

Пугачов Є. В., д.т.н., професор, Літницький С. І., к.т.н., доцент, Кундрат Т. М., к.т.н., доцент, Зданевич В. А., Літницький В. І., студент (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Півне, s.i.litnitskyi@nuwm.edu.ua)

ОСВІТЛЕНІСТЬ ГОРИЗОНТАЛЬНИХ ПЛОЩИН ВІД РІЗНИХ ТИПІВ НЕБОЗВОДІВ ДЛЯ МІСТ ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ І ОДЕСА ТА ЇЇ ПОРІВНЯННЯ

В статті показані графіки добового ходу освітленості горизонтальної площини 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 математичних моделей типів небозводів, які є вихідною інформацією для моделювання природної освітленості та інших характеристик світлового поля.

Для розрахунку горизонтальної 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 міст Хмельницький та Одеса (49,25° пн. ш. та 46,29° пн. ш.).

Графіки добового ходу горизонтальної для 79-го і 355-го днів року показують, що найбільша освітленість створюється від типів небозводів з 6-го по 10-й, а найменша від 1-го і 3-го. Усі криві добового ходу горизонтальної освітленості є симетричними відносно сонячного полудня, і максимальна освітленість для зазначених днів року спостерігається саме в сонячний полудень.

Для 173-го дня року найбільша освітленість була отримана від типів небозводів з 6-го по 10-й, а найменше від 1-го, 3-го і 12-го. Криві від 1-го до 10-го типів небозводу є симетричними відносно сонячного полудня. Значення освітленості у сонячний полудень для них є максимальними. Криві від 11-го до 15-го типів небозводу два рази змінюють кривину (дві точки перегину), і значення освітленості у сонячний полудень для них не є максимальним. На прикладі кривих освітленості для 173-го дня року видно, що діапазон зміни освітленості в сонячний полудень дуже великий, що свідчить про важливість правильного вибору типу небозводу для адекватного розрахунку освітленості в даній місцевості.

Інформацію щодо добового ходу горизонтальної освітленості від характерного для даної місцевості типу небозводу можна використати для визначення критичної зовнішньої освітленості і раціонального використання штучного освітлення.

Ключові слова: критична зовнішня освітленість; природна освітленість; горизонтальна освітленість; сонячний час; тип небозводу.

Природне освітлення відіграє дуже важливу роль у житті людини. Його недостатня кількість або відсутність не лише руйнівним чином впливає на здоров'я людини, але й створює різні незручності майже у всіх сферах діяльності людства. Проте і надлишок освітлення впливає негативно. Тому розробляються все більш адекватні математичні моделі розподілу яскравості за небозводом, які є вихідною інформацією для моделювання природної освітленості.

Зокрема, до 2004 року для розрахунку яскравості неба і природної освітленості та інших характеристик світлового поля використовували документ CIE S 003/E:1996 (ISO 15469:1997) «CIE standard overcast sky and clear sky», який математично описував небозвід із суцільною хмарністю за формулою Муна-Спенсер.

Пізніше Міжнародною комісією з освітленості (МКО) був стандартизований новий документ: CIE S 011/E:2003 (ISO 15469:2004(E)). «Spatial distribution of daylight – CIE standard general sky». Аналогічний документ, а саме – ДСТУ ISO 15469:2008. «Розподіл яскравості денного світла просторовий. Стандартне хмарне та безхмарне небо згідно з CIE (ISO 15469:2004, IDT)» запровадили в Україні. В них вже наведено 15 математичних моделей типів небозводів, а небозвід із суцільною хмарністю є лише одним із них. Згадані документи ще є відносно новими, і тому потребують як додаткового аналізу, так і коректного застосування (адаптації), зокрема, для умов України.

Оскільки розподіл яскравості неба в усіх математичних моделях типів небозводів різний, то і природна освітленість від усіх 15-ти випадків буде різною. В свою чергу, знання щодо кількості природної освітленості, на яку можна розраховувати в певній місцевості (світлові ресурси), дозволяє більш раціонально проєктувати світлопрорізи у будівлях та спорудах стосовно зменшення використання штучного освітлення, втрат теплової енергії зимою та витрат енергії на кондиціонування.

