

УДК 624.04:697.11

Нормування ультрафіолетового опромінення приміщень і територій за енергетичними критеріями

О. В. Сергейчук¹, В. О. Єгорченков², Д. О. Радомцев³¹д.т.н., проф., Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна, ovsergeich@i.ua, ORCID:000-0003-0226-3923²к.т.н., доц., Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна, egval@ukr.net, ORCID:000-0003-2910-0331³провідний архітектор, ТОВ «Архіматика», м. Київ, Україна, d.radomtsev@gmail.com, ORCID:0000-0002-5358-9897

Анотація. Уцілення забудови супроводжується появою певних негативних факторів середовища проживання, зокрема його світло-інсоляційного режиму. У сучасних українських нормах критерієм оцінки ультрафіолетового опромінення є тривалість інсоляції. Але це нормування недосконале, оскільки сонячна радіація змінюється як за інтенсивністю і спектральним складом, так і в об'ємі приміщень. Крім того, інсоляція не враховує опромінення розсіяною і відбитою від оточення радіацією. Особливо це стосується ультрафіолетової частини спектру – її інтенсивність становить 70...80 % від прямої. Для більш повного врахування ресурсів сонячної радіації для життєзабезпечення необхідний перехід до оцінки ультрафіолетового опромінення від часових критеріїв до енергетичних. Тому метою даної роботи є розробка науково-методичних принципів переходу до такої оцінки. У статті наведені залежності, за якими можна визначити дози прямої, розсіяної та відбитої ультрафіолетової сонячної радіації. Особлива увага приділена визначенню розсіяної та відбитої складовим, оскільки саме ці види радіації опромінюють найбільшу частину внутрішнього простору приміщення. Їх пропонується визначати на підставі нового математичного апарату точкового числення. Представлена методика визначення опромінення. Пропонуються методи нормування ультрафіолетового опромінення за енергетичними параметрами.

Ключові слова: інсоляція, ультрафіолетове опромінення, спектр радіації, енергетичні критерії

Постановка проблеми і її актуальність.

Уцілення забудови в містах і населених пунктах супроводжується підвищенням поверховості будівель. У зв'язку з цим мають місце негативні фактори середовища проживання, зокрема його світло-інсоляційного режиму. Особливо це стосується нижніх поверхів будівель. Тому дослідження в галузі формування світло-інсоляційного комфорту в будівлях набуває особливу актуальність.

Останні дослідження та публікації. У сучасних українських нормах ультрафіолетове опромінення визначається тривалістю інсоляції [1]. Безумовно, час опромінення простору й організмів прямою сонячною радіацією дуже важливий, але недостатній. Адже сонячна радіація змінюється як за інтенсивністю, спектральним складом, так і в об'ємі приміщень. Також важливе значення має і тип радіації: пряма, розсіяна, відбита та сумарна.

Деякі автори пропонують нормувати інсоляцію за середньорічним значенням встановленого оптимуму для визначеної широти даної місцевості [2].

У щільній забудові забезпечення нормативних вимоги з інсоляції є складною задачею. Хоча пряма радіація є найбільш інтенсивною, але не можна нехтувати розсіяною і відбитою складовими. Особливо це стосується ультрафіолетової

частини сонячного спектра, оскільки частка розсіяної складової в ультрафіолетовій радіації (УФР) становить 70-80 % від прямої (для порівняння, в інтегральному потоці сумарної радіації частка розсіяної радіації [3] становить лише 10...20 %, що видно з рис.1). Тим паче, сонячна радіація в природних умовах ніколи не буває тільки прямою.

Для удосконалення обчислення ресурсу сонячної радіації для життєзабезпечення людини необхідний перехід від оцінки тривалості інсоляції до доз УФР. На це вказували науковці ще наприкінці минулого століття [4, 5].

Формулювання цілей статті. Метою даної роботи є розробка науково-методичних принципів переходу до оцінювання УФР за енергетичними критеріями.

