

УДК 624.176

АНАЛІЗ ТИМЧАСОВОЇ ЗМІННОСТІ СУМАРНОЇ ІНТЕНСИВНОСТІ СОНЯЧНОЇ РАДІАЦІЇ ПРИ ОЦІНЦІ ЕНЕРГЕТИЧНИХ РЕСУРСІВ

О.В. Приймак¹, І.О. Редько², О.І. Редько³, А.О Редько³

¹ д.т.н., проф., Київський національний університет будівництва і архітектури, просп., Повітрофлотський, 31, Київ, Україна, 03037, 02orpiymak@gmail.com, ORCID: 0000-0002-3081-6057

² к.т.н., доц., Український державний університет залізничного транспорту, майдан Фейєрбаха, 7, Харків, Україна, 61001, ihor.redko1972@gmail.com, ORCID: 0000-0002-9863-4487

³ Харківський національний університет будівництва і архітектури, вул. Сумська, 40, Харків, Україна, 61002, alex.redko2002@gmail.com, ORCID: 0000-0002-4164-756X

³ д.т.н., проф., Харківський національний університет будівництва і архітектури, вул. Сумська, 40, Харків, Україна, 61002, redko.andriy@kstuca.kharkov.ua, ORCID: 0000-0003-2331-7273

Наведено результати аналізу тимчасової мінливості середньомісячних та річних сум сонячної радіації в умовах України за період 2011–2020 років. Здійснено порівняння даних вимірів з більш ранніми періодами та стандартним періодом 1961-1990 рр. Визначено статистичні характеристики рядів зміни сонячної радіації. Виконано порівняння характеристик сонячної радіації із нормативними даними ДСТУ НБВ .1.1-27-2010. Показано, що в останні роки річні суми прямої радіації збільшилися на 18-23 %. Сумарна річна радіація в 2020 році збільшилася відповідно періоду 1961-1990 рр. на 6 %. Проведено аналіз розрахункових результатів визначення погодинних значень та добових сум прямої та розсіяної радіації, отриманих із застосуванням емпіричних залежностей методик інженерних розрахунків.

Ключові слова: сонячна радіація, зміна сумарної сонячної радіації, геліоенергетичний потенціал, кліматична стандартна норма.

Вступ. Клімат України змінюється суттєво за останні роки [1,2,5,9]. Нормативні дані потребують уточнення для розробки інженерно-технічних та архітектурних рішень енергоефективності будівель. В стандарті ДСТУ НБВ1.1-27: 2010 введено кліматичне районування території України. Але за останні десять років клімат змінився, що потребує уточнення кліматичних даних.

В умовах засухи в Україні період 2001-2010 рр. відбулося реформування тривалості сонячного сьйва, прямої, розсіяної та сумарної сонячної радіації. Суттєве збільшення тривалості сонячного сьйва та прямої сонячної радіації при одночасному зменшенні розсіяної не сприяли зростанню сумарної радіації [6].

При проектуванні установок, що використовують сонячну енергію, необхідно враховувати просторово-часову зміну розподілів сонячної радіації, яка залежить від астрономічних та метеорологічних факторів – географічної широти місця та висоти Сонця, прозорості атмосфери. Погодні умови України залежать від великомасштабної циркуляції атмосфери над Північною півкулею та регіональних особливостей. Східні регіони України знаходяться на осі позатропічного максимуму [3]. Ця вісь проходить через Україну із Південного Заходу на Північний Схід. Однією з ознак сучасних кліматичних змін є помітне послаблення швидко-

сті вітру над Україною, що викликає зміни у синоптичних процесах. Виявлено переважання типів із значними баричними градієнтами над сходом України. У [2] наведено порівняльний аналіз мінливості середньої добової температури повітря та добової кількості опадів зимового сезону у Києві щодо зміни глобальної температури у ХХ столітті. Виконано аналіз даних за період з 1910 року до 2002 року. Показано, що спостерігається збільшення мінливості середньої добової температури у грудні та різке зниження міждобової мінливості у січні та лютому.