Одним з чинників, які характеризують ресурси природної



освітленості, є добовий хід освітленості горизонтальної площини в характерні дні року на даній широті від різних типів небозводу. Така інформація, зокрема, дозволяє визначати критичну зовнішню освітленість, що пов'язано з тривалістю використання штучного освітлення.

Також моделювання горизонтальної освітленості від різних типів небозводу дозволить проєктувати природну освітленість в будівлях різного призначення з світлопрорізами певної форми, наприклад, світлопрорізами наведеними в роботах [1; 2].

В роботі поставлено мету – для характерних днів року розрахувати та візуалізувати криві денного ходу природної освітленості горизонтальної площини від різних типів небозводів для міст Хмельницький та Одеса, які знаходяться на різних географічних широтах, оцінити і порівняти отримані результати.

Різні аспекти згаданих вище математичних моделей типів небозводів досліджувалися в роботах [3–8]. Також в роботах [9–13] були визначені характерні типи небозводів для всієї України в цілому і для західної частини України та м. Києва окремо. Подібні задачі були вирішені для Сінгапуру [14], Чилі [15] та міста Гонконг [16]. В роботі [17] був проведений аналіз визначення відношення яскравості довільного елемента небозводу до яскравості в zenіті. Проте в цих роботах освітленість горизонтальної 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, що падає 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 горизонтальної площини можна обчислювати як суму аплікату світлового вектора, створеного елементарною площиною dS небозводу. Зважаючи на те, що $d\Omega = \frac{\cos \theta}{l^2} dS$, формулу для обчислення освітленості горизонтальної площини можна записати у вигляді:

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

де t_z – апліката одиничного вектора \vec{t} , спрямованого від середини елементарної площинки dS 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:

$$L_\theta = \frac{L_Z \cdot f(\chi) \cdot \varphi(Z)}{f(Z_S) \cdot \varphi(0)}, \quad (3)$$

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. Функції φ та f визначаються згідно формул, наведених в ДСТУ ISO 15469:2008, а L_Z – згідно [5; 18].

Для розрахунку горизонтальної освітленості були обрані 79-й день року (весняне рівнодення: 20 березня), 173-й день року (літнє сонцестояння: 22 червня) та 355-й день року (зимове сонцестояння: 21 грудня). Обчислення проводилися для широт міст Хмельницький ($49,25^\circ$ пн. ш.) та Одеса ($46,29^\circ$ 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.

Тривалість сонячного дня від сходу до заходу Сонця для кожного з обраних днів року була поділена на 30 рівних інтервалів, на межах яких обчислювалася горизонтальна освітленість для всіх 15-ти математичних моделей небозводу. Обчислення проводилися в системі комп'ютерної математики MatLab. Освітленість обчислювалася у кілолюксах.

Результати обчислень представлені на рисунках 1–9. Для зручності розрізнення криві позначені різними типами ліній.

Зрозуміло, що найбільша освітленість (біля 62,88 кілолюкс) спостерігається в 173-й день року в сонячний полудень (9-й тип небозводу) для міста Одеса, а найменшу освітленість в сонячний полудень для всіх трьох обраних днів року створює перший тип

небозводу. Діапазон зміни освітленості в сонячний полудень від нижньої кривої до верхньої дуже великий – становить від 12,45 до 62,88 кілолюкс для Одеси, а для Хмельницького – від 12,17 до 60 кілолюкс. Це свідчить про важливість правильного вибору типу небозводу, характерного для даної місцевості, або типів небозводу, характерних для даної місцевості в різні періоди року.

