

## ДОСЛІДЖЕННЯ СВІТЛОКЛІМАТИЧНОГО РАЙОНУВАННЯ ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ НА ОСНОВІ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ ДАНИХ ПРИРОДНОГО ОСВІТЛЕННЯ

*Київський національний університет будівництва і архітектури, Україна*

*На основі прийнятого у 2010 р. стандарту ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 «Будівельна кліматологія» та результатів моделювання спектральної щільності світлового сонячного потоку проведено дослідження світлокліматичного районування території України за сумарною горизонтальною освітленістю. Отримані дані щодо світлових еквівалентів розсіяної, прямої та сумарної сонячної радіації для міст України.*

**Постановка проблеми.** Як відомо, розділ будівельної кліматології є складовою і невід'ємною частиною як будівельної фізики окремо, так і архітектурного проектування в цілому. Вивчення світлових характеристик атмосфери із прив'язкою до конкретної місцевості призводить до світлокліматичного районування території. Не винятком є і Україна для якої, за умов безупинного розвитку будівельної кліматології та нових можливостей у моделюванні спектрального складу світлового потоку, актуальним є подальше дослідження районування територій на основі кліматологічних даних у ДСТУ «Будівельна кліматологія» [1] за світловими величинами сумарного потоку сонячного випромінювання.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Вперше світлокліматичне районування території України було проведено у складі загального визначення світлокліматичних зон території СРСР. Дослідження та розмежування проводилось за методикою М. М. Гусева [2], відповідно до якої основним критерієм районування є кількість середньорічного зовнішнього дифузного освітлення на горизонтальній площині під повністю відкритим небосхилом протягом 1 години за період використання в приміщенні природного світла:

$$E_{cp} = \frac{\sum_{рік} (E - E_{кр})}{\sum_{рік} T}, \quad (1)$$

де  $E_{cp}$  – середньорічна освітленість – критерій районування, Лк;

$E$  – зовнішня освітленість горизонтальної поверхні, Лк;

$E_{кр}$  – критична зовнішня освітленість, Лк;

$T$  – тривалість використання природного освітлення – різниця в часі між настанням критичної освітленості вранці та ввечері, год.

Остаточне світлокліматичне районування відбувається за визначенням коефіцієнту світлового клімату  $m$  [3] у відповідності до еталонної на той час середньої освітленості у Москві  $E_{cp}^M$  (приймалась рівній 1, рис. 1). За даним районуванням Україна мала лише 2 світлокліматичних райони.