Основна частина. Енергетична сумарна освітленість (опроміненість) у розрахунковій точці (РТ) горизонтальної площини приміщення в ультрафіолетовому діапазоні частот спектра $E^{уф}$, визначається за формулою:

$$E^{уф} = E_{пр}^{уф} + E_{роз}^{уф} + E_{відб}^{уф}, \text{ Вт/м}^2, \quad (1)$$

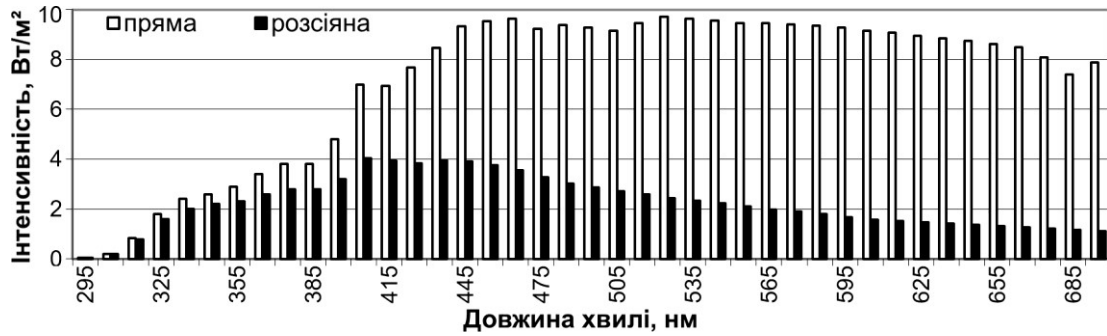


Рис.1. Спектр прямої і розсіяної сонячної радіації на ефективній бактерицидній ділянці на рівні моря при висоті сонця 60° над горизонтом при яснуому небі

де $E_{пр}^{уф}$ – пряма освітленість, яка проникає до приміщення крізь прорізи безпосередньо від сонячного диска, Вт/м²; $E_{роз}^{уф}$ – розсіяна освітленість, яка проникає до приміщення від небосхилу, Вт/м²; $E_{відб}^{уф}$ – відбита освітленість від землі, сусідніх будівель і внутрішніх поверхонь приміщення, Вт/м².

Перша складова визначається з наступного виразу:

$$E_{пр}^{уф} = \frac{E_{со}^{уф} \tau_o^{уф}}{\Delta^2} p^M \sin h_o, \text{ Вт/м}^2, \quad (2)$$

де $E_{со}^{уф}$ – енергетична освітленість площини, Вт/м², нормальної до напрямку УФР на зовнішньої межі атмосфери, яка може бути визначена за стандартом [6] ASTM E490-00a(2014) (рис.2);

Δ – астрономічна одиниця, яка характеризує середню відстань від Сонця до Землі (в інженерних розрахунках приймається рівною одиниці); p – прозорість атмосфери (для крупних міст і мегаполісів може бути прийнятою рівною 0,6); M – повітряна маса атмосфери (може бути прийнятою за таблицею Бемпорада [5] залежно від кутової висоти сонцестояння); h_o – кутова висота стояння Сонця над горизонтом, град.; $\tau_o^{уф}$ – коефіцієнт пропускання УФР крізь віконне заповнення (рис. 3).

Відомо, що ультрафіолетова область спектра на зовнішньої межі атмосфери становить близько 4 % від інтегрального потоку [7]. Тому при розрахунках можна користуватися або даними графіка (рис. 2) або значенням

$$E_{со}^{уф} = 0,04 \cdot E_{со}, \quad (3)$$

де $E_{со} = 1366,1 \text{ Вт/м}^2$ – тепла сонячна стала.

За формулою (3) $E^{уф} = 54,64 \text{ Вт/м}^2$, що узгоджується с даними графіка на рис. 2.

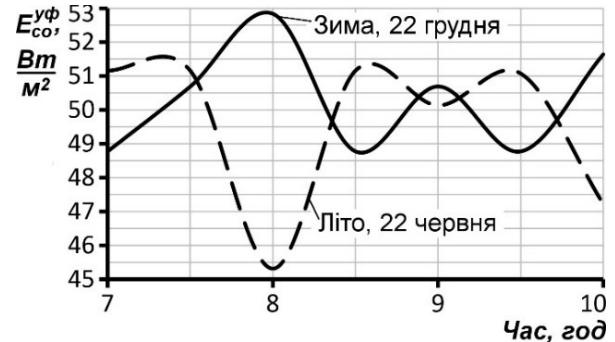


Рис.2. Значення УФР в діапазоні довжин хвиль 280...380 нм на зовнішній межі атмосфери