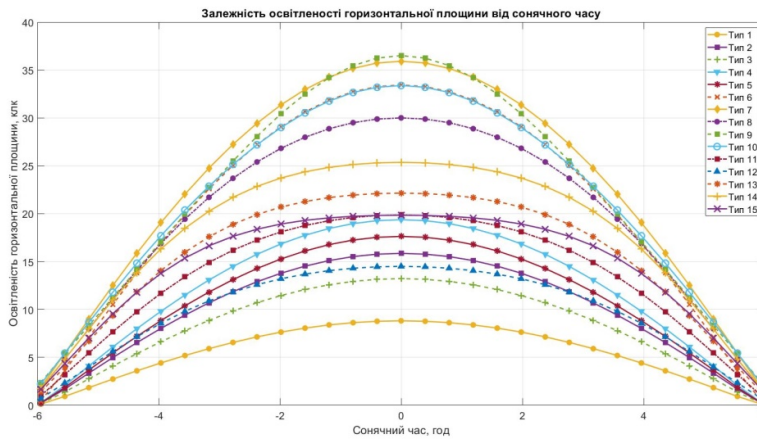


Рис. 1. Залежності освітленості горизонтальної площини від сонячного часу (добовий хід освітленості) для 79-го дня року (20 березня) для міста Хмельницький

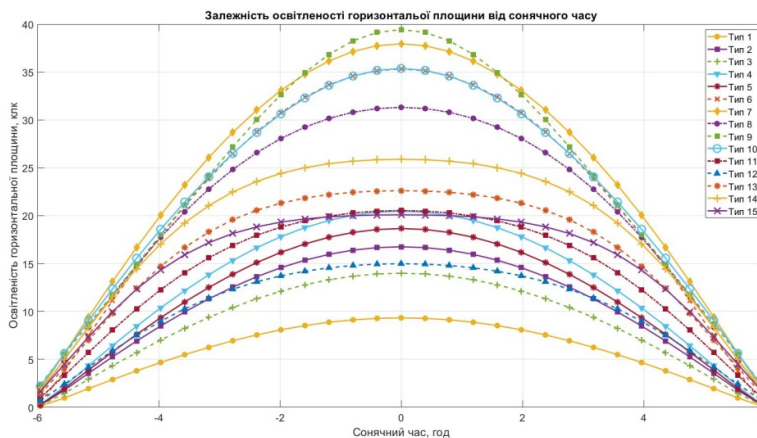


Рис. 2. Залежності освітленості горизонтальної площини від сонячного часу (добовий хід освітленості) для 79-го дня року (20 березня) для міста Одеса

З рис. 1–2 видно, що найбільшу освітленість для обох міст створюють типи небозводів з 6-го по 10-й, а найменшу 1-й і 3-й типи небозводів.

З рис. 3–4 видно, що найбільшу освітленість створюють типи

небозводів з 6-го по 10-й, а найменшу 1-й, 3-й і 12-й типи небозводів. Криві від 1-го до 10-го типів небозводу є симетричними відносно полудня. Криві від 11-го до 15-го типів небозводу два рази змінюють кривину (мають дві точки перегину), і значення освітленості в сонячний полудень для них не є максимальним.

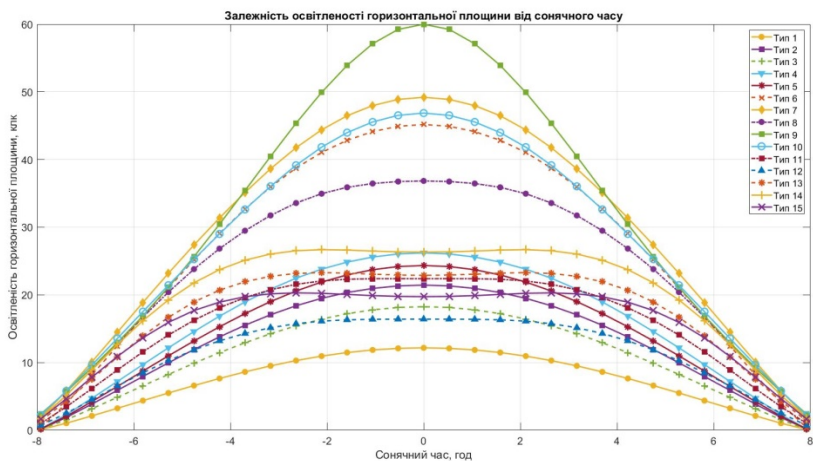


Рис. 3. Залежності освітленості горизонтальної площини від сонячного часу (добовий хід освітленості) для 173-го дня року (22 червня) для міста Хмельницький