Сонячна радіація змінюється в залежності не тільки від географічної широти, а і від регіональних кліматичних умов. Так, в Передкарпатті та Українських Карпатах геліоенергетичний потенціал складає 1400-1500 МДж/м² (влітку, на півночі України - 1550-1800 МДж/м², а у східних та центральних районах-1850-1950 МДж/м², збільшуючись у південних районах до 2000-2150 МДж/м².

В роботах [4,5] наведено результати районування за комплексом показників потенціалу сонячної енергії, тривалості сонячного сьйва та хмарності.

Метою роботи є аналіз закономірностей тимчасового розподілу фактичних потоків сонячної радіації в період 2011-2020 рр. та порівняння з даними більш ранніх періодів

Постановка проблеми. Згідно [12] території України поділено на архітектурно-будівельні райони-Полісся та Лісостеп (північно-західний), Степ (південно-східний), Українські Карпати, кліматичні характеристики яких суттєво відрізняються. Приводиться методика розрахунку середніх місячних сум прямої та розсіяної сонячної радіації для різних географічних широт (44-500 п.ш.) та табличні дані при умовах ясного неба та середньої хмарності. При розрахунку погодинних енергетичних освітленостей від прямої та розсіяної радіації наведено табличні дані за умов ясного неба. При значеннях хмарності 10 балів наведено табличні дані для січня та липня, при інших значеннях хмарності необхідна інтерполяція даних.

При проектуванні геліоенергетичних установок потрібні комплексні показники потенціалу сонячної енергії [4, 5], вимірювання яких проводиться недостатньо широко на території України. Тому необхідна розробка методик для проектування інженерних систем та вироблення архітектурних рішень.

В [8] наведено аналітичні вирази для розрахунків питомих сонячних теплових потоків для умов ясного неба в залежності від географічної широти, схилення, часового кута, та кута нахилу площини сонячного колектору. Наведено значення погодинної прямої та розсіяної радіації для умов м. Львів (500 п.ш.). В [7] вказані результати моделювання параметрів прямого потоку сонячної радіації при ясному небі з урахуванням прозорості атмосфери. В розрахунках використовуються усереднені середньомісячні значення погодинної зміни інтенсивності прямого сонячного потоку.

В моделях використані співвідношення які рекомендовані Європейським каталогом соня-

чної радіації (ESRA). Отримані чисельні результати спідставленні з актинометричними даними станцій Бориспіль та Ковель. Помітні відмінності обумовлені місцевими добовими та сезонними особливостями стану реальної атмосфери. В [17] наведено методики в яких енергетичну експозицію поверхні оцінюють за параметрами сонячного потоку, інтенсивність якого розраховують відносно сонячної сталі з використанням наближених емпіричних оцінок коефіцієнта прозорості атмосфери.

У [14] розробляються методи комп'ютерного моделювання та розрахунку сонячних надходжень для нестандартних рішень огорожувальних конструкцій з використанням апарату точкового числення. Розглядається формування режиму сонячних теплонадходжень у будівлі складної геометрії як від прямих сонячних променів так і розсіяного випромінювання.

В даний час створено велику кількість комп'ютерних програм. Комп'ютерна модель Atmospheric Radiation використовувалася для розробки ДСТУ -Н Б В. 1.1-27: 2010. Застосування комп'ютерних пакетів потребує високої кваліфікації будівельників-проектувальників. Тому розробляються розрахункові інженерні методики для практичного застосування.

Основні результати та їх обговорення. Дані вимірювань сонячної радіації за період 2011-2020 років були надані Центральною геофізичною обсерваторією ім. Бориса Срезневського для їхнього аналізу в ХНУБА. На рис. 1 показано тимчасову зміну сумарної сонячної радіації для умов Києва (станція Бориспіль) та Одеси відповідно.

Статистичні характеристики часового ряду наведені у таблиці 1.

