

## ВИЗНАЧЕННЯ ТИПІВ НЕБОСХИЛІВ ДЛЯ М. КИЄВА НА ОСНОВІ ДСТУ ISO 15469:2008 «РОЗПОДІЛ ЯСКРАВОСТІ ДЕННОГО СВІТЛА ПРОСТОРОВИЙ»

*Київський національний університет будівництва і архітектури, Україна*

*На основі прийнятих у 2010 р. на території України стандартів ДСТУ ISO 15469:2008 «Розподіл яскравості денного світла» та ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 «Будівельна кліматологія» проведений аналіз світло-кліматичного стану небосхилів м. Києва протягом року з подальшим визначенням притаманних даних місцевості стандартизованих МКО типів неба.*

**Ключові слова:** *стандартизований МКО тип небосхилу, сонячне світлове випромінювання, будівельна кліматологія.*

**Постановка проблеми.** Як відомо, розділ будівельної кліматології є складовою і невід'ємною частиною як будівельної фізики окремо, так і архітектурного проектування в цілому. Вивчення станів атмосфери та атмосферних явищ з позиції будівельної фізики призвело до розробки низки математичних моделей небосхилів, що надають змогу розрахувати як яскравість неба, так і освітленість довільно розташованих у просторі площин від небосхилів. Наразі широкого використання набуває модель небосхилів стандартизована Міжнародною комісією з освітленості (далі по тексту - МКО) - CIE S 011/E:2003 (ISO 15469:2004(E). «Spatial distribution of daylight – CIE standard general sky» [1], прийнята на території України у вигляді ДСТУ ISO 15469:2008. «Розподіл яскравості денного світла просторовий. Стандартне хмарне та безхмарне небо згідно з CIE (ISO 15469:2004, IDT)» [2]. З огляду на те, що вказані стандарти описують тільки математичне моделювання яскравості небосхилу, детального вивчення потребують шляхи застосування нової моделі в будівельній світлофізиці та визначення градації стандартизованих типів неба на території України на основі даних ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 «Будівельна кліматологія» [3].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** До моменту введення МКО в силу стандарту ISO 15469:2004 «CIE standard general sky», діяв документ CIE S 003/E:1996 (ISO 15469:1997) «CIE standard overcast sky and clear sky» [4], який математично описував тільки небосхил із суцільною хмарністю за формулою Муна-Спенсера [стор. 36, 5]:

$$\frac{L_{\gamma}}{L_z} = \frac{1+2\sin\gamma}{3} = \frac{1+2\cos Z}{3}, \quad (1)$$

де  $L_{\gamma}$  – яскравість довільного елемента небосхилу, кд/м<sup>2</sup>;

$L_z$  – яскравість в зеніті небосхилу, кд/м<sup>2</sup>;

$\gamma$  – кутова висота довільного елемента небосхилу, рад;

$Z$  – зенітний кут довільного елемента небосхилу, рад.

та безхмарний небосхил за формулою Кіттлера [стор. 37, 5]:

$$\frac{L_{\gamma}}{L_z} = \frac{(1 - e^{0.22/\sin\gamma}) / (0.91 + 10e^{-2\chi} + 0.45\cos^2\chi)}{0.274(0.91 + 10e^{-2Z_s} + 0.45\cos^2Z_s)}, \quad (2)$$

де  $\chi$  – кутова відстань від довільного елемента небосхилу до Сонця, рад;

$Z_s$  – зенітний кут Сонця, рад.

В цей час Інститут будівництва і архітектури Словацької академії наук (Р. Кіттлер та С. Дарула) разом із Дослідницьким центром з вивчення атмосфери, США (Р. Перез) на основі багаторічних кліматологічних даних розробили звіт в якому запропонували єдину математичну модель для 15 типів небосхилів [6]. В результаті цей звіт був розглянутий технічною комісією МКО ТК 3-15 «Моделі яскравості небосхилів» та прийнятий в якості стандарту СІЕ S 011/E:2003 (ISO 15469:2004(E), як документу який включає в себе раніше запропоновані у СІЕ S 003/E:1996 (ISO 15469:1997) моделі хмарного та безхмарного неба та трактує їх як окремі випадки загальної моделі [стор.5, 1, стор.4, 2], заміняє попередній стандарт та вводить 15 типів станів небосхилів [стор.8, 6, стор.12, 7].

З моменту введення нового стандарту проведено багато зарубіжних досліджень градацій стандартних типів небосхилів для конкретних місцевостей. Британський вчений П. Трегенза запропонував метод визначення станів неба на основі вимірних даних яскравості небосхила напівсферою із 145 камерами, сумарної освітленості горизонтальної площини та подальшого співставлення із результатами моделювання яскравості кожного типу неба МКО і розрахункової освітленості горизонтальної площини під відкритим небом [8]. На основі запропонованого методу китайські науковці В.Лі, Л. Танг разом із британським вченим Т. Мунером провели дослідження в якому виконали вимірювання яскравості неба на території Гонконгу з 1999 по 2005 рр. та на основі методу найменших статистичних похибок із використанням нейронних мереж визначили 3 стандартизовані типи небосхилів із найбільшою частотою повторювань протягом року [9]. Згодом інша група китайських вчених виконала уточнення проведених досліджень та запропонувала набір з 4 типових станів небосхилів Гонконгу [10]. Відомі розробки щодо визначення типів неба для Чилі [11] та Сінгапуру [12].

**Постановка задачі.** На основі кліматологічних даних за ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010, супутникових даних та існуючих методик визначити відповідність реальних світлофізичних станів атмосфери м. Києва до типів небосхилів за МКО для 12 години 15 числа кожного місяця.