Розсіяна освітленість від небосхилу $E_{роз}^{уф}$, Вт/м², визначається за методикою [8, 9] з використанням нового математичного апарату точкового числення:

$$E_{рас}^{уф} = L_z \tau_o^{уф} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n g_{ij}^D \sigma_{ij}^D, \quad (4)$$

де L_z – енергетична яскравість, Вт/м², у зеніті небосхилу ультрафіолетової області спектра (може бути прийнята для різних міст за матеріалами європейського проекту Satellight за 1996 рік) [10]; g_{ij}^D – коефіцієнт відносної яскравості елементарної ділянки неба в напрямку його центра із РТ; σ_{ij}^D – значення проєкції тілесного кута елементарної ділянки на нормаль до площини, в якій знаходиться РТ. Визначається за відомою формулою Вінера [11]; m, n – кількість точок сканування поверхні небосхилу, видимої з даної РТ крізь проріз у двох напрямках.

Відбита складова визначається з урахуванням коефіцієнтів відбиття ультрафіолетового випромінювання. Наприклад, коефіцієнти відбиття випромінювання с довжиною хвилі 300 нм алюмінієвої фарби становить 0,65; білого вапна – 0,48; світлого сухого піску – 0,17 тощо [12].

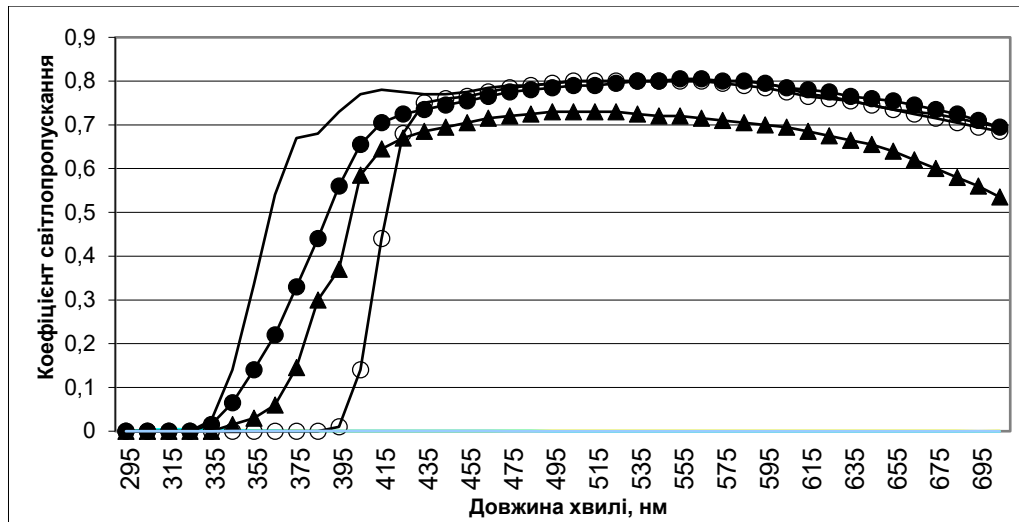


Рис. 3. Спектральне світлопропущення різних типів склопакетів (згідно бази даних Glad 2004/3):

- — склопакет (А) із флуат-скла, прозорість для видимого світла $\tau_{vis} = 78\%$, ультрафіолетової радіації $\tau_{uv} = 36\%$, загальної енергії $\tau_{sol} = 54\%$;
- теплозахисний склопакет (Б) з «м'яким» покриттям (срібло) на третій поверхні $\tau_{vis} = 79\%$, $\tau_{uv} = 20\%$, $\tau_{sol} = 54\%$;
- ▲— сонцезахисний склопакет (В) з комбінованим «твердим» (срібло + оксиди) покриттям на 2-й поверхні, $\tau_{vis} = 71\%$, $\tau_{uv} = 9\%$, $\tau_{sol} = 39\%$;
- шумозахисний склопакет (Г) – зовнішній шар – триплекс з полівінілбутиловою плівкою 4-1-4, $\tau_{vis} = 79\%$, $\tau_{uv} = 0$, $\tau_{sol} = 60\%$. g_{ij}^D – коефіцієнт відносної яскравості елементарної ділянки неба в напрямку його центра із РТ;

Методика-алгоритм розрахунку відбитої складової ґрунтується на наступних положеннях.