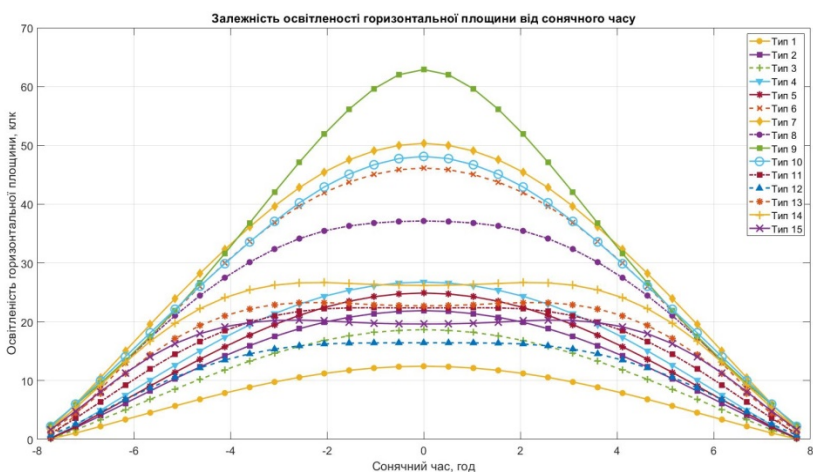


Рис. 4. Залежності освітленості горизонтальної площини від сонячного часу (добовий хід освітленості) для 173-го дня року (22 червня) для міста Одеса

З рис. 5–6 видно, що характер кривих добового ходу освітленості, отриманих для 355-го і 79-го днів року, є подібним.

Для порівняння освітленості горизонтальних площин від значень, отриманих для Одеси, віднімалися відповідні значення,

отримані для Хмельницького. Результати показано на рис. 7–9. Якщо ордината додатна, то освітленість горизонтальної площини для міста Одеса більша, а якщо від’ємна, то, відповідно, менша. З рисунка 8 видно, що не для всіх типів небозводів освітленість для міста Одеса більша, ніж для Хмельницького, хоч Одеса знаходиться ближче до екватора.

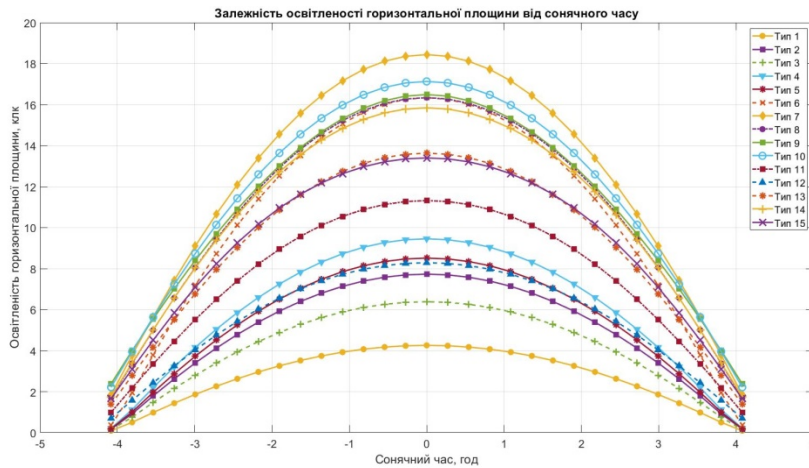


Рис. 5. Залежності освітленості горизонтальної площини від сонячного часу (добовий хід освітленості) для 355-го дня року (21 грудня) для міста Хмельницький