**Основна частина.** Як зазначалось вище, в основу нового стандарту СІЕ S 011/E:2003 (ISO 15469:2004(E) закладені дослідження словацьких вчених Кіттлера та Дарули в рамках міжнародної наукової програми, що стартувала 1 липня 1994р. та закінчилась 30 червня 1998р. Метою

програми було створення набору типів небосхилів, які б описували найбільш розповсюджені стани неба з можливістю використання даного набору у світлотехнічних розрахунках.

Вказані дослідження базуються на багаторічних вимірюваннях освітленості та яскравості небосхилів отриманих на метеорологічних станціях у декількох містах світу:

- Берклі, штат Каліфорнія, США, 1985-1986рр.;
- Олбані, штат Нью-Йорк, США, 1993-1995рр.;
- Токіо, Японія, 1992р.;
- Сідней, Австралія, 1992р.;
- Братислава, Словачія, 1994-1996рр.

Після співставлення та систематизації отриманих даних було виведено 2 головних параметри системи (рис. 1):

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

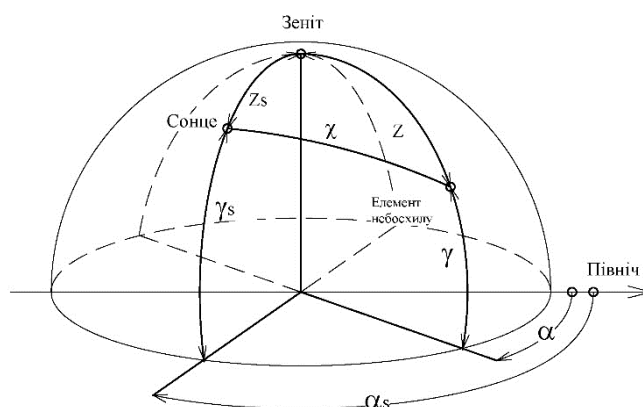


Рис 1. Геометричний апарат моделі стандартизованих типів небосхилів

На основі вказаних функцій виведено 6 груп градацій та 6 груп індикатрис, комбінації яких описують 3 групи небосхилів (хмарне, з мінливою хмарністю та безхмарне) по 5 типів в кожній групі для опису стандартних станів неба [стор.8, 6, стор.12, 7]. Кожному з типів небосхилів відповідають характерні коефіцієнти (табл.1), що підставляються в загальну формулу розрахунку відносної яскравості елемента небосхилу:

$$\frac{L_{\gamma}}{L_Z} = \frac{f(\chi) \cdot \varphi(Z)}{f(Z_s) \cdot \varphi(0)} = \frac{(1+c \cdot [\exp(d\chi) - \exp(d\pi/2)] + e \cdot \cos^2 \chi) \times (1+a \cdot \exp(b/\cos Z))}{(1+c \cdot [\exp(dZ_s) - \exp(d\pi/2)] + e \cdot \cos^2 Z_s) \times (1+a \cdot \exp b)}, \quad (3)$$

де  $a, b, c, d, e$  – коефіцієнти, що визначають групу градацій та індикатрис стандартизованого типу небосхилу, [стор.20-21, 6];

## Стандартні параметри небосхилів

№	Тип неба	Опис типу небосхилу	Станд. парам. градації	Станд. парам. індикатрис	$D_v/E_v$	$T_v$	$L_z/D_v$	Співвід градацій zenit/горизонт	Співвід індикатрис $f(0)/f(90)$
1	I.1	Стандартне хмарне небо згідно з СІЕ, різка градація у напрямку до zenitu, азимутальна однорідність	a = 4 b = -0.7	c = 0 d = -1 e = 0	0.05– 0.4	>40	>0.38	1:0.1 - 1:0.5	0.8:1 – 1.2:1
2	I.2	Суцільна хмарність із різкою градацією яскравості і невеликими проясненнями у напрямку до zenitu	a = 4 b = -0.7	c = 2 d = -1,5 e = 0,15	0.1 - 0.3	>15	0.38	1:0.1 - 1:0.5	1.2:1 – 3.5:1
3	II.1	Суцільна хмарність із помірною градацією, з азимутальною однорідністю	a = 1.1 b = -0.8	c = 0 d = -1 e = 0	0.1 - 0.35	20	0.33- 0.38	1:0.5 – 1:0.85	0.8:1 – 1.2:1
4	II.2	Суцільна хмарність із помірною градацією і невеликим проясненням у напрямку до Сонця	a = 1.1 b = -0.8	c = 2 d = -1,5 e = 0,15	0.15 – 0.45	15	0.32- 0.35	1:0.5 – 1:0.85	1.2:1 – 3.5:1
5	III.1	Небо з рівномірною яскравістю	a = 0 b = -1	c = 0 d = -1,0 e = 0	0.1 - 0.35	>20	0.3- 0.33	1:0.85 – 1:1.35	0.8:1– 1.2:1
6	III.2	Мінлива хмарність без градації у напрямку до zenitu, невелике прояснення у напрямку до Сонця	a = 0 b = -1	c = 2 d = -1,5 e = 0,15	0.2 – 0.5	15	0.27- 0.32	1:0.85 – 1:1.35	1.2:1 – 3.5:1
7	III.3	Мінлива хмарність без градації у напрямку до zenitu, більш яскраве у зоні, що оточує Сонце	a = 0 b = -1	c = 5 d = -2,5 e = 0,30	0.2 – 0.6	12	0.25- 0.3	1:0.85 – 1:1.35	3.5:1 – 7:1
8	III.4	Мінлива хмарність без градації у напрямку до zenitu, з чіткою сонячною короною	a = 0 b = -1	c = 10 d = -3,0 e = 0,45	0.2 – 0.6	5- 12	0.22- 0.26	1:0.85 – 1:1.35	7:1 – 13:1
9	IV.2	Мінлива хмарність із затіненим Сонцем	a = -1.0 b = -0.55	c = 2 d = -1,5 e = 0,15	0.2 – 0.5	10	0.19- 0.23	1:1.35 – 1:3	1.2:1 – 3.5:1
10	IV.3	Мінлива хмарність із проясненням у зоні, що оточує Сонце	a = -1.0 b = -0.55	c = 5 d = -2,5 e = 0,30	0.2 – 0.5	6- 12	0.17- 0.2	1:1.35 – 1:3	3.5:1 – 7:1
11	IV.4	Біло-блакитне небо з чіткою сонячною короною	a = -1.0 b = -0.55	c = 10 d = -3,0 e = 0,45	0.1 – 0.5	2.5- 6.5	0.15- 0.17	1:1.35 – 1:3	7:1 – 13:1
12	V.4	Стандартне безхмарне небо згідно з СІЕ, яскравість із низькою туманністю	a = -1.0 b = -0.32	c = 10 d = -3,0 e = 0,45	0.1 – 0.4	2 - 5	0.13- 0.16	1:3 – 1:5	7:1 – 13:1
13	V.5	Стандартне безхмарне небо згідно з СІЕ, забруднена атмосфера	a = -1.0 b = -0.32	c = 16 d = -3,0 e = 0,30	0.2 – 0.5	3 – 8	0.12- 0.15	1:3 – 1:5	13:1 – 20:1
14	VI.5	Безхмарне туманне небо із широкою сонячною короною	a = -1.0 b = -0.15	c = 16 d = -3,0 e = 0,30	0.1 – 0.4	4 - 10	<0.13	>1:5	13:1 – 20:1
15	VI.6	Біло-блакитне туманне небо із широкою сонячною короною	a = -1.0 b = -0.15	c = 24 d = -2,8 e = 0,15	0.12 – 0.5	3 – 8	<0.12	>1:5	>20:1

