

МОДЕЛЮВАННЯ СТАНІВ НЕБОЗВОДУ НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ У ВІДПОВІДНОСТІ ДО ДСТУ ISO 15469:2008 «РОЗПОДІЛ ЯСКРАВОСТІ ДЕННОГО СВІТЛА»

На основі кліматичних даних у відповідності до ДСТУ ISO 15469:2008 «Розподіл яскравості денного світла» визначені стандартні типи небозводу для території України. Проведено моделювання спектрального складу сонячного випромінювання та просторового розподілу яскравості по небу. Запропонована карта уточненого світлокліматичного районування території країни.

Ключові слова: будівельна кліматологія, світлокліматичне районування території, сонячне світлове випромінювання, стандартизований МКО тип небозводу.

Д.А. РАДОМЦЕВ, О.В. СЕРГЕЙЧУК
Киевский национальный университет строительства и архитектуры

МОДЕЛИРОВАНИЕ СОСТОЯНИЙ НЕБОСВОДА НА ТЕРРИТОРИИ УКРАИНЫ В СООТВЕТСТВИИ С ДСТУ ISO 15469:2008 «РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЯРКОСТИ ДНЕВНОГО СВЕТА»

На основе климатических данных в соответствии с ДСТУ ISO 15469:2008 «Распределение яркости дневного света» определены стандартные типы небосводов для территории Украины. Проведено моделирование спектрального состава солнечного излучения и пространственного распределения яркости по небу. Предложена карта уточнённого светоклиматического районирования территории Украины.

Ключевые слова: строительная климатология, светоклиматическое районирование территории, солнечное световое излучение, стандартизированный МКО тип небосвода.

D. RADOMTSEV, O. SERGEYCHUK
Kiev National University of Construction and Architecture

MODELING OF SKY CONDITIONS FOR THE TERRITORY OF UKRAINE ACCORDING TO DSTU ISO 15469:2008 «SPATIAL DISTRIBUTION OF DAYLIGHT»

Basing on the climate data according to the DSTU ISO 15469:2008 «Spatial distribution of daylight» have been defined the standard types of skies for the territory of Ukraine. Have been done the modeling of solar radiation's spectra and spatial luminance distribution. The detail map of light-climate zoning of the territory of Ukraine have been propose.

Keywords: building climatology, light-climate zoning of the territory, solar radiation, CIE standard sky.

Постановка проблеми

Одним з напрямків досліджень в будівельній світлофізиці є вивчення станів атмосфери за світловими характеристиками. Результатами наукових розробок стають математичні моделі, що описують розподіл яскравості по небу у певній географічній точці за різних кліматичних та атмосферних умов. Наразі широкого використання набувають моделі небозводу стандартизовані Міжнародною комісією з освітленості – CIE S 011/E:2003 [1], прийнята на території України у вигляді стандарту ДСТУ ISO 15469:2008 [2]. З огляду на те, що вказаний нормативний документ надає лише математичне описання розподілу денного світла, актуальним є визначення градацій небозводу для всієї території України на основі кліматичних даних за ДСТУ-Н Б.В.1.1-27:2010 [3] та виокремлення шляхів впровадження моделі до розробки інженерних методів розрахунку і нормування природного освітлення приміщень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

З часу введення стандарту ISO 15469 у Європі (2004 р.) вже проведені дослідження градації типів небозводу для Гонконгу [4], Чилі [5] та Сінгапуру [6]. Детальний опис алгоритму підбору та визначення групи стандартизованих типів неба для м. Києва та західної частини України зроблено у [7,8].

Світлокліматичне районування території СРСР (включно з Україною) проводилось за методикою Гусева у [9,10]. У [11] за вищезазначеною методикою розроблена карта світлокліматичних поясів України з 4 світловими зонами. Пізніше у [12] запропонована методика зонування за показниками «сумарна енергетична освітленість/коефіцієнт світлового клімату» та наведена карта світлокліматичного районування території України, що прийнята у [13] в якості архітектурно-будівельної норми.

Ціллю статті є визначення відповідності світлофізичних станів небозводу на території України до стандартизованих типів неба за МКО [1], проведення моделювання неба за результатами визначення та окреслення пропозицій щодо впровадження результатів досліджень до задач будівельної світлофізики.