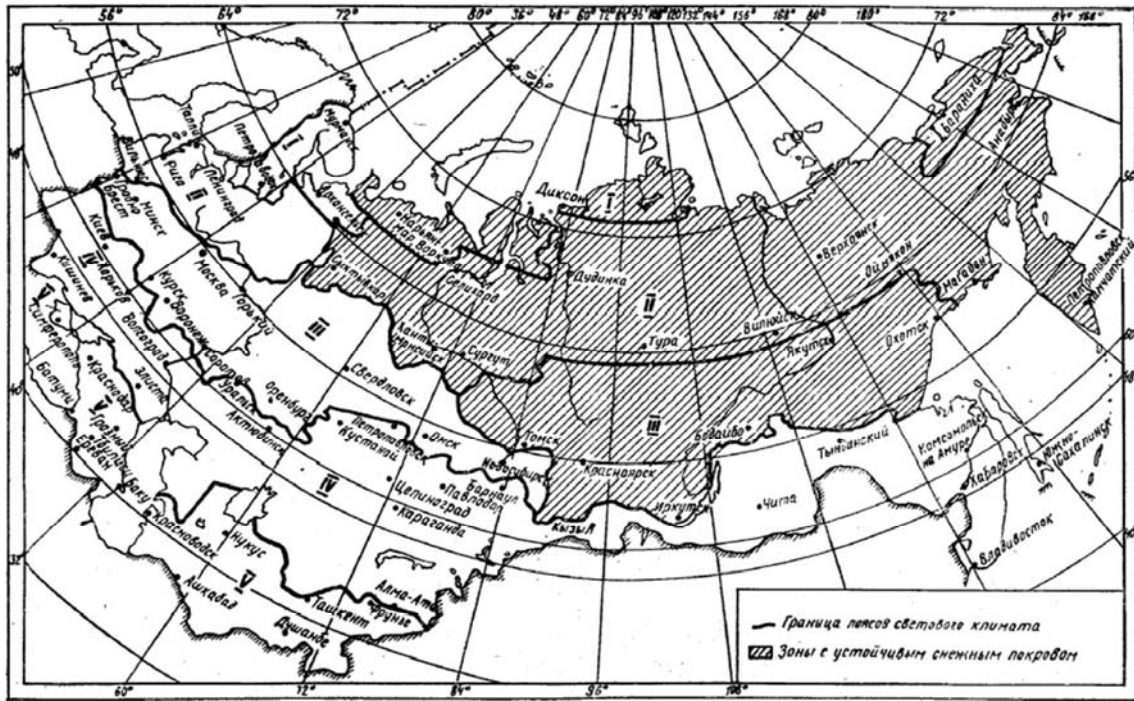


Рис. 1. Карта світлокліматичного районування території СРСР, М.М.Гусєв, 1975р.

В 2000р. на основі запропонованої у [4] методики та наявних станом на 1990 р. кліматологічних даних щодо природної освітленості, В. О. Єгорченковим вперше була запропонована нова більш детальна карта районування [4]. Відповідно до цього дослідження впроваджувався розподіл території України не на 2, а на 4 світлокліматичні райони, що точніше характеризує різноманіття наявного світлового клімату країни (рис. 2).

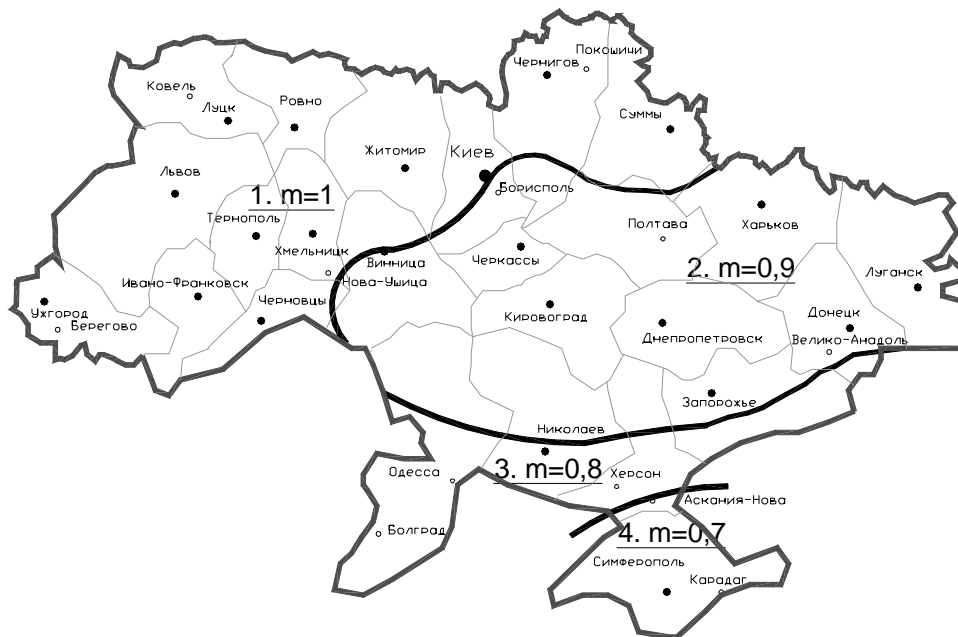


Рис. 2. Карта світлокліматичного районування території України, В.О. Єгорченков, 2000р.

Пізніше, в 2011р., О. В. Сергійчук запропонував нову карту світлокліматичного районування на основі метеорологічних даних сумарної енергетичної освітленості за ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 «Будівельна кліматологія» (рис. 3). Наразі дана карта стандартизована у ДБН В.2.5-28:2006 [5] та також розділяє країну на 4 райони, але базовим є 4-ий, південний з коефіцієнтом світлового клімату  $m = 1$ .



Рис. 3. Карта світлокліматичного районування території України, О. В. Сергійчук, 2011р.

**Постановка задачі.** На основі кліматологічних даних за ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 та існуючої методики переведення енергетичних світлових величин до світлових провести уточнення світлокліматичного районування території України.