Виходячи з табл. 1 основні параметри, що описують типи небосхилів:

1. Група небосхилу за хмарністю;
2.  $D_v/E_v$  – відношення горизонтальної дифузної освітленості до горизонтальної освітленості на межі зовнішнього шару атмосфери;
3.  $T_v$  – фактор мутності;
4.  $L_z/D_v$  – відношення яскравості у zenitі до горизонтальної дифузної освітленості.

1. За хмарністю небосхили визначаються на основі частоти повторювань днів із хмарним, з мінливою хмарністю або безхмарним небом з подальшим віднесенням до конкретної групи (табл. 2) [13].

Таблиця 2

Таблиця частоти повторювань станів неба за хмарністю

Місяць	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Загально
Хмарно	22	28	25	11	15	11	11	23	30	27	39	36	24
Мінлива хмарність	55	51	45	23	29	37	31	31	47	38	43	43	36
Без-хмарно	23	21	30	66	56	52	46	46	23	35	18	21	40
Група за хмарністю	II	II	II	III	III	III	III	III	II	II	II	II	II

2. Для визначення співвідношення  $D_v/E_v$  дані дифузної освітленості з ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 необхідно привести до миттєвих значень.

$$D_v = \frac{D_{v\text{міс}}}{n \cdot t}, \quad (4)$$

де  $D_v$  – миттєва горизонтальна дифузна радіація при реальних умовах хмарності, Вт/м<sup>2</sup>;

$D_{v\text{міс}}$  - середньомісячна горизонтальна дифузна радіація при реальних умовах хмарності, МДж/м<sup>2</sup> [табл.8, 3];

$n$  - кількість днів в місяці, шт.;

$t$  - довжина світлового дня у секундах (від початку світанку та кінця заходу)

Як зазначалось раніше  $E_v$  - горизонтальна освітленість на межі зовнішнього шару атмосфери, Вт/м<sup>2</sup> та визначається:

$$E_v = E_{v0} \times \sin \gamma_s, \quad (5)$$

де  $E_{v0}$  – енергетична освітленість площини нормальної до випромінювання на середній відстані від Сонця до Землі.  $E_{v0} = 1366,1$  Вт/м<sup>2</sup> [18];

$\gamma_s$  – кутова висота Сонця, °.

Таблиця 3

Зведена таблиця визначення співвідношення  $D_v/E_v$

№р.д.	15.01	15.02	15.03	15.04	15.05	15.06	15.07	15.08	15.09	15.10	15.11	15.12
$E_v$ , Вт/м <sup>2</sup>	441.4	621.1	829.3	1036.4	1168.0	1221.9	1200.4	1098.5	915.80	694.11	488.52	390.79
$D_{v\text{міс}}$ , МДж/м <sup>2</sup>	60	96	170	215	280	290	288	230	168	110	58	44
Час, сек	35220	40260	45060	53340	60060	64260	62340	56100	48900	42300	36540	33660
$D_v$ , Вт/м <sup>2</sup>	54.95	85.16	121.70	134.36	150.38	150.43	149.03	132.25	114.52	83.88	52.91	42.17
$D_v/E_v$	0.1244	0.1371	0.1467	0.1296	0.1287	0.1231	0.1241	0.1204	0.1250	0.1208	0.1083	0.1079

3.  $T_v$  – фактор мутності атмосфери, який у даній математичній моделі небосхилів визначається за допомогою наступних формул:

$$T_v = \frac{-\ln \times (P_v/E_v)}{a_v \times m}, \quad (6)$$

де  $P_v$  – горизонтальна пряма енергетична освітленість, Вт/м<sup>2</sup>;  
 $a_v$  – коефіцієнт проходження випромінювання крізь атмосферу;  
 $m$  – оптична маса атмосфери.

$$a_v = \frac{1}{9.9 + 0.043 \times m}, \quad (7)$$

$$m = \frac{1}{\sin \gamma_z + 0.50572 \times (\gamma_z + 6.07995^\circ)^{-1.6864}} \quad (8)$$

