.1891> **8.** Tregenza P. R. 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> **9.** Li D. H.W., Chau T.C., Wan K. K.W. 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> **10.** Litnitskyi S., Pugachov E., Kundrat T., Zdanevych V. Determination of Efficiency of the Vertical Specularly Reflecting Cylindrical Light Shaft for Different Types of Firmaments. Journal of Daylighting 12, (2025) 278–292. doi: 10.15627/jd.2025.19 **11.** Radomtsev D., Sergeychuk O. 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. **12.** Radomtsev D., Sergeychuk O. 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. **13.** Wittkopf S. K. Analysing Sky Luminance Scans and Predicting Frequent Sky Patterns in Singapore, Lighting Research and, Lighting Research and Technology 36 (2004) 271–281. **14.** Piderit M. B., Cauwerts C., Diaz M. 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> **15.** Almorox J., Hontoria C. Global solar radiation estimation using sunshine duration in Spain, Energy conversion and Management 45 (2004) 1529–1535. **16.** Akpabio L., Etuk S. E. Relationship between solar radiation and sunshine duration for Onne, Nigeria, Turkish J. Phys. 27(2) (2003) 161–167. **17.** Ng E., Cheng V., Gadi A., Mu J., Lee M., Gadi A. Defining Standard Skies for Hong Kong, Building and Environment 42 (2007) 866–876. <http://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.10.005> **18.** 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. **19.** Пугачов Є.В., Літницький С.І., Кундрат Т.М., Зданевич В.А., Літницький В.І. Освітленість горизонтальних площин від різних типів небозводів для міст Хмельницький і Одеса та її порівняння \ Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Збірник наукових праць. Випуск 3(107). Технічні науки – Рівне : НУВГП, 2024. – С. 277–289. **20.** Kittler R., Perez R., Darula S. A set of standard skies characterizing daylight conditions for computer and energy conscious design. Final report of the U.S.-Slovak Grant project US-SK 92 052. Bratislava.: Polygrafia, 1998. 54 p.

REFERENCES:

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. Rozpodil yaskravosti dennoho svitla prostorovyy. Standartne khmarne ta bezkhmarne nebo z-hidno z CIE (ISO 15469:2004, IDT) : DSTU ISO 15469:2008. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2013. 7 s.
4. Alshaibani K. Average Daylight Factor for the ISO/CIE Standard General Sky, Lighting Res. Technol. 48 (2016) 742–754.
5. Kittler R., Darula S. CIE General Sky Standard Defining Luminance Distribution, Proceedings of eSim Conference. Montreal, Canada (2002) 36–43.
6. Kittler R., Darula S. 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>
7. Li W., Tang L., Lee M., Munner T. Classification of CIE Standard Skies Using Probabilistic Neural Networks, International Journal of Climatology 30 (2009) 305–315. <http://doi.org/10.1002/joc.1891>
8. Tregenza P. R. 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>
9. Li D. H.W., Chau T.C., Wan K. K.W. 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>
10. Litnitskyi S., Pugachov E., Kundrat T., Zdanevych V. 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
11. Radomtsev D., Sergeychuk O. 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.
12. Radomtsev D., Sergeychuk O. 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.
13. Wittkopf S. K. Analysing Sky Luminance Scans and Predicting Frequent Sky Patterns in Singapore, Lighting Research and, Lighting Research and Technology 36 (2004) 271–281.
14. Piderit M. B., Cauwerts C., Diaz M. 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>
15. Almorox J., Hontoria C. Global solar radiation estimation using sunshine duration in Spain, Energy conversion and Management 45 (2004) 1529–1535.
16. Akpabio L., Etuk S. E. Relationship between solar radiation and sunshine duration for Onne, Nigeria, Turkish J. Phys. 27(2) (2003) 161–167.
17. Ng E., Cheng V., Gadi A., Mu J., Lee M., Gadi A. Defining Standard Skies for Hong Kong, Building and