Основна частина

Стандарт [1] впроваджує 15 типів небозводів, що розподіляються за хмарністю на 3 групи по 5 типів в кожній – хмарне небо, з мінливою хмарністю та безхмарне. Кожний зі станів неба описаний математично за допомогою єдиної формули розподілу яскравості по небозводу. Геометричний апарат моделі складається з наступних елементів:

- небозводу представленого у вигляді півсфери одиничного радіуса у сферичній системі координат;
- Сонця – точки на поверхні небозводу, положення якої визначається азимутом та висотою сонцестояння у задані час та день року;
- довільного елементу небозводу – розрахункової точки з заданим азимутом та кутовою висотою, для якої визначається відносна або абсолютна яскравість.

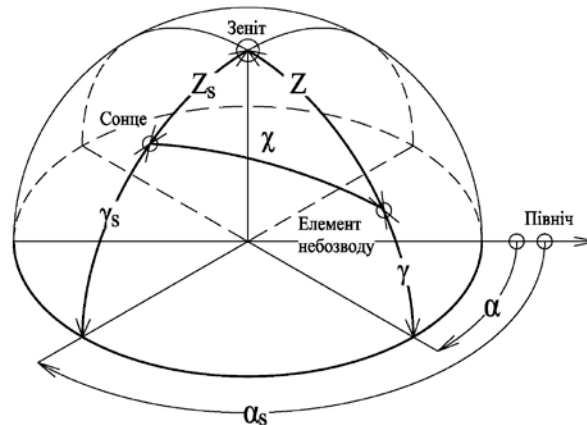


Рис 1. Геометричний апарат моделі стандартизованих типів небосхилів

Головними параметрами системи є дві функції, що пов'язують взаємне розташування елементів:

- $\varphi(Z)$ – функція градації яскравості, що поєднує вертикальне положення елементу небозводу та зеніту, описуючи вертикальний розподіл яскравості від горизонту до зеніту;
- $f(\chi)$ – функція індикатриси розсіювання, що поєднує горизонтальне положення елементу небосхилу та Сонця, описуючи горизонтальний розподіл яскравості.

Кожний з типів небозводу характеризується шістьма світлокліматичними параметрами та індивідуальним набором коефіцієнтів за двома значеннями функцій [2, табл.1], що підставляються в формулу розрахунку відносної яскравості елементу небозводу:

$$\frac{L_\gamma}{L_z} = \frac{f(\chi) \cdot \varphi(Z)}{f(Z_s) \cdot \varphi(0)} = \frac{(1+c[\exp(d\chi) - \exp(d\pi/2)] + e \cdot \cos^2 \chi) \times (1+a \cdot \exp(b/\cos Z))}{(1+c[\exp(dZ_s) - \exp(d\pi/2)] + e \cdot \cos^2 Z_s) \times (1+a \cdot \exp b)} \quad (1)$$

де L_γ – яскравість довільного елементу небозводу, кд/м²;

L_z – яскравість в зеніті небозводу, кд/м²;

γ – кутова висота довільного елементу небозводу, рад;

Z – зенітний кут довільного елементу небозводу, рад;

χ – кутова відстань від довільного елементу небозводу до Сонця, рад;

Z_s – зенітний кут Сонця, рад;

a, b, c, d, e – коефіцієнти, що визначають групу градацій та індикатрис типу небозводу, [2, табл.1].

Визначення типів небозводів ґрунтується на детальному описі математичної моделі за [14] та запропонованою методикою у [7]. Відповідно до методики проведення світлокліматичного районування території СРСР [9, с. 28] для розрахунків обрані середньорічні дані. Основною вихідною інформацією є кліматичні дані за табл. №№ 2, 8, 24 [3] та супутникові дані щодо яскравості в зеніті у містах [15]. Відсутні дані щодо яскравості в містах східної частини України отримані за методикою [15] в процесі розрахунку за ARSC-CIE моделлю небозводу [16], відповідно до якої яскравість в зеніті визначається за формулою:

$$L_z = D_v [a_i + c_i \cos Z_s + c'_i \exp(-3Z_s) + d_i \Delta] \quad (2)$$

де D_v – миттєва горизонтальна дифузна радіація при реальних умовах хмарності, Вт/м²;
 a_i, c_i, c_i', d_i – коефіцієнти, які визначають світлокліматичні характеристики небозводу за e -коефіцієнтом прозорості атмосфери, [16, табл.4] що розраховується за формулою:

$$e = [(D_v + E)/D_v + kZ_s^3]/[1 + kZ_s^3], \quad (3)$$

E – миттєва нормальна пряма радіація при реальних умовах хмарності, Вт/м²;
 Δ – відносна яскравість небозводу, що визначається за формулою:

$$\Delta = D_v * m / E_{v0}, \quad (4)$$

де m – відносна оптична маса атмосфери;

E_{v0} – енергетична освітленість площини, яка є нормальною до випромінювання на середній відстані від Сонця до Землі. $E_{v0} = 1366,1$ Вт/м²;

Відповідно до [14] головним параметром, що характеризує тип небозводу для конкретної місцевості, є L_z/D_v – співвідношення яскравості у зеніті до горизонтальної дифузної освітленості під відкритим небозводом. З огляду на те, що наявні супутникові дані є моментальними світловими величинами, а значення дифузної освітленості є сумарними за місяць енергетичними величинами, для коректного співвідношення даних треба провести ряд математичних перетворень:

1. *Знайти середньорічне значення енергетичної дифузної сонячної радіації.* На основі даних за табл. 8 [3] для 12 місяців виводиться середнє арифметичне значення.
2. *Розрахувати моментальне значення розсіяного випромінювання.* Визначення відбувається за допомогою програмного комплексу “Atmospheric radiation” базуючись на розрахунку довжини світлового дня для цивільних призмеків, що наведений у [17].
3. *Визначити світловий еквівалент на основі спектрального складу сонячного випромінювання та розрахувати середньорічне моментальне значення горизонтальної дифузної освітленості.* Світловий потік джерела з суцільним спектром розраховується за формулою:

$$\Phi = 683 \int_{380}^{780} \Phi_{e\lambda}(\lambda) V(\lambda) d\lambda \quad (5)$$

де Φ – світловий потік, лм;

$\Phi_{e\lambda}(\lambda)$ – спектральна щільність потоку випромінювання;

$V(\lambda)$ – відносна спектральна світлова ефективність.

Спектральна щільність потоку розрахована за допомогою програмного комплексу “SMARTS”, розробленого Національною лабораторією відновлювальної енергетики США [18]. Результатом розрахунку спектральної щільності є дані щодо потужності потоку світла для елементарної довжини хвилі в діапазоні 280÷4000 нм (рис.2).

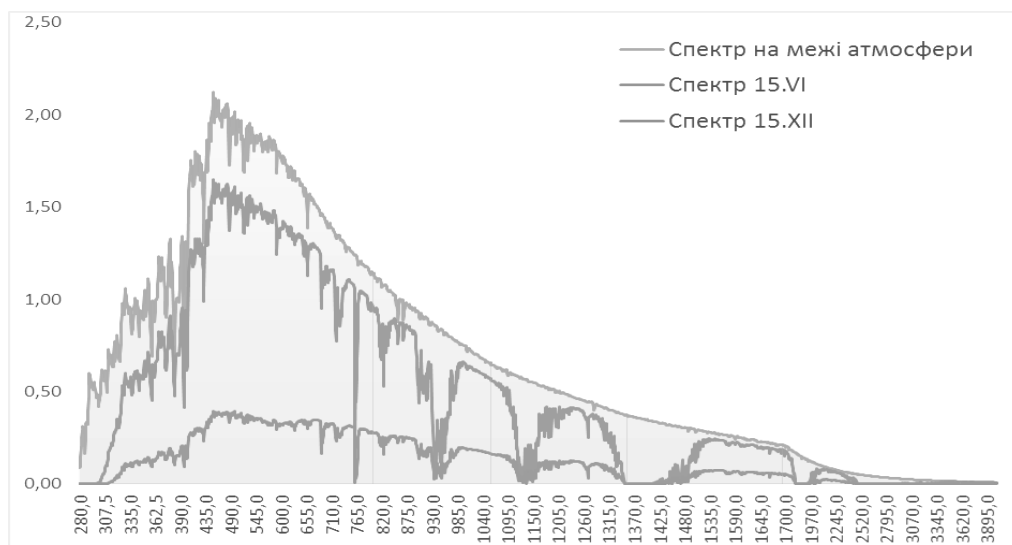


Рис 2. Графіки спектрального складу сонячного випромінювання для м. Кисва о 12⁰⁰ 15.VI та 15.XII на межі атмосфери та на горизонтальній поверхні Землі