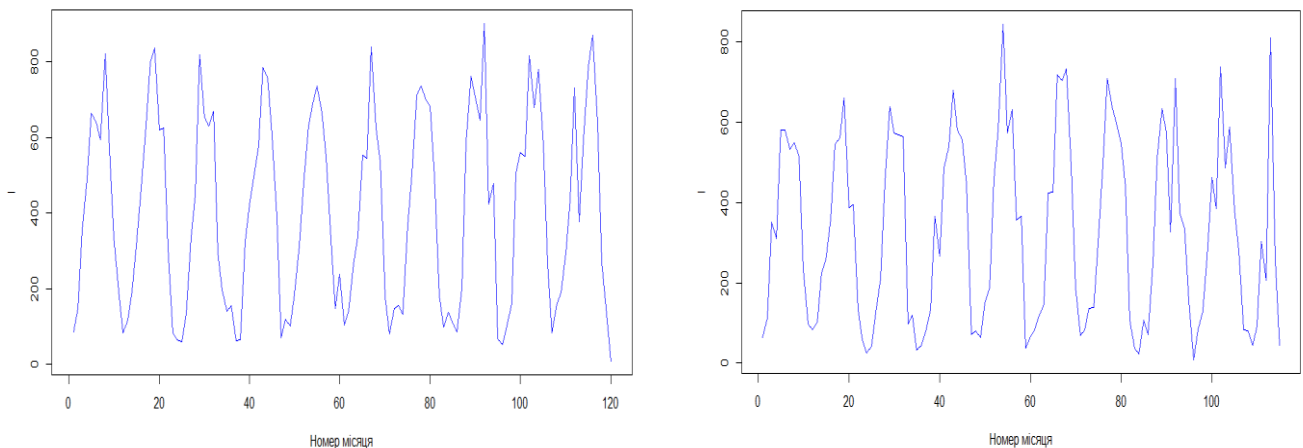


Рис. 1 Сонячна радіація на перпендикулярну поверхню(I) по місяцях з січня 2011р. по грудень 2020р.

Таблиця 1.

Статистичні характеристики рядів зміни сонячної радіації на перпендикулярну поверхню за період 2011-2020 рр.

Характеристика	Станція Бориспіль	Одеса
Математичне очікування	329,45	409,58
Середньоквадратичне відхилення	230,34	255,72
Коефіцієнт асиметрії	0,28	0,12
Екссес	-1,26	-1,39
1-й квартиль	104,5	153,5
Медіана	310	405
3-й квартиль	545,5	629,5
Дисперсія	53056,52	65392,718
3-й центральний момент	3396352	2038619
4-й центральний момент	4903947381	6877265967
Мода	580	147

У табл. 2 наведено дані порівняння показників геліоенергетичних ресурсів за період 1961-2020 роки для умов Києва та Одеси. Наведено дані порівняння з даними ДСТУ-2010. Показано, що в останні роки річні суми прямої радіації збільшуються на 18-23 %. Сумарна річна радіація в 2020 році збільшилась відносно періоду 1961-1990 рр. на 6 %. Порівняння показників геліоенергетичних ресурсів за період (1961 – 2020 рр.), середні рівні суми радіації на горизонтальну поверхню за умов середньої

хмарності для Києва та Одеси.

Примітка: * - данні по [5], ** - данні по ЦГО

На рис. 2. показано порівняння середньомісячних та середньодобових значень ЦГО та ДСТУ. Спостерігається збільшення радіації під час останнього десятиліття.

У таблиці 3 наведено дані порівняння ДСТУ з кліматичними даними різних періодів. Показано збіг даних ДСТУ (8-11 %) з даними ранніх періодів