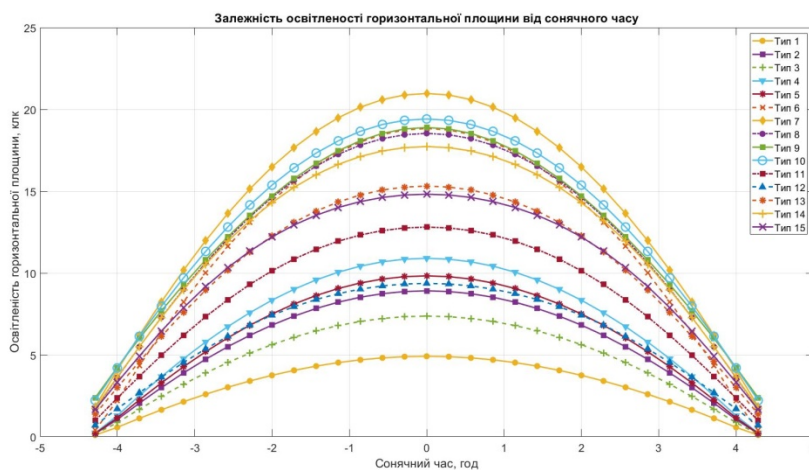


Рис. 6. Залежності освітленості горизонтальної площини від сонячного часу (добовий хід освітленості) для 355-го дня року (21 грудня) для міста Одеса

Інформація щодо добового ходу горизонтальної освітленості для 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 поверхні річного ходу природної освітленості горизонтальної площини від різних типів небозводу, а також – на моделювання освітленості вертикальних площин, площин різного нахилу та орієнтації відносно сторін світу.

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

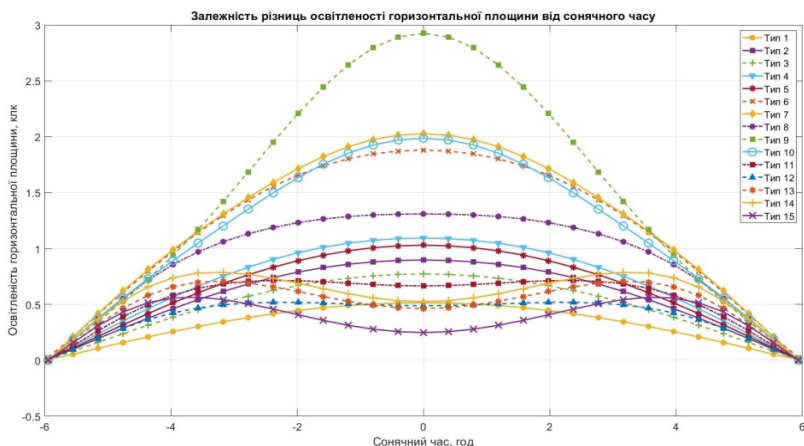


Рис. 7. Залежності різниці освітленості горизонтальної площини від сонячного часу для 79-го дня року (20 березня) для міст Одеса та Хмельницький

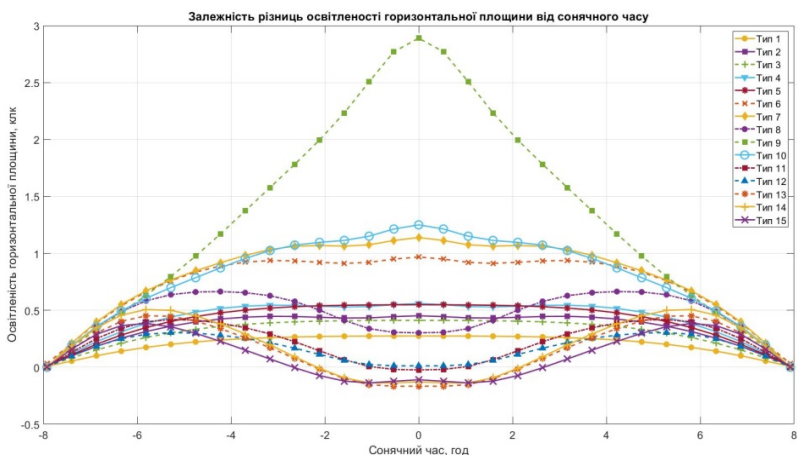


Рис. 8. Залежності різниці освітленості горизонтальної площини від сонячного часу для 173-го дня року (22 червня) для міст Одеса та Хмельницький