Enviroment 42 (2007) 866–876. <http://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.10.005>
18. Puhachov YE. V., Litnits'kyy 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'kkoho; Melitopol' : Vydavnytstvo MDPU im. B. Khmel'nyts'koho, 2023. Vyp. 25. S. 184–192. **19.** Puhachov YE.V., Litnits'kyy S.I., Kundrat T.M., Zdanevych V.A., Litnits'kyy V.I. Osvitlenist' horyzontal'nykh ploshchyn vid riznykh typiv nebozvodiv dlya mist Khmel'nyts'kyy i Odesa ta yiyi porivnyannya \ Visnyk Natsional'noho universytetu vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannya. Zbirnyk naukovykh prats'. Vypusk 3(107). Tekhnichni nauky – Rivne : NUVHP, 2024. – S. 277–289. **20.** Kittler R., Perez R., Darula S. A set of standard skies characterizing daylight conditions for computer and energy conscious design. Final report of the U.S.-Slovak Grant project US-SK 92 052. Bratislava.: Polygrafia, 1998. 54 p.

Pugachev E.V. [1; ORCID ID: 0000-0003-4771-0942],

Doctor of Technical Sciences, Professor

Litnitskyi S.I. [1; ORCID ID: 0000-0003-4962-7800],

Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Associate Professor,

Kundrat T.M. [1; ORCID ID: 0000-0001-9345-3161],

Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Associate Professor

Zdanevych V.A. [1; ORCID ID: 0000-0002-9875-8463],

¹ National University of Water and Environmental Engineering, Rivne

TOTAL DAYTIME ILLUMINATION OF VERTICAL PLANES FROM DIFFERENT FIRMANENT TYPES

The article shows graphs of total daytime illumination of vertical planes from different types of firmanents given in DSTU ISO 15469:2008. "The distribution of daylight luminance is spatial. Standard cloudy and cloudless sky according to CIE (ISO 15469:2004, IDT)". This standard was created on the basis of a foreign analogue CIE S 011/E:2003 (ISO 15469:2004(E). «Spatial distribution of daylight – CIE standard general sky». The standards consider 15 mathematical models of types of firmanents, which are the source information for modeling natural illumination and other characteristics of the light field. Since these documents are still relatively new, they require additional analysis.

To calculate the total daytime illumination (exposure) of vertical planes, the 79th day of the year (March 20), the 172nd day of the year (June 22), and the 355th day of the year (December 21) were selected. The

calculations were performed for the latitude of the city of Rivne (50.623° N). The coordinates of the Sun were calculated according to known formulas. Solar time was calculated from solar noon towards the east with a "-" sign, towards the west with a "+" sign. Based on the coordinates of the Sun at a certain moment of solar time, the angular distance between the element of the firmament and the Sun was calculated. Illumination was calculated in kilolux.

The vertical plane was set in 10 degree increments. For each of these cases, the duration of the solar day from sunrise to sunset for each of the selected days of the year was divided into 30 equal intervals and, accordingly, 31 moments of solar time, at the boundaries of which the illumination of vertical planes was calculated for all 15 mathematical models of the firmanent. Thus, discretely represented dependences of the illumination of vertical planes on solar time were obtained. Further, the discrete illumination values were interpolated by cubic splines for the purpose of integration over solar time, which allowed obtaining the total illumination (exposure) for the day. Calculations were performed in the computer mathematics system MatLab. Illumination was calculated in kilolux.

The highest total illumination (about 345.64 kilolux) is observed on the 173rd day of the year, when the plane is oriented to the south (9th type of firmanent). For the first, third, and fifth types of firmanents, the illumination did not depend on the orientation of the vertical plane. For the remaining types of firmanents, the illumination is the lowest when oriented to the north. When oriented to the south, the range of illumination change from the lower curve to the upper one is very large – from 44.58 to 345.64 kilolux.

Information on vertical illumination for a given type of firmanent, typical for a certain area, allows you to evaluate daylight resources, determine critical external illumination and rationally use artificial lighting, saving on it.

Keywords: *exposition, critical external illuminance, daylight, vertical lightening, solar time, type of firmanent.*

Отримано: 18 січня 2026 року

Прорецензовано: 25 лютого 2026 року

Прийнято до друку: 27 березня 2026 року



© 2026 [Pugachev E.V., Litnitskyi S.I., Kundrat T.M., Zdanevych V.A.]. Licensee [NUWEE]. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC) license (creativecommons.org).