Миттєве значення горизонтальної прямої енергетичної освітленості визначається аналогічно до дифузної:

$$P_v = \frac{P_{vmdc}}{a_v}, \quad (9)$$

де  $P_{vmdc}$  - середньомісячна горизонтальна пряма радіація при реальних умовах хмарності, МДж/м<sup>2</sup> [табл.8, 3];

Таблиця 4

Таблиця визначення  $T_v$

№р.д.	15.01	15.02	15.03	15.04	15.05	15.06	15.07	15.08	15.09	15.10	15.11	15.12
$P_{vmdc}$ МДж/м <sup>2</sup>	25	46	100	170	285	300	300	265	170	80	23	15
$P_v$ Вт/м <sup>2</sup>	22.89	40.81	71.59	106.24	153.07	155.62	155.23	152.38	115.88	61.01	20.98	14.38
$m$	3.0714	2.1929	1.6454	1.3177	1.1696	1.1181	1.1381	1.2435	1.4907	1.9640	2.7804	3.4609
$a_v$	0.0997	0.1000	0.1003	0.1004	0.1005	0.1005	0.1005	0.1004	0.1004	0.1002	0.0998	0.0995
$T_v$	9.665	12.408	14.844	17.211	17.288	18.336	17.881	15.812	13.818	12.362	11.343	9.589

4. При визначенні співвідношення  $L_z/D_v$  дані щодо яскравості взяті із бази супутникових даних, отриманих в результаті діяльності міжнародної наукової програми «Satellite» протягом 5 років – з 1996 по 2000рр [13]. В даній роботі використана інформація за 1996р., як рік найближчий до часу базових вимірювань стандарту CIE S 011/E:2003. При цьому супутникові дані яскравості в зеніті  $L_z$  є світловою величиною, тому для можливості співставлення значення горизонтальної дифузної освітленості  $D_v$  необхідно перевести з енергетичної величини також до світлової.

Світловий потік джерела з суцільним спектром розраховується [стор.67, 14]:

$$\Phi = 683 \int_{380}^{780} \Phi_{sl}(\lambda) V(\lambda) d\lambda, \quad (10)$$

де  $\Phi$  – світловий потік, Лм;

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

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

Спектральна щільність потоку описана нормативом ДСТУ ISO 9845-1:2010 (ISO 9845-1:1992, IDT) «Енергія сонячна. Стандартний спектральний розподіл потоку сонячного випромінювання на поверхні землі при різних умовах надходження. Частина 1. Пряме перпендикулярне та напівсферичне випромінювання для маси атмосфери 1,5». Але, з огляду на те, що на момент написання статті стандарт не виданий, в даній роботі використовується базовий стандарт – ASTM G159-1998 [15] (E-892-82 та E-891-82) та новий норматив ASTM G173-03-2012 [16], прийняті Американською асоціацією тестування матеріалів [17].

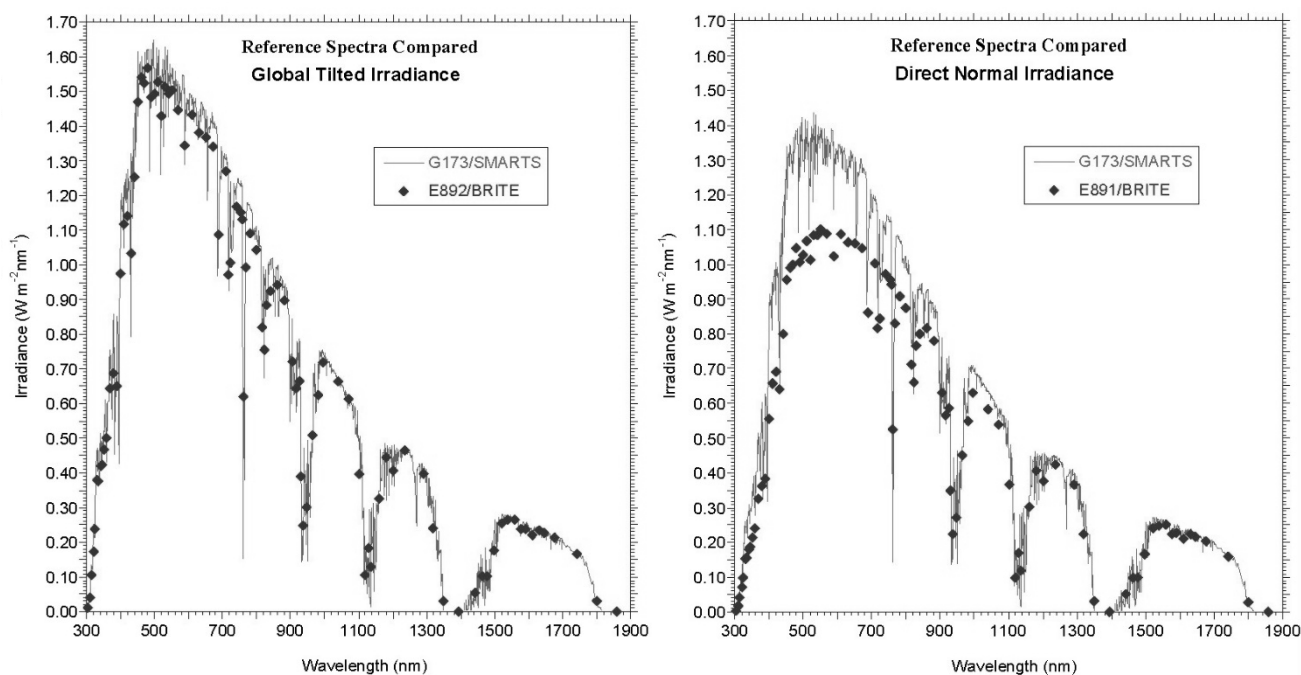


Рис 2. Порівняння результатів спектральної щільності старого стандарту ДСТУ ISO 9845-1:2010 (E892) та нового ASTM G173-03-2012

На даний момент розрахунки по стандарту ASTM G173-03-2012 автоматизовані у програмному комплексі SMARTS, розробленого Національною лабораторією відновлювальної енергетики, США [18].