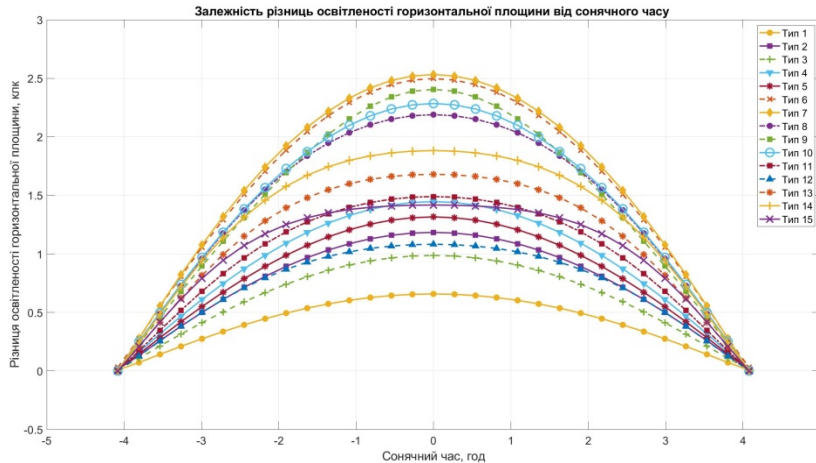


Рис. 9. Залежності різниці освітленості горизонтальної площини від сонячного часу для 355-го дня року (21 грудня) для міст Одеса та Хмельницький

1. Гарбарук Ю. В. Геометричне моделювання природної освітленості від дзеркально відбиваючих світлових шахт : дис. ... канд. техн. наук : 05.01.01. Київ, 2016. 165 с.
2. Пугачов Є. В. Дискретне геометричне моделювання скалярних і векторних полів стосовно будівельної світлотехніки : дис. ... д-ра техн. наук : 05.01.01. Київ, 2001. 324 с.
3. Alshaibani K. Average daylight factor for the ISO/CIE Standard General Sky. *Lighting Res. Technol.* 2016. Vol. 48. Pp. 742–754.
4. Kittler R., Darula S. CIE general sky standard defining luminance distribution. *Proceedings of eSim Conference*. Montreal : Canada, 2002. P. 36–43.
5. Kittler R., Darula S. The research search for the least beneficial overcast sky and progress in defining its luminance gradation function. *Building research journal*. 2014. Vol. 61, No. 3. Pp. 151–166.
6. Li W., Tang L., Lee M., T. Munner. Classification of CIE standard skies using probabilistic neural networks. *International journal of climatology*. 2009. Vol. 30. Pp. 305–315.
7. Tregenza P. R. Analysing sky luminance scans to obtain frequency distributions of CIE Standard General Skies. *Lighting Research and Technology*. 2004. Vol. 36(4). P. 271–281.
8. Yu-Feng Ho Aggression Models for the Indoor Natural Lighting in House Building. *Thesis for the Degree of Master*. Chaoyang University of Technology, 2012. 96 p.
9. Радомцев Д. О. Визначення типів небосхилів для м. Києва на основі ДСТУ ISO 15469:2008 «Розподіл яскравості денного світла просторовий». *Енергоефективність в будівництві та архітектурі* : наук.-техн. зб. Київ : КНУБА, 2015. Вип. 7. С. 248–261.
10. Радомцев Д. О. Визначення типів небозводів для території західної частини України у відповідності до ДСТУ ISO 15469:2008 «Розподіл яскравості денного світла». *Сучасні проблеми моделювання* : зб. наук. праць. Мелітополь : МДПУ ім. Б. Хмельницького, 2015. Вип. 4. С. 113–119.
11. Радомцев Д. О., Сергейчук О. В. Моделювання станів небозводу на території України у відповідності до ДСТУ ISO 15469:2008 «Розподіл яскравості денного світла». *Вісник Херсонського національного технічного*