Таблиця 2

Період роки	$S, \frac{\text{МДж}}{\text{м}^2}$	$\Delta, \%$	$D, \frac{\text{МДж}}{\text{м}^2}$	$\Delta, \%$	$Q, \frac{\text{МДж}}{\text{м}^2}$	$\Delta, \%$
Станція Бориспіль, $L = 50^{\circ}. 24'$						
1961 - 1970	2030	+ 10	2069	- 4	4099	+ 3
1971 - 1980	1802	- 2	2131	- 1	3133	0
1981 - 1990	1694	- 8	2247	+ 4	3441	- 1
1991 - 2000	1623	- 12	1842	- 13	3495	- 12
2001 - 2006	1979	+ 2	1766	- 18	3645	- 9
*1991 - 2014	1824	- 1	1835	- 15	3659	- 7
**2011 - 2020	2264	+ 23	1854	- 14	4118	+5
ДСТУ 2010	1770	- 3	2009	- 6	3788	- 4
Одеса, $L = 46^{\circ}. 24'$						
1961 - 1970	2683	+ 8	1923	- 5	4606	+ 3
1971 - 1980	2373	- 3	2014	0	4387	- 2
1981 - 1990	2311	- 6	2127	+ 5	4438	- 1
1991 - 2000	2522	+ 3	2028	0	4553	+ 2
2001 - 2006	2663	+ 9	1890	- 6	4553	+ 2
*1991 - 2014	2665	+ 8	1825	- 10	4490	0
**2011 - 2020	2895	+ 18	1847	- 9	4742	+ 6
ДСТУ 2010	2479	0	1995	0	4474	0

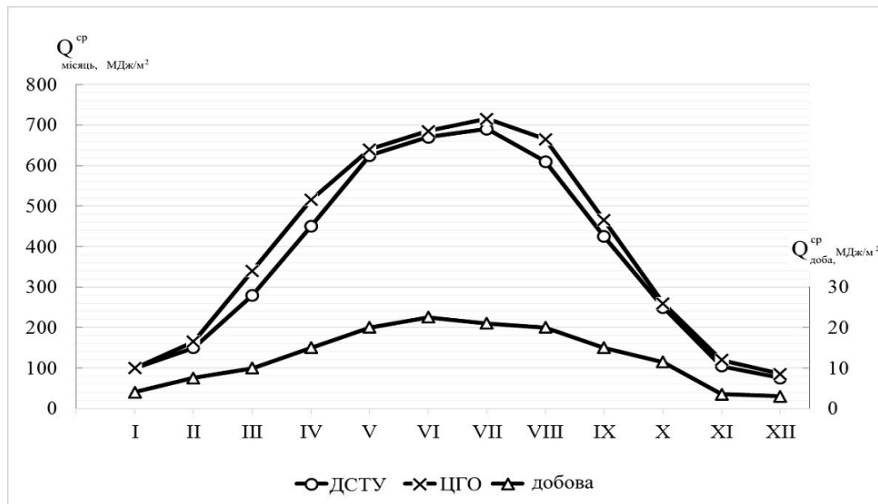


Рисунок 2. Середньомісячні і середньодобові значення сонячної радіації.

Таблиця 3

Порівняння сумарної сонячної радіації по ДСТУ НБВ.1.1-27:2010 з кліматичними даними різних періодів (для умов Одеси при середній хмарності)

Місяці	[12]	Δ, %	ЦГО	Δ, %	[10]
I	101	- 11	101	- 4	114
II	157	- 2	164	+2	160
III	214	- 4	345	+13	306
IV	454	- 2	515	+11	465
V	627	0	648	+3	631
VI	667	- 4	692	0	698
VII	690	- 3	709	0	712
VIII	608	- 2	653	+5	623
IX	431	- 5	458	0	452
X	261	- 7	257	- 9	282
XI	109	- 8	113	- 4	118
XII	75	- 16	89	0	89

Останніми роками спостерігається підвищення середньомісячних значень. Середньодобові значення наведено на рис. 2. кожного місяця року. Використовуючи розрахункові залежності, можна визначити середньодобові значення для будь-якого дня року. Використовуючи ці середньодобові значення, можна визначити погодинні значення.

Знаючи дані надходження радіації визначаємо середньомісячні та годинні значення [15-21].