- формується поле точок сканування методом точкового числення на всіх внутрішніх поверхнях приміщення, а також на всіх зовнішніх об'єктах, які впливають на енергетичну освітленість РТ (поверхнях поруч розташованих будівель і прилеглих ділянок земної поверхні) і визначаються координати цих точок за допомогою точкових рівнянь;
- визначається освітленість від сонця, неба і зовнішніх об'єктів крізь усі світлові прорізи в РТ приміщення;
- визначаються координати центрів площинок внутрішніх поверхонь, які беруть участь у процесі відбиття;
- у центрах цих площинок визначається освітленість від сонця, неба і зовнішніх об'єктів крізь усі світлові прорізи;
- визначається енергетична яскравість кожної площинки відповідно до припущення, що поверхня відбиває за всіма напрямками однаково (ламбертова поверхня),
- визначається енергетична освітленість від первісного відбиття в РТ від всіх площинок;

- підраховується частка освітленості за рахунок первісного відбиття в РТ в загальній величині освітленості;
- далі підраховується вторинне відбиття і також підсумовується з освітленістю від світлових прорізів, первинним відбиттям тощо
- при кожному відбитті обчислюється відносний приріст освітленості;
- коли величина відносного приросту буде достатньо мала, розрахунок припиняється.

На практиці, поки не розроблена програма розрахунку, можна розраховувати опромінення розсіяною і відбитою сонячною радіацією з використанням графіків А.М. Данилюка для визначення величини проекції тілесних кутів на розрахункову площину [13].

Нормативні значення ультрафіолетового опромінення за енергетичним критерієм можна, в першому наближенні, отримати з використанням чинних норм тривалості інсоляції з таких міркувань.

Оскільки тривалість інсоляції нормується з 22 березня по 22 вересня для умов ясного неба (початок розрахункового часу інсоляції – 1 година після сходу сонця, кінець – 1 година до його заходу), то мінімально допустима доза УФР, $H_{\text{н}}^{\text{уф}}$, Дж/м², на горизонтальній поверхні (підві-

конник вікна або майданчик території) визначається формулою

$$H_n^{yf} = E_{пр\ cер}^{yf} \cdot t_n, \quad (5)$$

де $E_{пр\ cер}^{yf}$ – середня освітленість прямою сонячною радіацією розрахункової точки за період часу t_n до кінця розрахункового часу інсоляції 22 липня (час з найменшою прозорістю атмосфери);

t_n – чинний санітарно-гігієнічний мінімум інсоляції в секундах.

При розрахунку $E_{пр\ cер}^{yf}$ у формулі (2) приймається значення τ_o^{yf} для застосування згідно з проектними даними, а при розрахунку на території $\tau_o^{yf}=1$.

Оскільки всі викладки йдуть в одному діапазоні частот, то отримане значення можна прирівняти до сумарної нормативної дози УФР.

Висновки. Запропонований підхід до зміни критерію нормування ультрафіолетового опромінення приміщень і територій дозволить значно уточнити врахування містобудівної ситуації, а саме, необхідних за санітарно-гігієнічними вимогами розривів між будівлями, затінення дитячих і спортивних майданчиків.

Перспективи подальших досліджень Планується на підставі цього підходу розробити програму розрахунку не тільки містобудівної ситуації, а і проектування раціональних систем природного освітлення з точки зору як інсоляції, так і природного освітлення. На даному етапі за відсутності програми для проєктантів можна розробити відповідний графічний інструментарій – мапи УФР ясного і похмурого неба для архітектурно-кліматичних будівельних районів України, а також, можливо, мапи відбитої УФР від земної поверхні. Розрахунок за такими мапами аналогічний розрахунку за енергетичними мапами [14].