**Основна частина.** Як зазначалось, наразі для світлокліматичного районування були використані наявні в ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 дані щодо горизонтальної сумарної освітленості за умов дійсної хмарності. Але з огляду на відсутність даних було прийнято припущення щодо світлового еквіваленту між енергетичними та світловими величинами. Але оскільки світловий еквівалент залежить від фізико-хімічного складу атмосфери в конкретному пункті, а також відрізняється для розсіяної та прямої радіації, характер розподілу світлових величин в містах може відрізнятися від енергетичного. Наразі моделювання спектральної щільності сонячної радіації та запропонований спосіб переведення кліматологічних даних з енергетичних до світлових надають змогу більш детального дослідження розподілу світлового потоку по території України та можливого уточнення наявного світлокліматичного районування.

Відповідно до [6] основоположним рівнянням взаємозв'язку між світловими та енергетичними величинами для світлового потоку  $\Phi_v$  за умов денного зору є:

$$\Phi_v = K_m \times \int_0^{\infty} \Phi_{e,\lambda}(\lambda) \times V(\lambda) d\lambda, \quad (2)$$

де  $\Phi_v$  – світловий потік – величина, яка утворюється від потоку енергетичного випромінювання  $\Phi_e$  за оцінкою випромінювання за його дією на стандартного фотометричного спостерігача СІЕ, лм;

$K_m$  – максимальна світлова ефективність випромінювання для умов денного зору,  $\text{лм} \times \text{Вт}^{-1}$  ( $K_m = 683 \text{ лм} \times \text{Вт}^{-1}$  та відповідає хвилі  $\lambda_{\max} = 555.016 \text{ нм}$  [6]);

$\Phi_{e,\lambda}(\lambda)$  – спектральна щільність світлового потоку при довжині хвилі  $\lambda$ , Вт;

$V(\lambda)$  – відносна спектральна світлова ефективність монохроматичного випромінювання для денного зору при довжині хвилі  $\lambda$ .

Оскільки значення відносної спектральної світлової ефективності  $V(\lambda)$  добре досліджені та стандартизовані МКО у вигляді таблиць для кожної цілої одиниці довжини хвилі, та факт, то рівняння (2) можна використати для основних енергетичних величин, при цьому відношення  $E_{es}$  до  $E_{vs}$  для видимого спектру приймає вигляд:

$$E_{vs} = K_m \times \sum_{i=1}^n E_{es,\lambda_i} \times V_{\lambda_i} \Delta\lambda, \quad (3)$$

де  $n$  – кількість ділянок спектру, на яку розбита видима частина спектру;

$E_{es,\lambda_i}$  – значення спектральної щільності опромінення для середини  $i$ -ої ділянки,  $\text{Вт} \times \text{м}^{-2} \times \text{нм}^{-1}$ ;

$V_{\lambda_i}$  – відносна спектральна світлова ефективність для середини  $i$ -ої ділянки;

$\Delta\lambda$  – ширина спектрального інтервалу, нм;

Оскільки для подальших розрахунків використовуються дані прямої сонячної радіації, для якої розподіл спектральної щільності опромінення невідомий, пропонується  $E_{es,\lambda_i}$  замінити наступним виразом:

$$E_{es,\lambda_i} = \left( \frac{E_{es}}{n} \right) \times \Phi_{\lambda_i}, \quad (4)$$

де  $\Phi_{\lambda_i}$  – відносна спектральна щільність опромінення для середини  $i$ -ої ділянки.

Спектральна щільність потоку  $\Phi_{e,\lambda}(\lambda)$  може моделюватися за нормативом ДСТУ ISO9845-1:2010 (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 дослідження стандарт не виданий, в даній роботі використовується базовий стандарт – ASTM G159-1998 (він же ДСТУ ISO 9845-1:2010) та новий більш точний норматив ASTM G173-03-2012 [7], прийняті Американською асоціацією тестування матеріалів (ASTM).

Модель розповсюдження сонячної радіації крізь атмосферу базується на параметризації функцій світлопропускання та поглинання атмосферними часточками включаючи молекулярне розсіювання за формулою Релея, вплив концентрацій озону, водяного пару, суміші газів та аерозолію.

На даний момент розрахунки по стандарту ASTM G173-03-2012 автоматизовані у ППП «SMARTS», розробленого Національною лабораторією відновлювальної енергетики (NREL) спільно з енергоцентром Флориди, США. Даний комплекс надає змогу моделювати дифузний, прямий та сумарний світловий потік у діапазоні, на який припадає 99% сонячного випромінювання - від 280 нм до 4000 нм.