Спектральна щільність випромінювання отримана для горизонтальної площини на основі вихідних умов о 12<sup>00</sup> годині 15.VI та 15.XII для м. Києва (50° широти, висота над рівнем моря – 168м, середня денна температура повітря – 18,3°C та -2,5°C [табл.2, 3], вологість – 68% та 85% [табл.24, 3]). Тип атмосфери, об'ємні долі складових речовин (водяна пара, озон, оксид вуглецю), модель атмосферного аерозоля та оптична проникність прийняті на основі низки міжнародних стандартів та супутникових даних [19, 20, 21].

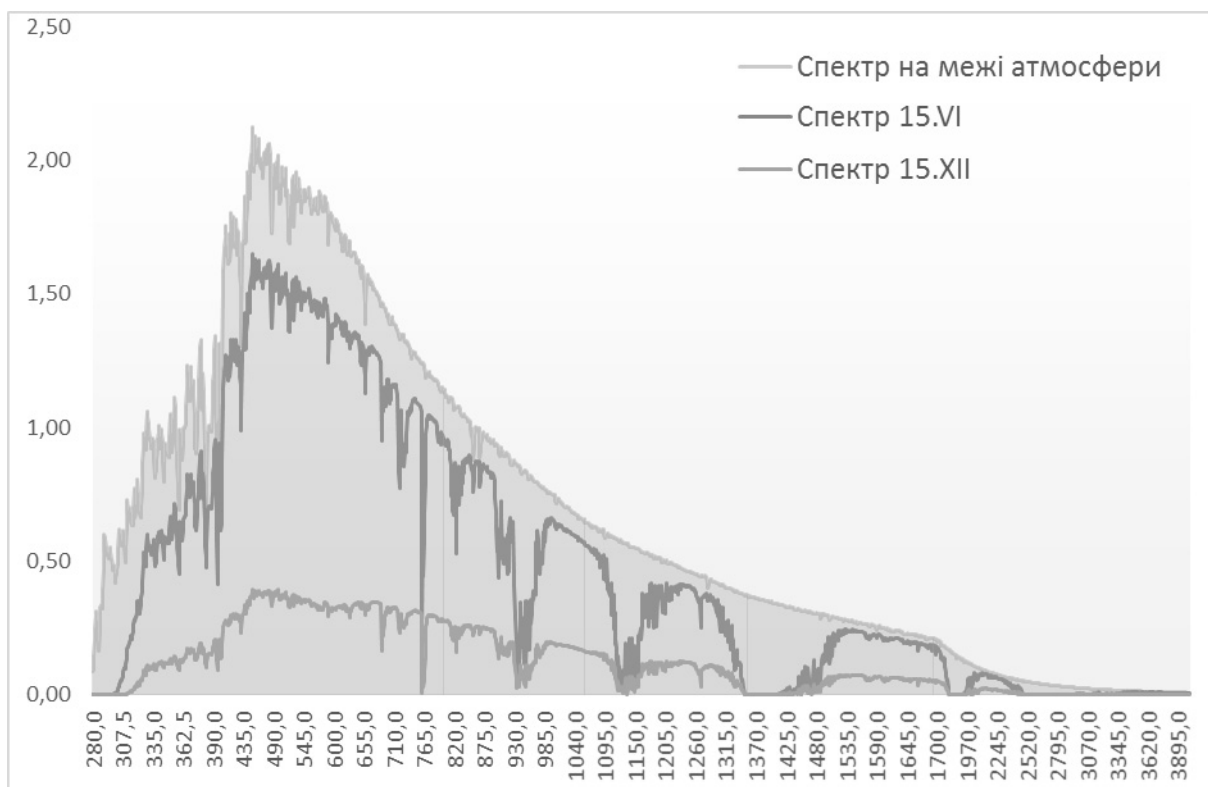


Рис 3. Графіки спектрального складу сонячного випромінювання для м. Києва 12<sup>00</sup> годині 15.VI та 15.XII на межі атмосфери та на горизонтальній поверхні землі