Література

1. ДБН 360-92** Містобудування. Планування та забудова міських і сільських поселень. Зі змінами. – Чинні від 19.04.2002. – Київ: Укрархбудінформ, 2002. – 125 с.
2. Бахарев Д. В. О нормировании и расчете инсоляции / Д. В. Бахарев, Л. Н. Орлова. // Светотехника. 2006. – № 1. – с. 18-27
3. Леру Р. Экология человека. Наука о жилищном строительстве / Р. Леру. – Москва: Стройиздат, 1970. – 264 с.
4. Оболенский Н. В. Архитектура и солнце / Н. В. Оболенский. – Москва: Стройиздат, 1988. – 207 с.
5. Архитектурная физика: Учеб. для вузов: Спец. «Архитектура». / В. К. Лицкевич, Л. И. Макриненко, И. В. Мигалина и др.; Под ред. Н. В. Оболенского. – Москва: Архитектура-С, 2016. – 448 с.
6. ASTM E490-00a(2014). Standard solar constant and zero air mass solar spectral irradiance tables. – American Society for Testing and Materials, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2014. – 16p. – (ASTM стандарт). Режим доступу: <http://www.astm.org/Standards/E490.htm> (дата звернення: 04.02.2015).
7. Матвеев Л. Т. Курс общей метеорологии. Физика атмосферы. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1984. – 751 с.
8. Egorchenkov V. Principles of Constructing Light Field Model for a Room with Curvilinear Quadrangular Light Openings by Means of the Dot Calculation / V. Egorchenkov, E. Konopatsky // Light & Engineering (Svetotekhnika). – 2015. – Vol. 23, No. 2. – p. 43-48.
9. Егорченков В. А. Прямая естественная освещенность от четырехугольного светопроема в плоскости общего положения / В. А. Егорченков // Прикладна геометрія та інженерна графіка: наук.-техн. зб. / Київський національний університет будівництва і архітектури. – 2012. – Вип. 90. – с. 102-106.
10. Satelight. The European database of daylight and solar radiation. Access: <http://www.satelight.com/core.htm> (дата звернення: 04.02.2015).
11. Wiener Ch. Lehrbuch der darstellenden Geometrie / Ch. Wiener. – Leipzig, 1884.
12. Реконструкція житла / Матеріали Четвертої Міжнародної виставки-конференції «Реконструкція житла» // RG / Київ, 2002. – Київ, 4 – 7 червня 2002 р.
13. ДБН В.2.5-28-2006. Природне і штучне освітлення. Зміна № 2. – Чинні від 1.09.2012. – Київ: Укрархбудінформ, 2012. – 36 с.
14. Сергейчук О. В. Особенности методики расчёта солнечных поступлений в национальном приложении к ДСТУ Б EN ISO 13790 / О. В. Сергейчук, В. С. Буравченко, Д. А. Радомцев и др. // Энергоэффективность в строительстве и архитектуре: наук.-техн. зб. / Київський національний університет будівництва і архітектури. – 2014. – Вип. 6. – с. 267-272.

References

1. *Mistobuduvannia. Planuvannia ta zabudova miskih i silskih poselen.* DBN 360-92**, Ukrarhbudinform, 2002.
2. Baharev D. V., Orlova L. N. "O normirovanii i raschete insoliatsii", *Svetotekhnika*, no.1, 2006, pp. 18-27.
3. Leru R. *Ekologiya cheloveka. Nauka o zhilishchnom stroitelstve.* Stroyizdat, 1970.
4. Obolenskiy N. V. *Arhitektura i solntse.* Stroyizdat, 1988.
5. *Arhitekturnaia fizika: Ucheb. dlia vuzov: Spets. «Arhitektura».* / V. K. Litskevich, L. I. Makrinenko, I. V. Migalina i dr.; Edited by Obolenskii N. V., Stroyizdat, 1997.
6. *ASTM E490-00a. Standard solar constant and zero air mass solar spectral irradiance tables* (ASTM standard). <http://www.astm.org/Standards/E490.htm>. Access: 04.02.2015.
7. Marveiev L. T. *Kurs obshchei meteorologii. Fizika atmosfery.* Gidrometeoizdat, 1984.
8. Egorchenkov V., Konopatsky E. "Principles of Constructing Light Field Model for a Room with Curvilinear Quadrangular Light Openings by Means of the Dot Calculation." *Light & Engineering (Svetotekhnika)*, vol. 23, no. 2, 2015, pp. 43-48.
9. Egorchenkov V. A. "Priamaia yestestvennaia osveshchennost ot chetirehugolnogo svetoproyma v ploskosti obshchego polozheniia." *Prikladna geometriia geometriia ta ingenerna grafika: Naukovo-tekhnichnyi zbirnyk*, Iss. 90, Kyiv National University of Construction and Architecture 2012, pp. 102-106.
10. *Satellight. The European database of daylight and solar radiation*, <http://www.satellight.com/core.htm>. Access: 04.02.2015.
11. Wiener Ch. *Lehrbuch der darstellenden Geometrie*, Leipzig, 1884.
12. Реконструкція житла, Матеріалі Четвертої Міжнародної виставки-конференції «Реконструкція житла», RG, Kyiv, 2002.
13. *Prirodne i shtuchne osvitenia. Zmina № 2.* DBN B.2.5-28-2006, Ukrarhbudinform, 2012.
14. Sergeichuk O. V., Buravchenko V. S., Radomtsev D. A. i dr. "Osobnosti metodiki rascheta solnechnih postuplenii v natsionalnom prilozhenii k DSTU EN ISO 13790" *Energoefektivnost v budivnitstvi ta arhitekturi*, iss. 6, 2014, c. 267-272.