Спектральна щільність випромінювання отримана для горизонтальної площини на основі вихідних умов о 9<sup>00</sup> годині 15.VI та 15.XII для обласних населених пунктів України на основі кліматологічних даних середньоденної температури, вологості та загальної хмарності за [1]. Тип атмосфери, об'ємні долі складових речовин (водяна пара, озон, оксид вуглецю), модель атмосферного аерозолію та оптична проникність прийняті на основі низки міжнародних стандартів та супутникових даних. Результати моделювання розподілу наведені в [8].

На основі графіків відносного спектрального складу сонячного випромінювання виведені таблиці з коефіцієнтами спектральної щільності потоку для 15 червня та 15 грудня. Значення відносного розподілу спектру для інших розрахункових днів отримуються шляхом лінійного інтерполювання. Таким чином, підставивши у формулу (4) коефіцієнти спектральної щільності потоку та коефіцієнти відносної спектральної світлової ефективності сонячного випромінювання, прийняті за ISO 11664-1:2007(E) для стандартного кольориметричного спостерігача CIE 1931, були отримані значення світлових величин дифузного, прямого та сумарного сонячного освітлення горизонтальної площини для 25 обласних центрів України. Також розраховані світлові еквіваленти між енергетичними та світловими величинами. Деякі результати наведені у (табл. 1, 2).

*Таблиця 1*

Середньомісячне розсіяне, пряме та сумарне світлове випромінювання в деяких містах України

№ п/п	Назва міста	Місяць	Світлова величина, Лк		
			Розсіяна	Пряма	Сумарна
1	Чернігів	I	6368.37	1720.21	11435.3
		II	9384.95	7124.28	20585.6
		III	13137.1	13790.9	33099.8
		IV	14189.4	20013.5	41215.6
		V	15046.1	27726.1	50317.8
		VI	16215.1	28882.6	53738.6
		VII	15458.6	28280.2	52256.6
		VIII	14186.9	27703.2	49295.8
		IX	12331.8	19130.1	37883.1
		X	8936.14	10297.8	23811.3
		XI	5674.34	3482.40	12012.7
		XII	4753.50	1938.61	8867.78

## Закінчення таблиці 1

		<b>Середньорічна</b>	<b>11306.9</b>	<b>15840.8</b>	<b>32876.7</b>
2	Сімферополь	I	6898.41	5225.02	16722.2
		II	10518.2	10098.5	26450.9
		III	13086.7	17641.5	37525.5
		IV	15563.1	26704.4	50316.8
		V	15342.7	36382.8	59291.9
		VI	15031.1	40908.0	63264.2
		VII	14147.6	42480.9	63624.3
		VIII	13697.9	37449.1	57811.7
		IX	12368.1	32040.1	50331.6
		X	10551.4	21354.6	37141.5
		XI	7733.10	9290.49	21123.8
		XII	6112.16	5123.10	14659.9
			<b>Середньорічна</b>	<b>11754.2</b>	<b>23724.9</b>

Таблиця 2

## Середньорічне розсіяне, пряме та сумарне світлове випромінювання в містах України

№ п/п	Назва міста	Світлова величина, Лк		
		Розсіяна	Пряма	Сумарна
1	Вінниця	11795.4	16024.3	33670.2
2	Дніпропетровськ	11608.1	20096.2	37564.6
3	Донецьк	11227.9	20184.1	37416.2
4	Житомир	11492.0	15324.4	32622.5
5	Запоріжжя	11975.1	20457.9	38183.6
6	Івано-Франківськ	11880.5	14038.6	31987.2
7	Київ	11705.6	16520.1	34109.9
8	Кіровоград	12168.2	19609.0	37670.6
9	Луганськ	11210.2	19667.8	36766.3
10	Луцьк	11369.6	13277.1	30406.1
11	Львів	11402.8	13442.5	30597.6
12	Миколаїв	12659.1	21866.7	41135.2
13	Одеса	11603.3	23607.5	40981.6
14	Полтава	11487.4	18895.2	36314.0
15	Рівне	11381.9	13792.4	30920.1
16	Сімферополь	11754.2	23724.9	41522.0
17	Суми	11098.1	17502.5	34284.9
18	Тернопіль	11369.0	14048.4	31167.0
19	Ужгород	11789.9	16009.5	33599.5
20	Харків	11250.9	18547.9	35610.5
21	Херсон	12170.5	22014.4	40498.7
22	Хмельницький	11540.3	15036.9	32318.6
23	Черкаси	11739.6	18150.3	35905.0
24	Чернівці	11535.6	15491.2	32923.4
25	Чернігів	11306.9	15840.8	32876.7