Надходження сумарної сонячної радіації протягом дня визначається залежністю [21]:

$$H_o = \frac{3600 h_s G_{sc}}{\pi} \left[1 + 0,33 \frac{360N}{365} \right] \times \left(\cos L \cdot \cos \delta \cdot \sin h_{ss} + \left(\frac{\pi h_{ss}}{180} \right) \sin L \cdot \sin \delta \right) \quad (1)$$

де N – день року; G_{sc} – сонячна постійна G_{sc} – 1330 Вт/м²; L – географічна широта; δ – відхилення сонця; h_{ss} – висота сонця; h_s – довжина сонячного дня.

$$h_s = \frac{2}{15} \cos^{-1}[-\tan L \cdot \tan \delta];$$

$$\delta = 23,45 \cdot \sin \left[\frac{360}{365} (N + 284) \right];$$

$$h_{ss} = \cos^{-1}[-\tan L \cdot \tan \delta].$$

Часові надходження сонячної радіації визначаємо за залежністю [16]:

$$r = \frac{i}{H_o} = \frac{\pi}{24} [\alpha + \beta \cos h] \cdot \frac{(\cos h - \cos h_{ss})}{\sin h_{ss} - \frac{2\pi h_{ss}}{360} \cos h_{ss}} \quad (2)$$

де $\alpha = 0,409 + 0,5016 \sin(h_{ss} - 60)$; $\beta = 0,6609 - 0,4767 \sin(h_{ss} - 60)$.

Для умов Києва опівдні 15 липня визначаємо:

$$r = \frac{\pi}{24} [0,8344 + 0,2566 \cdot \cos(-7,5^{\circ})] \times \frac{(\cos(-7,5^{\circ}) - \cos 118^{\circ})}{\sin 118^{\circ} - \left(\frac{2\pi \cdot 118^{\circ}}{360} \right) \cos 118^{\circ}} = 0,112.$$

Показанні надходження сумарної сонячної радіації в полудень 15 липня для Києва складають $i = r \cdot H_o = 0,112 \cdot 7078 = 792 \text{ Вт/м}^2$ по ДСТУ(862 Вт/м²).

Наприклад, для умов Києва (L=500 п.ш.)

денний вступ (15 липня) становить:

$$\begin{aligned} \delta &= 23,45 \sin \left[\frac{360}{365} (106 + 284) \right] = \\ &= \left[\frac{360}{365} (N + 284) \right] = 21,2^\circ \\ h_{ss} &= \cos^{-1} [-\tan(50^\circ) \cdot \tan(21,2^\circ)] = 118^\circ \\ h_s &= \frac{2}{15} \cos^{-1} [-\tan(50^\circ) \cdot \tan(21,2^\circ)] = 15,7 \text{ год.} \\ H_0 &= \frac{3600 \cdot 15,7 \cdot 1330}{\pi} \left[1 + 0,33 \frac{360 \cdot 196}{365} \right] \times \\ &\times [\cos 50^\circ \cdot \cos 21,2^\circ \cdot \sin 118^\circ + \\ &+ \left(\frac{\pi \cdot 118}{180} \right) \sin 50^\circ \cdot \sin 21,2^\circ] = \\ &= 25,48 \text{ МДж/м}^2\text{-день або } \left(= 7078 \frac{\text{Вт}\cdot\text{год}}{\text{м}^2\cdot\text{день}} \right) \end{aligned}$$

За даними ДСТУ 2010, денне надходження сумарної сонячної радіації (15 червня) для умов Києва та ясного неба становить $Q=7544 \text{ Вт}\cdot\text{год/м}^2$ ($\Delta=6\%$).

Важливою характеристикою геліоенергетичних ресурсів є тривалість сонячного сьйва. По даним [4] ефективно використання сонячної енергії забезпечується при тривалості сонячного сьйва (середньомісячні значення) більше 200 годин. По даним Центральної геофізичної обсерваторії ім. Бориса Срезневського фактична річна тривалість сонячного сьйва за період 2011-2020 роки для умов Києва (Бориспіль) змінюється від 2222 годин (2011 р.) до 2184 години (2020 р.). Можлива річна тривалість сонячного сьйва відповідно змінюється від 4452 години (2011 р.) до 4481 година (2020 р.). Середньомісячне значення фактичної тривалості сонячного сьйва змінюється від 203 години (березень 2011 р.) до 135 годин (листопад 2011 р.). Максимальні значення є 302 години в травні та 305 годин в червні. В 2020 році фактичні середньомісячні значення змінюються від 180 годин в березні до 120 годин в листопаді. Максимальні значення спостерігаються в червні (331 година) та серпні (334 години). В південних областях України