На основі отриманих даних та графіків розподілу спектру знайдені коефіцієнти відносної спектральної щільності випромінювання з кроком через 10 нм (табл.1), та значення світлового еквівалента для дифузного сонячного випромінювання.

Таблиця 1.

Відносна спектральна щільність потоку випромінювання $\Phi_{ек}(\lambda)$ у видимому спектрі для м. Кисва, 15.VI.

Довжина хвилі, нм	$\Phi_{ек}(\lambda)$	Довжина хвилі, нм	$\Phi_{ек}(\lambda)$	Довжина хвилі, нм	$\Phi_{ек}(\lambda)$
380	0.42139978	520	0.879320875	660	0.746915842
390	0.520214975	530	0.90106266	670	0.771589105
400	0.710395	540	0.846219616	680	0.761206791
410	0.671308171	550	0.886405277	690	0.594356907
420	0.763527544	560	0.835104434	700	0.692194943
430	0.607059973	570	0.804812508	710	0.720776841
440	0.821179919	580	0.817882008	720	0.515207036
450	0.963967	590	0.741297178	730	0.593868328
460	0.955661414	600	0.791620862	740	0.67228533
470	0.928789544	610	0.797239526	750	0.678148284
480	0.969463784	620	0.794308049	760	0.074911445
490	0.972761695	630	0.734701356	770	0.630145352
500	0.909490656	640	0.778917797	780	0.628557469
510	0.898741908	650	0.748748015		

Значення відносного розподілу спектру для інших розрахункових днів отримуються шляхом лінійного інтерполювання. Таким чином, підставивши у формулу (8) коефіцієнти спектральної щільності потоку та коефіцієнти відносної спектральної світлової ефективності сонячного випромінювання (стор. 63, 18), отримуємо світлові величини горизонтальної дифузної освітленості. Визначивши середньорічне значення співвідношення розсіяної освітленості до яскравості у зеніті, за [14, табл.1] проведено підбір типу небозводу для обласних центрів України (табл.2).

Для порівняння результатів підбору використані дані горизонтальної дифузної радіації за ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 [3, табл. 8] з подальшим перетворенням до світлових величин, абсолютні значення яскравості в зеніті [15] та розрахункові значення горизонтальної освітленості, отримані при моделюванні розподілу яскравості по півсферичному небозводу відповідно до формули (1). Освітленість розрахункової точки на довільно розташованій площині розраховується як інтегральна характеристика світлового поля [19, с. 177]:

$$E = \int_{\omega} L(\beta, \gamma) \cos\beta d\omega \quad (11)$$

де $L(\beta, \gamma)$ – яскравість довільного елемента небосхилу в напрямку заданому кутами β і γ , кд/м²;

$\cos\beta$ – функція цінності випромінювання;

ω – тілесний кут, в межах якого знаходиться випромінююча світло поверхня.

Таблиця 2.