На основі отриманих даних побудована поверхня сумарної освітленості по 25 обласних центрів України (рис. 4) та отримані межі 4 світлокліматичних районів. Вони відповідають відносному розподілу у 25%, 50% та 75%, тобто  $E_{\text{район}} = 33185\text{Лк}, 35964\text{Лк та } 38743\text{Лк}.$

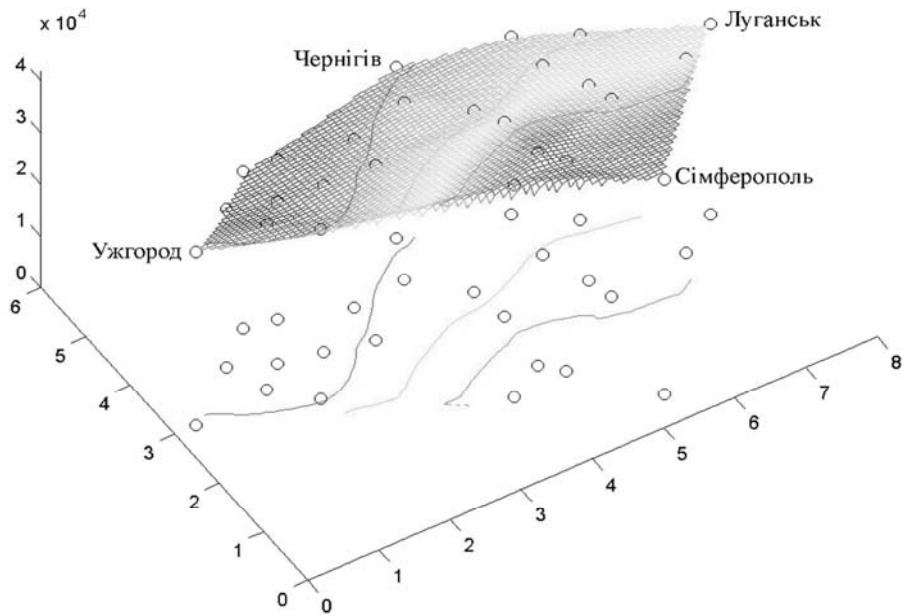


Рис. 4. Поверхня сумарного середньорічного світлового випромінювання на території України

В подальшому ортогональна проекція поверхні та ізоліній розмежування районів для зручності користування суміщені із адміністративною картою території України (рис. 5) із умови, що область відноситься до тієї зони, в якій знаходиться більша частина області.