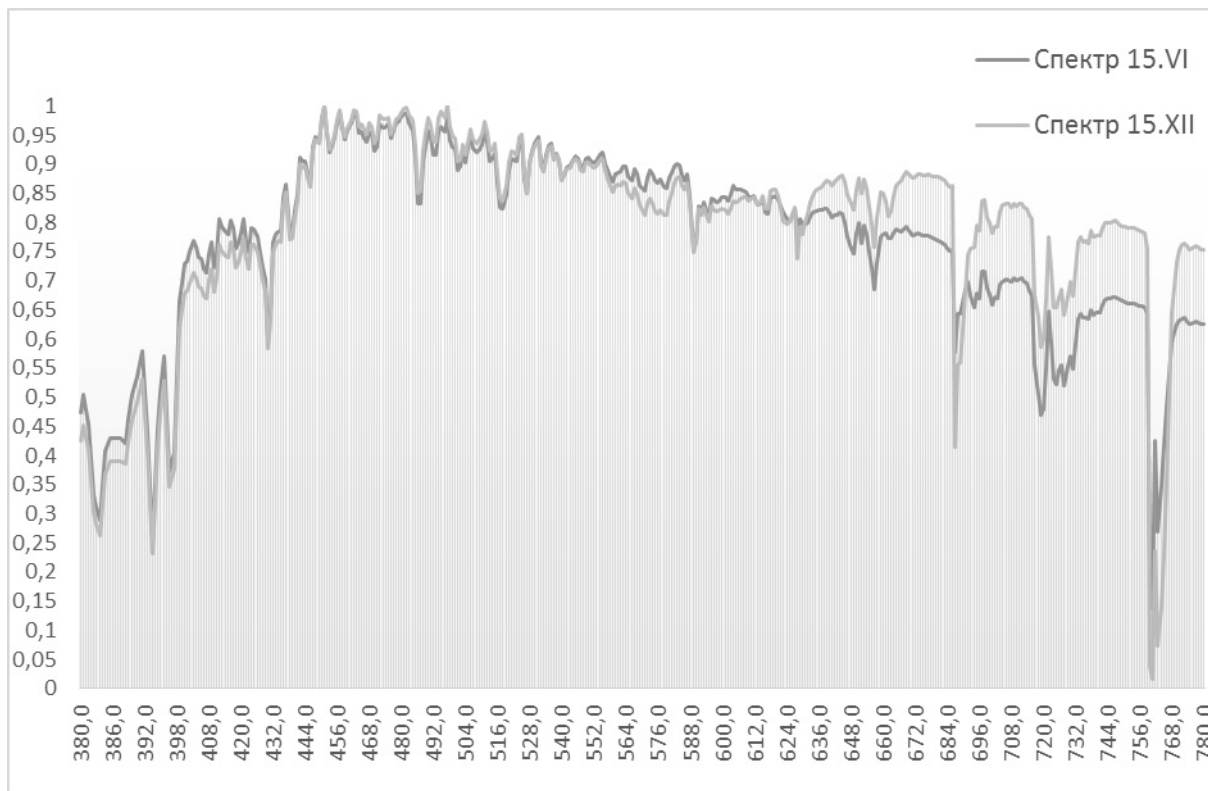


Рис 4. Графіки відносного спектрального складу сонячного випромінювання у видимому діапазоні 15.VI та 15.XII



Таблиця 5

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

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

Таблиця 6

Відносна спектральна щільність потоку випромінювання  $\Phi_{\text{ср}}(\lambda)$  у  
видимому спектрі для м. Києва, 15.XII

Довжина хвилі, нм	$\Phi_{\text{ср}}(\lambda)$	Довжина хвилі, нм	$\Phi_{\text{ср}}(\lambda)$
380	0.424936387	590	0.765394402
390	0.476081425	600	0.823664122
400	0.682697201	610	0.837150127
410	0.680152672	620	0.856234097
420	0.749363868	630	0.780152672
430	0.761068702	640	0.868702290
440	0.809160305	650	0.857506361
450	0.978880407	660	0.850636132
460	0.962340967	670	0.882442748
470	0.936132316	680	0.878625954
480	0.988804071	690	0.613994911
490	0.980661578	700	0.798218830
500	0.945292621	710	0.827989822
510	0.951145038	720	0.599745547
520	0.905089059	730	0.697964377
530	0.931297710	740	0.777862595
540	0.872010178	750	0.793638677
550	0.903562341	760	0.038295165
560	0.863104326	770	0.732824427
570	0.820610687	780	0.754198473
580	0.836386768		

На основі графіків відносного спектрального складу сонячного випромінювання виведені таблиці з коефіцієнтами спектральної щільності потоку для 15 червня та 15 грудня (табл. 5,6). 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, 14), отримуємо світлову величину горизонтальної дифузної освітленості.

Таблиця 7

Зведена таблиця визначення співвідношення  $L_z/D_v$

№р.д.	15.01	15.02	15.03	15.04	15.05	15.06	15.07	15.08	15.09	15.10	15.11	15.12
$L_z$ , кд/м <sup>2</sup>	3215,5	4192,6	6430,8	7181,3	7090,7	11183,5	12101,3	8699,2	7315,6	4503,1	3789,4	2720,1
$D_v$ , Вт/м <sup>2</sup>	54.95	85.16	121.70	134.36	150.38	150.43	149.03	132.25	114.52	83.88	52.91	42.17
$D_{v, Лк}$	8202,1	12710,4	18164,2	20053,2	22445,6	22452,1	22242,5	19738,9	17092,2	12520,2	7896,9	6293,5
$L_z/D_v$	<b>0.392</b>	<b>0.330</b>	<b>0.268</b>	<b>0.212</b>	<b>0.168</b>	<b>0.143</b>	<b>0.144</b>	<b>0.175</b>	<b>0.245</b>	<b>0.359</b>	<b>0.479</b>	<b>0.432</b>

На основі результатів щодо групи небосхилів за хмарністю, фактору мутності  $T_v$  та відношень  $D_v/E_v$ ,  $L_z/D_v$ , визначено помісячні типи небосхилів (табл.8).

Таблиця 8

Таблиця визначення типів небосхилів для м. Києва відповідно до ДСТУ ISO 15469:2008

Місяць	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Середньо річне
Тип небосхилу за ДСТУ ISO 15469:2008	III.3 №7	III.4 №8	III.4 №8	IV.2 №9	IV.3 №10	IV.4 №11	IV.4 №11	IV.3 №10	III.4 №8	III.3 №7	III.3 №7	III.2 №6	III.4 №8

Для порівняння результатів підбору типів небосхилів використовуємо дані горизонтальної розсіяної радіації за ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 [табл. 8, 3], абсолютні значення яскравості в зеніті [13] та розрахункові значення горизонтальної освітленості, отримані при моделюванні поверхні розподілу яскравості небосхилів відповідно до формули (3) за допомогою програмного комплексу «Diffused solar radiation», розробленого проф. Сергейчуком О.В. [стор.150, 22]. Горизонтальна освітленість від поверхні розподілу розраховується як інтегральна характеристика світлового поля (стор.177, 14):

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

де  $L(\beta, \gamma)$  - яскравість довільного елемента небосхилу в напрямку заданому кутами  $\beta$  і  $\gamma$ , кд/м<sup>2</sup>;

$\cos \beta$  – функція цінності випромінювання;

$\omega$  – тілесний кут, в межах якого знаходиться випромінююча світло поверхня.