Визначення стандартизованого типу небозводу для території України

№ п/п	Назва міста	D_v річ сер', МДж/м ²	D_v річ сер', Вт/м ²	D_v річ сер', Лк	L_z річ сер', Кд/м ²	$L_{zсер} / D_{vсер}$	D_v розр Лк	D_v річ сер' / D_v розр, %	Тип неба
1	Вінниця	164,66	114,33	18221	4450	0,24	18251	0,16	III.4
2	Дніпропетровськ	167,00	116,01	18461	4456	0,24	18668	1,11	
3	Донецьк	165,08	113,22	18022	4430	0,24	18496	2,56	
4	Житомир	164,25	115,44	18252	4483	0,24	18386	0,72	
5	Запоріжжя	167,66	114,98	18230	4461	0,24	18625	2,12	
6	Івано-Франківськ	161,83	112,42	18223	4460	0,24	18615	2,10	
7	Київ	167,41	117,67	18166	4315	0,23	18242	0,41	
8	Кіровоград	169,91	118,03	18695	4434	0,23	18576	0,64	
9	Луганськ	164,16	114,04	18104	4418	0,24	18512	2,20	
10	Луцьк	162,33	114,09	18035	4097	0,23	17635	2,26	
11	Львів	161,33	112,02	18206	4395	0,24	18517	1,68	
12	Миколаїв	165,75	119,17	18812	4671	0,24	19403	3,04	
13	Одеса	166,25	120,03	19026	4617	0,23	19150	0,64	
14	Полтава	166,33	115,49	18303	4378	0,24	18433	0,70	
15	Рівне	162,41	114,15	18035	4175	0,23	17657	2,14	
16	Сімферополь	167,92	121,78	19330	4742	0,24	19490	0,82	
17	Суми	161,08	113,21	18025	4090	0,23	17297	4,20	
18	Тернопіль	161,16	111,90	18254	4461	0,24	18780	2,80	
19	Ужгород	163,16	115,43	18226	4416	0,24	18504	1,50	
20	Харків	163,50	114,92	18222	4323	0,23	18254	0,17	
21	Херсон	165,17	120,14	19014	4672	0,24	19387	1,92	
22	Хмельницький	161,00	111,78	18217	4445	0,24	18704	2,60	
23	Черкаси	166,75	117,17	18246	4432	0,24	18652	2,17	
24	Чернівці	163,58	113,63	18771	4514	0,24	18901	0,68	
25	Чернігів	168,75	117,16	17734	4085	0,23	17347	2,23	