фактична річна тривалість сонячного сьйва за період 2011-2020 рр. для умов Одеси змінюється від 2387 годин (2011 р.) до 2709 годин (2020 р.). Можлива тривалість сонячного сьйва відповідно змінюється від 4717 годин (2011 р.) до 4242 години (2020 р.). Середньомісячні значення фактичної тривалості сонячного сьйва змінюються від 180 годин (березень 2011 р.) до 169 годин (листопад 2011 р.). Максимальні значення спостерігаються в липні (333 години 2011 р.) та серпні (371 година 2011 р.). В 2020 році фактичні середньомісячні значення відповідно змінюються від 217 годин (березень 2020 р.) до 168 годин (листопад 2020 р.). Максимальні значення спостерігаються в липні (379 годин 2020 р.) та серпні (380 годин 2020 р.).

Критерієм доцільності використання сонячної енергії є річна кількість ясних та напівясних днів більше 200 (при кількості днів більше 244 потенціал оцінюється як високий). В ДСТУ кількість ясних днів не приводиться.

Висновки. Результати аналізу часового ряду сонячної радіації в період 2011-2020 років вказують на збільшення середньомісячної та річної сонячної радіації як у південних, так і північних районах країни в останні роки десятиліття. Виконано порівняння даних ДСТУ НБВ 1.1-27 – 2010 та фактичних даних вимірювань. Показано, що дані ДСТУ (2010 р.) збігаються з даними більш ранніх вимірювань до 2020 року, а з даними останнього десятиліття відрізняються на 18-23 %. Для визначення даних сонячної радіації у денний період та годинної радіації наведено емпіричні залежності прості та зручні для застосування при виконанні інженерних розрахунків та оцінок геліоенергетичних ресурсів.

Література

1. Клімат України.-Київ.-Видавництво Раєвського .-2003.-343 с.
2. Муртазінова В.Ф. Синоптические процессы, определяющие современный климат Украины. - Фізична географія та геоморфологія. 2009. Вип. 57.-с 18-22.
3. Зубкович С.А. Проблема типизации синоптических процессов над восточными областями Украины. Восточно-Европейский журнал передовых технологий: Экология.-том 3 №11 (63) 2013
4. Дмитренко Л.В., Барандіч С.Л. Оцінка кліматичних ресурсів сонячної енергії в Україні.-Наукові праці УкрНДГМІ 2007 вип 256
5. Рибченко Л.С., Савчук С.В. Потенціал геліоенергетичних кліматичних ресурсів сонячної радіації в Україні.-Укр.географ.ж.-2015.-№4.-с.16-24
6. Рибченко Л.С. Савчук С.В. Радіаційний режим в умовах інтенсивної засухи 2001-2010 рр в Україні.-Укр.географ. ж. 2013. №1. с.5-11
7. Гальчак В. П., та інш. Параметри прямого потоку сонячної енергії при ясному небі з урахуванням прозорості атмосфери.-Відновлювальна енергетика 2019, №2. – с. 22
8. Озарків І. М., та інш. Особливості розрахунку геліосушильної установки для деревини.- Науковий вісник,

2007, вип. 17.1 Націон. лісотехн. ун-т України

9. Волошина Е.В., Курышина В.Ю. Пространственно-временное распределение суммарной солнечной радиации в Юго-Западных областях Украины.-Український гідрометеорологічний журнал, 2010, № 6

10. Научно-прикладной справочник по климату СССР, вып. 10, кн. 1, сер. 3. - Ленинград 1990

11. СНиП 2.01.01-82 Строительная климатология .-М Стройиздат 1983

12. ДСТУ - НБВ.1.1-27: 2010 Будівельна кліматологія-К. Мінрегіонбуд 2011

13. Рибченко Л.С., Ревера Т.О. Сумарна сонячна радіація та альbedo підстильної поверхні в Україні.-Наукові праці Укр. НДГМІ, 2007, вип. 256 . - с.99