університету. Херсон : ХНТУ, 2015. Вип. 3(54). С. 604–609. **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 Generation Communication and Networking* (25–28 November 2015, Jeju Island, South Korea), FGNC 2015 IEEE CPS Post Proceedings. Jeju : SERSC, 2015. Pp. 49–54. ISBN 978-1-4673-9834-3/15. URL: <https://www.doi.org/10.1109/FGNC.2015.22> (дата звернення: 10.07.2024). **13.** 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, 2016. Vol. 10, No. 1. Pp. 57–70. URL: <https://doi.org/10.14257/ijsh.2016.10.1.07> (дата звернення: 10.07.2024). **14.** Wittkopf S. K. Analysing sky luminance scans and predicting frequent sky patterns in Singapore. *Lighting Research and Technology*. 2007. Vol. 39(1). P. 31–51. **15.** 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*. 2014. Vol. 13. Pp. 22–30. **16.** Ng E., Cheng V., Gadi A., Mu J., Lee M., Gadi A. Defining standard skies for Hong Kong. *Building and Environment*. 2007. Vol. 42. Pp. 866–876. **17.** Пугачов Є. В., Літницький С. І., Кундрат Т. М., Зданевич В. А. Аналіз визначення відношення яскравості довільного елемента небозводу до яскравості в zenіті, наведеного в ДСТУ ISO 15469:2008. *Сучасні проблеми моделювання* : зб. наук. праць / МДПУ ім. Б.Хмельницького ; гол. ред. А. В. Найдиш. Мелітополь : Видавництво МДПУ ім. Б.Хмельницького, 2023. Вип. 25. С. 184–192. **18.** 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. Harbaruk Yu. V. Heometrychne modeliuвання pryrodnoi osvitenosti vid dzerkalno vidbyvaiuchykh svitlovykh shakht : dys. ... kand. tekhn. nauk : 05.01.01. Kyiv, 2016. 165 s. **2.** Puhachov Ye. V. Dyskretne heometrychne modeliuвання skaliarnykh i vektornykh poliv stosovno budivelnoi svitlotekhniky : dys. ... d-ra tekhn. nauk : 05.01.01. Kyiv, 2001. 324 s. **3.** Alshaibani K. Average daylight factor for the ISO/CIE Standard General Sky. *Lighting Res. Technol.* 2016. Vol. 48. Pp. 742–754. **4.** Kittler R., Darula S. CIE general sky standard defining luminance distribution. *Proceedings of eSim Conference*. Montreal : Canada, 2002. P. 36–43. **5.** Kittler R., Darula S. The research search for the least beneficial overcast sky and progress in defining its luminance gradation function. *Building research journal*. 2014. Vol. 61, No. 3. Pp. 151–166. **6.** Li W., Tang L., Lee M., T. Munner. Classification of CIE standard skies using probabilistic neural networks. *International journal of climatology*. 2009. Vol. 30. Pp. 305–315. **7.** Tregenza P. R. Analysing sky luminance scans to obtain frequency distributions of CIE Standard General Skies. *Lighting Research and Technology*. 2004. Vol. 36(4). P. 271–281. **8.** Yu-Feng Ho



Aggression Models for the Indoor Natural Lighting in House Building. Thesis for the Degree of Master. Chaoyang University of Technology, 2012. 96 p.

9. Radomtsev D. O. Vyznachennia typiv neboskhyliv dlia m. Kyieva na osnovi DSTU ISO 15469:2008 «Rozpodil yaskravosti dennoho svitla prostorovy». *Enerhoefektyvnist v budivnytstvi ta arkhitekturi* : nauk.-tekhn. zb. Kyiv : KNUBA, 2015. Vyp. 7. S. 248–261.

10. Radomtsev D. O. Vyznachennia typiv nebozvodiv dlia terytorii zakhidnoi chastyny Ukrainy u vidpovidnosti do DSTU ISO 15469:2008 «Rozpodil yaskravosti dennoho svitla». *Suchasni problemy modeliuvannia* : zb. nauk. prats. Melitopol : MDPU im. B. Khmelnytskoho, 2015. Vyp. 4. S. 113–119.