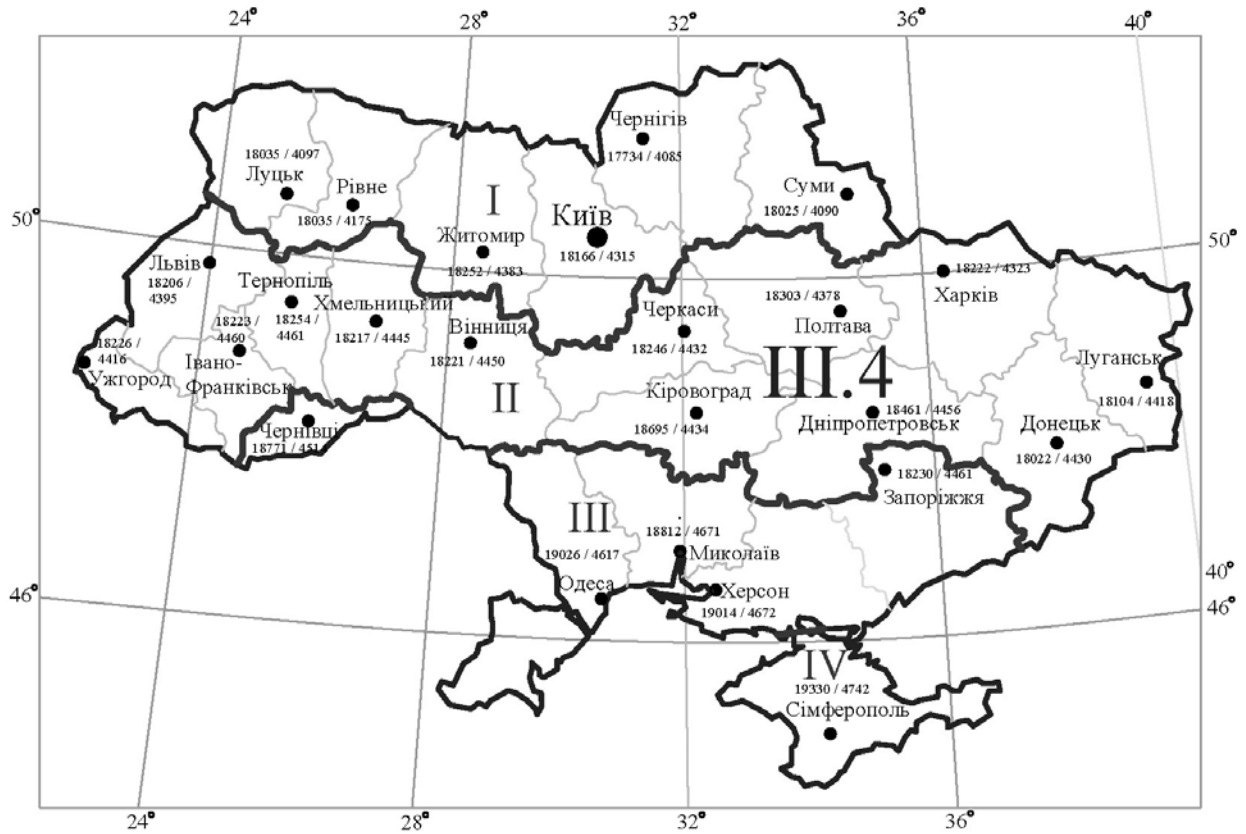


Рис 3. Уточнена карта світлокліматичного районування території України

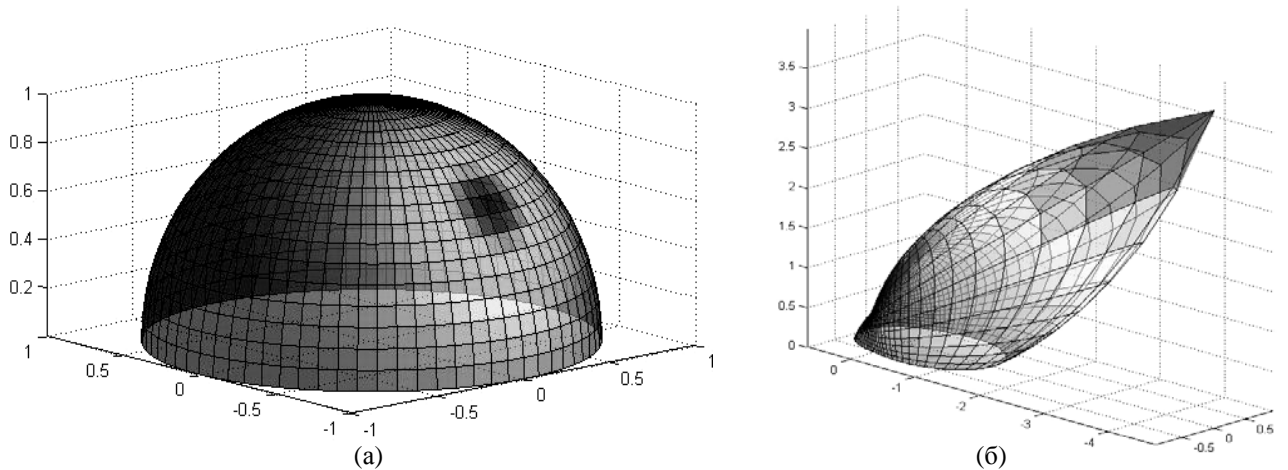


Рис 4. Розподіл відносної яскравості по півсфері небозводу (а) та по умовній поверхні (б)

Висновки

В результаті підбору типів небозводу для території України визначено, що за середньорічними показниками світлокліматичний стан неба міст країни відповідає єдиному типу небозводу - № III.4 “Мінлива хмарність без градації у напрямку до zenіту, з чіткою сонячною короною”. Результати переведення горизонтальної дифузної освітленості з енергетичної величини до світлової співставленні із розрахунковими значеннями горизонтальної освітленості за математичною моделлю [2] з обраним типом небозводу. Відносна похибка складає $0,16 \div 4,20$ %, що свідчить про вірогідність обрання типу небозводу для розглянутої території. Крім того для території України визначені середньорічні дані щодо яскравості у zenіті та побудовані графіки спектрального складу сонячного випромінювання.

Отримані результати досліджень передбачається впровадити у будівельні стандарти в якості коригування розрахунку КПО за методикою ДБН В.2.5-28:2006 в частині заміни розрахункової формули коефіцієнта q , що враховує нерівномірну яскравість ділянки хмарного неба МКО, на таблиці із попередньо

розрахованими значеннями коефіцієнту при заданих азимуті та кутовій висоті ділянки небозводу. Також перспективним вважається можливість впровадження розрахунку відносних та абсолютних значень освітленості при проведенні світлотехнічних розрахунків у нових державних стандартах з розрахунку природної освітленості у вигляді інженерного методу і/або автоматизованого програмного комплексу.