14. Сергейчук О.В. Геометрична комп'ютеризована модель atmospheric radiation для енергоефективного будівництва.- Энергоефективність в будівництві та архітектурі .-вип 1.- 2011.-КНУБА

15 Zekai Zen Solar Energy Fundamental and Modeling Techniques/-London: Springer-Verlag 2008

16. Collares-Perera M Rabl A The average distribution of solar radiation -correlation between diffuse and hemispherical and between daily and hourly insolation values. -Solar Energy 1979:22:155

17. Мисак Й.С., Возняк О.Т., Дацько О.С., Шаповал С.П. Сонячна енергетика: теорія та практика. Львівська політехніка. 2014.-340 с.

18. Duffie JA, Beckman WA Solar engineering of thermal processes. 4-ed/ Copyright 2013 by John Wiley and Sons. Inc. Hoboken. New Jersey.-910 p.

19. Walker A. Solar Energy Technologies and the Project Delivery Process for Building. Copyright 2013 by John Wiley and Sons. Inc. -298 p.

20. Scharmer K. Greif J. The European Solar Radiation Atlas. vol.1 Paris.-2000. - 98 p.

21. Kalogirou S.A. Solar Energy Engineering Processes and Systems. Academic Press, Oxford. 2014. - 819 p.

References

1. Klimat Ukrainy.-Kyiv.-Vydavnytstvo Rayevs'koho .-2003.-343 s.

2. Murtazynova V.F. Synopticheskiye protsessy, opredelyayushchye sovremennyy klymat Ukrainy. - Fizychna heohrafiya ta heomorfolohiya. 2009. Vyp. 57.-s 18-22.

3. Zubkovych S.A. Problema typrozatsyy synopticheskyykh protsessov nad vostochnymy oblastyamy Ukrainy. Vostochno-Evropeyskyy zhurnal peredovykh tekhnolohyy: Ékologyya.-tom 3 №11 (63) 2013

4. Dmytrenko L.V., Barandich S.L. Otsinka klimatichnykh resursiv sonyachnoyi enerhiyi v Ukraini.-Naukovi pratsi UkrNDHMI 2007 vyp 256

5. Rybchenko L.S., Savchuk S.V. Potentsial helioenerhetychnykh klimatichnykh resursiv sonyachnoyi radiatsiyi v Ukraini.-Ukr.heohraf.zh.-2015.-№4.-s.16-24

6. Rybchenko L.S. Savchuk S.V. Radiatsiynnyy rezhym v umovakh intensyvnoyi zasukhy 2001-2010 rr v Ukraini.-Ukr.heohraf. zh. 2013. №1. s.5-11

7. Hal'chak V. P., ta insh. Parametry pryamoho potoku sonyachnoyi enerhiyi pry yasnomu nebi z urakhuvannam prozorosti atmosfery.-Vidnovlyuval'na enerhetyka 2019, №2. - s. 22

8. Ozarkiv I. M., ta insh. Osoblyvosti rozrakhunku heliosushyl'noyi ustanovky dlya derevyny.- Naukovyy visnyk, 2007, vyp. 17.1 Natsion. lisotekhn. un-t Ukrainy

9. Voloshyna E.V., Kuryshyna V.YU. Prostranstvenno-vremennoe raspredelenye summarnoy solnechnoy radyatsyy v Yuho-Zapadnykh oblastyakh Ukrainy.-Ukrayins'kyy hidrometeorolohichnyy zhurnal, 2010, № 6

10. Nauchno-prikladnoy spravochnyk po klymatu SSSR, vyp. 10, kn. 1, ser. 3. - Lenynhrad 1990

11. SNyP 2.01.01-82 Stroytel'naya klymatolohyya .-M Stroyzdat 1983

12. DSTU - NBV.1.1-27: 2010 Budivel'na klimatolohiya-K. Minrehionbud 2011

13. Rybchenko L.S., Revera T.O. Sumarna sonyachna radiatsiya ta al'bedo pidstyl'noyi poverkhni v Ukraini.- Naukovi pratsi Ukr. NDHMI, 2007, vyp. 256 . - с.99