Таблиця співставлення метеорологічних даних горизонтальної  
дифузної освітленості та результатів розрахунків  
за ДСТУ ISO 15469:2008

Місяць	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
$L_z$ , кд/м <sup>2</sup>	3215,5	4192,6	6430,8	7181,3	7090,7	11183	12101	8699,2	7315,6	4503,1	3789,4	2720,1
$E_d$ метеодані, Лк	12748	17022	24236	25517	23253	29916	34386	28476	23083	14154	12101	9595
$E_d$ розрах-ве, Лк	12462	17748	24445	28037	23289	30220	34862	31797	23975	14742	11903	9370
$E$ ,%	2,24	4,09	0,85	8,98	0,15	1,01	1,36	10,44	3,71	3,98	1,63	2,34

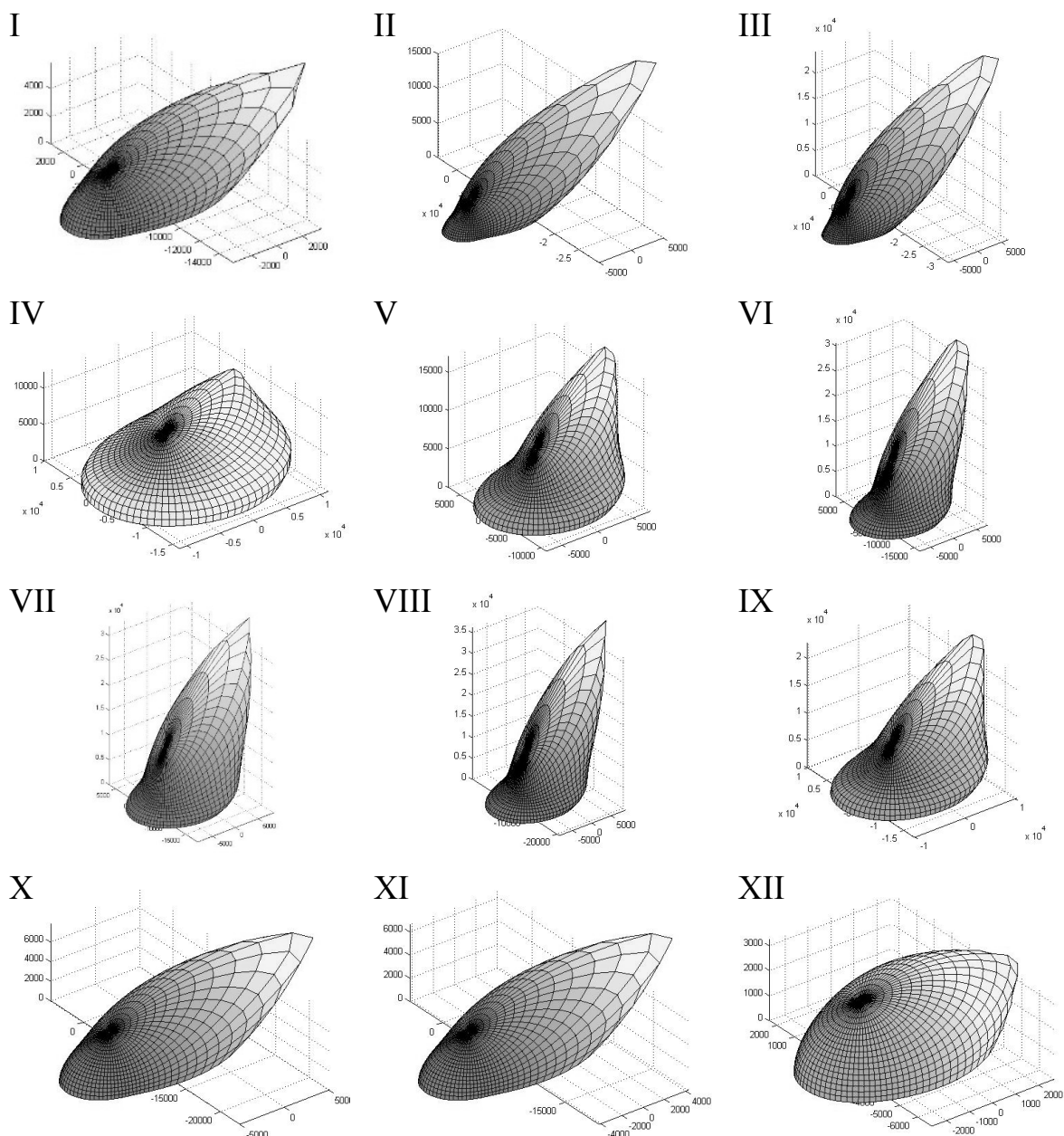


Рис 5. Поверхні розподілу яскравості по місяцям

**Висновки та перспективи подальших досліджень.** Визначення типів небосхилів відповідно до нормативу надає можливість більш точно та акуратно моделювати світлове поле при вирішенні задач світлофізики. Але в розглянутій математичній моделі врахований тільки дифузний розподіл світлового потоку. Тому для коректних розрахунків яскравості небосхилу перспективним є додаткове використання моделі, що надає можливість врахувати пряме сонячне випромінювання.

Наразі проведено визначення типів неба тільки для м. Києва, тому наступним кроком може бути обрання стандартизованих типів для всієї території України. Вирішення цього питання безпосередньо пов'язано із отриманням деяких відсутніх супутникових метеорологічних даних для інших міст.