11. Radomtsev D. O., Serheichuk O. V. Modeliuvannia staniv nebozvodu na terytorii Ukrainy u vidpovidnosti do DSTU ISO 15469:2008 «Rozpodil yaskravosti dennoho svitla». *Visnyk Khersonskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu*. Kherson : KhNTU, 2015. Vyp. 3(54). S. 604–609.

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 Generation Communication and Networking* (25–28 November 2015, Jeju Island, South Korea), FGCN 2015 IEEE CPS Post Proceedings. Jeju : SERSC, 2015. Pp. 49–54. ISBN 978-1-4673-9834-3/15. URL: <https://www.doi.org/10.1109/FGCN.2015.22> (data zvernennia: 10.07.2024).

13. 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, 2016. Vol. 10, No. 1. Pp. 57–70. URL: <https://doi.org/10.14257/ijsh.2016.10.1.07> (data zvernennia: 10.07.2024).

14. Wittkopf S. K. Analysing sky luminance scans and predicting frequent sky patterns in Singapore. *Lighting Research and Technology*. 2007. Vol. 39(1). P. 31–51.

15. 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*. 2014. Vol. 13. Pp. 22–30.

16. Ng E., Cheng V., Gadi A., Mu J., Lee M., Gadi A. Defining standard skies for Hong Kong. *Building and Environment*. 2007. Vol. 42. Pp. 866–876.

17. Puhachov Ye. V., Litnitskyi S. I., Kundrat T. M., Zdanevych V. A. Analiz vyznachennia vidnoshennia yaskravosti dovilnoho elementa nebozvodu do yaskravosti v zeniti, navedenoho v DSTU ISO 15469:2008. *Cuchasni problemy modeliuvannia* : zb. nauk. prats / MDPU im. B. Khmelnytskoho ; hol. red. A. V. Naidysh. Melitopol : Vydavnytstvo MDPU im. B. Khmelnytskoho, 2023. Vyp. 25. S. 184–192.

18. 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.

Puhachov Ye. V., Doctor of Engineering, Professor, Litnitskyi S. I., Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor, Kundrat T. M., Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor, Zdanevych V. A., Litnitskyi V. I., Senior Student (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

ILLUMINATION OF THE HORIZONTAL PLANES FROM DIFFERENT SKY TYPES FOR THE CITIES OF KHMELNYTSKYI AND ODESA AND ITS COMPARISON

The graphs of the dependence of the illuminance of the horizontal plane on the solar time from different types of skies 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 skies, 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.

The authors set themselves specific initial data and substituted them in the formulas for determining daylight. The obtained results were illustrated in the form of flat graphs.

The latitudes of the areas were equal to 49.25° and 46.29° (the latitudes of the cities of Khmelnytskyi and Odesa). The 79th day of the year (March 20), the 173rd day of the year (June 22) and the 355th day of the year (December 21) were chosen for the study. 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.

In the case of the 79th and 355th days, the greatest illumination was obtained from the 6th to the 10th skies types, and the least from the 1st and 3rd. All curves are symmetrical about noon. Therefore, the values for noon are maximum.

In the case of the 173rd day, the greatest illumination was obtained from the 6th to the 10th skies types, and the least from the 1st, 3rd, and 12th. The curves from the 1st to the 10th types of the sky



are symmetrical about noon. Therefore, the values for noon are maximum for them. Curves from the 11th to the 15th types of the sky change curvature twice and the value for noon will not be maximum for them. On the example of the illuminance curves for the 173rd day of the year, it can be seen that the range of illuminance changes at sunny noon is very large, which indicates the importance of the correct choice of the type of sky for adequate calculation of illuminance in this area.

Information on the daily course of horizontal illumination from the type of skylight characteristic of the area can be used to determine the critical external illumination and the rational use of artificial lighting.

Keywords: critical external illuminance; daylight; horizontal lightening; solar time; sky.