УДК 624.04:697.11

Нормирование ультрафиолетового облучения помещений и территорий по энергетическим критериям

О. В. Сергейчук¹, В. А. Егорченков², Д. О. Радомцев³

¹д.т.н., проф., Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев, Украина, ovsergeich@mail.ru,
ORCID:000-0003-0226-3923

²к.т.н., доц., Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев, Украина, egval@ukr.net,
ORCID:000-0003-2910-0331

³ведущий архитектор, ООО «Архиматика», г. Киев, Украина, d.radomtsev@gmail.com, ORCID:0000-0002-5358-9897

Аннотация. Уплотнение застройки сопровождается появлением определённых негативных факторов среды обитания, в том числе и его свето-инсоляционного режима. В современных украинских нормах критерием оценки ультрафиолетового облучения является время инсоляции. Но это нормирование несовершенно, потому что солнечная радиация изменяется как по интенсивности и спектральному составу, так и по объёму помещений. Кроме того, инсоляция не учитывает облучение рассеянной и отражённой от окружающих поверхностей радиацией. Особенно это касается ультрафиолетовой части спектра – её интенсивность составляет 70...80 % от прямой. Для более полного учёта ресурсов солнечной радиации для жизнеобеспечения необходим переход к оценке ультрафиолетового облучения от временных критериев к энергетическим. Поэтому целью данной работы является разработка научно-методических принципов перехода к такой оценке. В статье представлены зависимости, по которым можно определить дозы прямой, рассеянной и отражённой ультрафиолетовой солнечной радиации по энергетическим параметрам. Особое внимание здесь уделяется определению рассеянной и отражённой составляющих, поскольку именно эти виды радиации наиболее полно облучают внутреннее пространство помещения. Эти виды радиации предлагается определять на основе нового математического аппарата точечного исчисления. Представлена методика определения облучения. Предлагаются методы нормирования ультрафиолетового облучения по энергетическим параметрам.

Ключевые слова: инсоляция, ультрафиолетовое облучение, спектр радиации, энергетические критерии

UDC 624.04:697.11

Standardization of Ultraviolet Irradiation of Rooms and Territories by Energy Criteria

O. Sergeychuk¹, V. Egorchenkov², D. Radomtsev³

¹DSc, prof., Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine, ovsergeich@mail.ru, ORCID:000-0003-0226-3923

²PhD, as.prof., Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine, egval@ukr.net, ORCID:000-0003-2910-0331

³lead architect, «Archimatika», Kyiv, Ukraine, d.radomtsev@gmail.com, ORCID: 0000-0002-5358-9897

Abstract. Compaction of building attended by appearance of negative factors in quality of habitat environment especially of light-insolation condition. In modern Ukrainian standards, criterion of ultraviolet radiation estimation is insolation duration. However, this normalization is imperfect because the solar radiation vary by intensity, spectral distribution, and volume of premises. In addition, insolation does not take into account diffuse and reflected irradiation from surrounding surfaces. Particularly it is important for ultraviolet spectrum region – its density is 70...80% of direct irradiation. For complete accounting of solar irradiation for life sustenance, replacement of time criterions by energy estimation of ultraviolet irradiation is required. That is why aim of this paper is development of methodological principles of this estimation. The paper represents dependences for definition of direct, diffuse and reflected ultraviolet solar irradiation doses. Special attention spare to estimation of diffuse and reflected components because these types of emission irradiate largest part of internal space of premises. It is proposed to determine those types of radiation by new mathematical apparatus of point calculation. An estimation method of the irradiation is offered. Algorithms of standardization of ultraviolet irradiation by energy parameters is proposed.

Key words: insolation, ultraviolet radiation, radiation spectrum, energy criterions

Надійшла до редакції / Received 18.11.2017