Список використаної літератури

1. Spatial distribution of daylight – CIE standard general sky : CIE S 011/E:2003 (ISO 15469:2004(E)). – Vienna: CIE Central Bureau Vienna, 2003. – 7 p. – (CIE draft standard).
2. Розподіл яскравості денного світла просторовий. Стандартне хмарне та безхмарне небо згідно з CIE (ISO 15469:2004, IDT) : ДСТУ ISO 15469:2008. – [Чинний від 2010-01-01]. – К. : Держспоживстандарт України, 2013. – 7 с. – (Національний стандарт України).
3. Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівельна кліматологія : ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. – [Чинний від 2011-11-01]. – К. : Мінрегіонбуд України, 2011. – 127 с. – (Національний стандарт України).
4. Ng E. Defining standard skies for Hong Kong / E. Ng, V.A. Cheng, J. Mu, M. Lee, A. Gadi // Building and Environment. – 2007. – № 42. – P. 866-876.
5. Piderit M. Definition of the CIE standard skies and application of the HDRI technique to characterize the spatial distribution of daylight in Chile / M.B. Piderit, C. Cauwerts, M. Diaz // Journal of Construction. – 2014. – № 13. – P. 22-30.
6. Wittkopf S. Analysing sky luminance scans and predicting frequent sky patterns in Singapore / S. Wittkopf, L. Soon // Lighting research and technology. – 2007. – № 39. – P. 31-51.
7. Радомцев Д.О. Визначення типів небосхилів для м. Києва на основі ДСТУ ISO 15469:2008. / Д.О. Радомцев // Енергоефективність в будівництві та архітектурі. – 2015. – № 7. – С. 248-261.
8. Радомцев Д.О. Визначення типів небозводів для території західної частини України у відповідності до ДСТУ ISO 15469:2008 "Розподіл яскравості денного світла" / Д.О. Радомцев // Сучасні проблеми моделювання. – 2015. – № 4. – С. 113-120.
9. Гусев Н.М. Основы строительной физики / Н.М. Гусев. – М.: Стройиздат, 1975. – 440 с.
10. Строительная климатология и геофизика : СНиП II-A.6-72. – [Действителен от 1972-10-01]. М. : Госстрой СССР, 1972. – 321. – (Государственный стандарт СССР).
11. Егорченков В.О. Світловий клімат України. / В.О. Егорченков // Будівництво України. – 2005. – № 2. – С. 21-23.
12. Подгорный А.Л. Геометрические основы изменения №2 ДБН В.2.5-28-2006 "Естественное и искусственное освещение" / А.Л. Подгорный, О.В. Сергейчук, М.З. Диб та ін. // Прикл. геометрія та інж. графіка. – 2012. – №90. – С. 272-280.
13. Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення : ДБН В.2.5-28:2006. Зміна №2. – [Чинний від 2012-09-01]. – К. : Мінрегіонбуд України, 2012. – 34 с. – (Державні будівельні норми України).
14. Kittler R. 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 / R. Kittler, R. Perez, S. Darula. – Bratislava.: Polygrafia, 1998. – 54 p.
15. Satelight. The European database of daylight and solar radiation [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.satel-light.com/core.htm>
16. Perez R. Modeling daylight availability and irradiance components from direct and global irradiance. / R. Perez, P. Ineichen, R. Seals, J. Michalsky, R. Stewart // Solar energy. – 1990. – № 44. – P. 271-289.
17. Сергейчук О.В. Геометричне моделювання фізичних процесів при оптимізації форми енергоефективних будинків: дис. ... доктора технічних наук : 05.01.01 / Олег Васильович Сергейчук. – Київ, 2008. – 425 с.
18. Reference solar spectra irradiance. National renewable energy laboratory spectral solar radiation database [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://tredc.nrel.gov/solar/spectra/am1.5.htm>.
19. Щепина Н.С. Основы светотехники / Н.С. Щепина. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 344 с.