Стандарт ДСТУ ISO 15469:2008 «Розподіл яскравості денного світла просторовий» є безпосереднім керівництвом при отриманні вихідних даних для світлотехнічних розрахунків. На даний момент вже існують програми, що використовуються систему просторового розподілу яскравості для проведення візуалізації сцен та визначенні освітленості довільно розташованих у просторі точок [23]. Тому використання даної моделі при розробці нових програмних продуктів для вирішення задач інженерної світлотехніки є перспективним напрямом розвитку.

## Література

1. CIE S 011/E:2003 (ISO 15469:2004(E)). «Spatial distribution of daylight – CIE standard general sky».
2. ДСТУ ISO 15469:2008. «Розподіл яскравості денного світла просторовий. Стандартне хмарне та безхмарне небо згідно з CIE (ISO 15469:2004, IDT)».
3. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. «Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівельна кліматологія».
4. CIE S 003/E:1996 (ISO 15469:1997). «Spatial distribution of daylight – CIE standard overcast sky and clear sky».
5. Kittler R. CIE general sky standard defining luminance distribution. / Kittler R., Darula S. // Proceedings of eSim Conference, Montreal, Canada – 2002., pp. 36 – 43.
6. 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. / Kittler R., Perez R., Darula S. – Bratislava.: Polygrafia, 1998. – 54pp:il.
7. Kittler R. A new generation of sky standards. / Kittler R., Perez R., Darula S. // Proceedings of Lux Europe Conference, Amsterdam, Netherland – 1997., pp. 359-373.

8. *Tregenza PR*. Analysing sky luminance scans to obtain frequency distributions of CIE Standard General Skies. / Tregenza PR // *Lighting research and technology*. – 2004. Vol. 36. – pp. 271-279.
9. *Li W*. Classification of CIE standard skies using probabilistic neural networks. / Li W., Tang L., Lee M., T.Muneer // *International journal of climatology*. – 2009. Vol. 30. – pp. 305-315.
10. *Ng E*. Defining standard skies for Hong Kong. / Ng E., Cheng V., Gadi A., Mu J., Lee M., Gadi A. // *Building and Environment*. – 2007. Vol. 42. – pp. 866-876.
11. *Piderit M*. Definition of the CIE standard skies and application of the HDRI technique to characterize the spatial distribution of daylight in Chile. / Piderit M.B., Cauwerts C. Diaz M. // *Journal of Construction*. – 2014. Vol.13. – pp. 22-30.
12. *Wittkopf S*. Analysing sky luminance scans and predicting frequent sky patterns in Singapore. / Wittkopf S., Soon. L. // *Lighting research and technology*. – 2007. Vol. 39. – pp. 31-51.
13. Satellight. The European database of daylight and solar radiation. Режим доступу: <http://www.satel-light.com/core.htm>
14. *Щепина Н.С*. Основы светотехники. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 344 с.:ил.
15. ASTM 159-1998. Режим доступу: <http://www.astm.org/Standards/G159.htm>.
16. ASTM 173-03. Режим доступу: <http://www.astm.org/Standards/G173.htm>.
17. Reference solar spectra irradiance. National renewable energy laboratory spectral solar radiation database. Режим доступу: <http://rredc.nrel.gov/solar/spectra/am1.5.htm>
18. ASTM E490-00a. Standard solar constant and zero air mass solar spectral irradiance tables. Режим доступу: <http://www.astm.org/Standards/E490.htm>
19. AFGL-TR-86-0110. “AFGL Atmospheric constituent profiles (0-120km)”. Optical physics division, Air force geophysics laboratory. Режим доступу: <http://www.dtic.mil/cgi-bin/GetTRDoc?AD=ADA175173>
20. ANSI/AIAA G-003C-2010. Guide to reference and standard atmosphere models. Режим доступу: [http://www.spacewx.com/Docs/AIAA\\_G\\_003C\\_2010\\_9-10.pdf](http://www.spacewx.com/Docs/AIAA_G_003C_2010_9-10.pdf)
21. Aerosol optical thickness. NASA database. Режим доступу: [http://neo.sci.gsfc.nasa.gov/view.php?datasetId=MODAL2\\_M\\_AER\\_OD&date=2014-10-15](http://neo.sci.gsfc.nasa.gov/view.php?datasetId=MODAL2_M_AER_OD&date=2014-10-15)
22. *Сергейчук О.В*. Геометричне моделювання фізичних процесів при оптимізації форми енергоефективних будинків: дис. ...доктора технічних наук: 05.01.01 / Сергейчук Олег Васильович. – Київ, 2008. – 425с.
23. Velux. Daylight visualizing system. Режим доступу: <http://viz.velux.com/>

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТИПОВ НЕБОСВОДОВ ДЛЯ Г. КИЕВА НА  
ОСНОВЕ ДСТУ ISO 15469:2008 «РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЯРКОСТИ  
ДНЕВНОГО СВЕТА ПРОСТРАНСТВЕННОЕ»**

*Д. А. Радомцев*

На основе принятых в 2010 г. на территории Украины стандартов ДСТУ ISO 15469:2008 «Распределение яркости дневного света» и ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 «Строительная климатология» проведён анализ свето-климатического состояния небосводов г. Киева на протяжении года с последующим определением присущих этой местности стандартизированных типов неба.

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

**DEFINING OF SKY TYPES FOR KYIV BASING ON  
DSTU ISO 15469:2008 (CIE S 011/E:2003 (ISO 15469:2004) )  
“Spatial distribution of daylight – CIE standard general sky”**

*D. Radomtsev*

Basing on accepted in 2010 on the territory of Ukraine standards DSTU ISO 15469:2008 “Spatial distribution of daylight” and DSTU-N B V.1.1-27:2010 “Building climatology” was done an analysis of light-climatology conditions of Kyiv’s skies with subsequent defining of inherent standard sky types.

Keywords: CIE standard sky types, daylighting, building climatology.