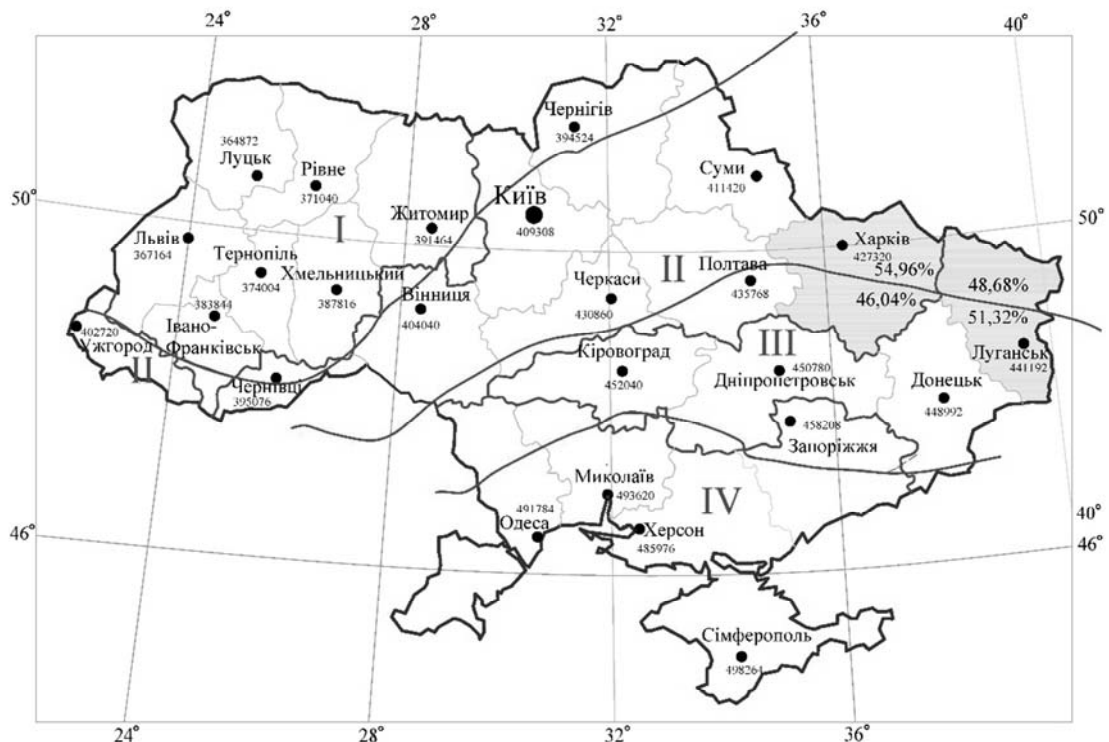


Рис. 5. Запропонована карта світлокліматичного районування території України за показником «сумарне середньорічне сумарне світлове випромінювання»

**Висновки та перспективи подальших досліджень.** Виходячи із співставлення запропонованої та існуючої карт світлокліматичного районування констатуємо, що характер розподілу опроміненості/освітленості територій є майже аналогічним. Проте ізолінії районів на карті освітленості мають згущення в бік збільшення величин внаслідок чого відбувається графічне перенесення границь на південь. В результаті цього Черкаська, Полтавська та Харківська області потрапляють замість III до II світлокліматичного району. В іншому районування за наведеними картами аналогічне.

В подальшому планується провести додаткове моделювання спектральної щільності світлового потоку для кожного характерного дня місяця для більш точного визначення світлових еквівалентів. Крім того пропонується додаткове уточнення світлокліматичного районування із врахуванням орографічних особливостей окремих територій України.

### Література

1. Будівельна кліматологія : ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. – [Чинний від 2011-11-01]. – К. : Мінрегіонбуд України, 2011. – 127 с. – (Національний стандарт України).
2. Гусев Н. М. Основы строительной физики. / Н. М. Гусев. – М. : Стройиздат, 1975. – 440 с: ил.
3. Строительная климатология и геофизика : СНиП II-A.6-72. – [Действителен от 1972-10-01]. М. : Госстрой СССР, 1972. – 321. – (Государственный стандарт СССР).
4. Егорченков В. О. Світловий клімат України. / В. О. Егорченков // Будівництво України. – 2005. – № 2. – С. 21-23.
5. 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).
6. Photometry – The CIE system of physical photometry:ISO 23539:2005 (CIE S 010/E)., 2005. – 68pp. (ISO international standard).
7. Standard Tables for Reference Solar Spectral Irradiances: Direct Normal and Hemispherical on 37° Tilted Surface : ASTM G173-03(2012). – American Society for Testing and Materials. – 48pp. – (ASTM standard). Режим доступу: <http://www.astm.org/Standards/G173.htm> (дата звернення: 04.02.2015).
8. 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.



# **ИССЛЕДОВАНИЕ СВЕТОКЛИМАТИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ ТЕРРИТОРИИ УКРАИНЫ НА ОСНОВЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ ЕСТЕСТВЕННОЙ ОСВЕЩЁННОСТИ**

*Радомицев Д. А.*

На основе принятого в 2010г. стандарта ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 «Строительная климатология» и результатов моделирования спектральной плотности светового солнечного потока проведено исследование светоклиматического районирования территории Украины по суммарной горизонтальной освещённости. Также получены данные касательно световых эквивалентов рассеянной, прямой и суммарной солнечной радиации для населённых пунктов Украины.

## **INVESTIGATION OF UKRAINE'S LIGHT-CLIMATOLOGY ZONING BASING ON THE METEOROLOGICAL DAYLIGHTING DATA**

*D. Radomtsev*

Basing on accepted in 2010 on the territory of Ukraine standard DSTU-N B V.1.1-27:2010 “Building climatology” and results of spectral density modeling of daylighting flux was done an analysis of light-climatology zoning of the territory of Ukraine. Also light equivalents of diffuse, direct and summary sun radiation were receive.