14. Serheyчук О.В. Геометрична комп'ютеризована модел' atmospheric radiation dlya enerhoefektyvnoho budivnytstva.- Enerhoefektyvnist' v budivnytstvi ta arkhitekturi .-vyp 1.- 2011.-КНУБА

15. Zekai Zen Solar Energy Fundamental and Modeling Techniques/-London: Springer-Verlag 2008

16. Collares-Perera M Rabl A The average distribution of solar radiation -correlation between diffuse and hemispherical and between daily and hourly insolation values. -Solar Energy 1979:22:155

17. Mysak Y.S., Voznyak O.T., Dats'ko O.S., Shapoval S.P. Sonyachna enerhetyka: teoriya ta praktyka. L'vivs'ka politekhnika. 2014.-340 s.

18. Duffie JA, Beckman WA Solar engineering of thermal processes. 4-ed/ Copyright 2013 by John Wiley and Sons. Inc. Hoboken. New Jersey.-910 p.

19. Walker A. Solar Energy Technologies and the Project Delivery Process for Building. Copyright 2013 by John Wiley and Sons. Inc. -298 p.

20. Scharmer K. Greif J. The European Solar Radiation Atlas. vol.1 Paris.-2000. - 98 p.

21. Kalogirou S.A. Solar Energy Engineering Processes and Systems. Academic Press, Oxford. 2014. - 819 p.

UDK 621.176

ANALYSIS OF TEMPORARY VARIABILITY OF THE TOTAL INTENSITY OF SOLAR RADIATION WHEN ASSESSING ENERGY RESOURCES

O. Prymak¹, I. Redko², O. Redko³, A. Redko³

¹Sc.D, professor., Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine, 02opriymak@gmail.com, ORCID 0000-0002-3081-6057

²PhD, associate professor, Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine, ihor.redko1972@gmail.com, ORCID 0000-0002-9863-4487

³Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture, Kharkiv, Ukraine, alex.redko2002@gmail.com, ORCID 0000-0002-4164-756X

³Sc.D, professor. Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture, Kharkiv, Ukraine, redko.andriy@kstuca.kharkov.ua, ORCID 0000-0003-2331-7273

Abstract. The results of the analysis of temporary variability of average monthly and annual amounts of solar radiation in Ukraine for the period 2011-2020 are presented. Measurement data were compared with earlier periods and the standard period of 1961-1990. The statistical characteristics of the series of changes in solar radiation have been determined. Comparison of the characteristics of solar radiation with the normative data of SSU NBV .1.1-27-2010 was made. It has been shown that in recent years the annual amounts of direct radiation have increased by 18-23%. The total annual radiation in 2020 increased by 6% according to the period 1961-1990. The analysis of the calculated results of determining hourly values and daily sums of direct and scattered radiation obtained using empirical dependencies of engineering methods is carried out. The efficiency of using the sustainable potential of solar energy depends on the climatic characteristics of this area or region. Inconsistencies in regulations can therefore create a problem where the best places for energy production lack public interest, infrastructure and cost-effective consumption. Depending on the regional climatic conditions of Ukraine, the solar energy potential varies from 1400 MJ/m² in the western regions to 1950 MJ/m² in the eastern regions. An important characteristic of solar energy resources is the duration of sunshine. For the conditions of Kyiv, the average monthly value of the actual duration varies from 180 hours in March to 120 hours in November. The possible annual duration of sunshine varies accordingly from 4452 hours (2011) to 4481 hours (2020). The maximum values are observed in June (331 hours) and August (334 hours). In the southern regions of Ukraine, the actual annual duration of sunshine for Odesa conditions varies from 2387 hours (2011) to 2709 hours (2020). The criterion for the expediency of using solar energy is the annual number of clear days of more than 200. The number of clear days is not given in SSU.

Keywords: solar radiation, change in total solar radiation, solar energy potential, climatic standard norm