

## ПРО ІНСОЛЯЦІЮ ТА ДЕННЕ ОСВІТЛЕННЯ ПРИМІЩЕНЬ

Чинні європейські стандарти розглядають денне світло з різних боків і з різним рівнем деталізації. Наприклад, стандарт EN 15193 визначає методологію оцінки внеску денного світла в будівлях, але виключно в контексті розрахунку енергетичних потреб і споживання електроенергії для штучного освітлення. EN 12464-1 установлює вимоги до освітлення робочих місць у приміщеннях, щоб забезпечити візуальний комфорт й ефективність роботи, але не розрізняє природне та штучне освітлення. На міжнародному рівні стандарт ISO 8995-1 має подібну сферу застосування до EN 12464, тоді як ISO 16817 охоплює процес проектування високоякісного візуального середовища, де денне світло та штучне освітлення відіграють ключову роль.

До 2018 року на європейському рівні не було всеосяжного стандарту, який би регулював кількість і якість денного світла в будівлях. Лише окремі країни, як-от, зокрема, Німеччина зі стандартом DIN 5034-1, мали власні регламенти щодо денного освітлення в приміщеннях.

Затверджений у 2018 році стандарт EN 17037 регулює відповідні норми та методи їх обчислення для денного освітлення житлових та виробничих приміщень, а також прибудинкових територій. Відтоді почався процес адаптації норм країн-членів ЄС до цього стандарту з урахуванням місцевих особливостей.

В Україні є будівельна норма, яка регулює інсоляцію приміщень. Інсоляція – це кількість сонячної радіації, яка надходить на горизонтальну поверхню, вимірювана в калоріях на одиницю площі за одиницю часу. Методи розрахунку інсоляції поділяють на два основні типи: геометричні та енергетичні. Державні будівельні норми визначають мінімальну тривалість інсоляції житлових приміщень – не менш ніж 2,5 години на добу в період з 22 березня до 22 вересня.

Зазвичай для розрахунку використовують геометричні методи, оскільки вони простіші в застосуванні. Однак енергетичні методи є більш точними, оскільки враховують властивості матеріалів, які постійно вдосконалюються та мають різні реакції на сонячну радіацію. Це робить енергетичні методи більш гнучкими й здатними краще адаптуватися до змін у будівельних технологіях та матеріалах.

Актуальним науковим завданням є порівняльний аналіз інсоляції, розрахованої різними методами. Сучасні комп'ютерні технології дають змогу моделювати інсоляцію приміщень уже на етапі проектування, що значно підвищує точність розрахунків.

У роботі розроблено об'єктноорієнтований метод розрахунку інсоляції для житлових і виробничих приміщень, який дає змогу узгоджувати внутрішні норми з європейськими стандартами.

Ключові слова: денне світло, сонячна радіація, інсоляція приміщень, проектування будівель, будівельні технології.

YE.V. PATRASHKU, V.A. KIOSAK

Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture

## ON INSOLATION AND DAYLIGHTING OF PREMISES

Existing European standards address daylight from different perspectives and with different levels of detail. For example, EN 15193 defines a methodology for assessing the contribution of daylight in buildings, but only in the context of calculating energy requirements and electricity consumption for artificial lighting. EN 12464-1 sets out the requirements for indoor workplace lighting to ensure visual comfort and work efficiency, but does not distinguish between natural and artificial lighting. At the international level, ISO 8995-1 has a similar scope to EN 12464, while ISO 16817 covers the design process for high quality visual environments where daylight and artificial lighting play a key role.

Until 2018, there was no overarching standard at the European level to regulate the quantity and quality of daylight in buildings. Only a few countries, such as Germany with its DIN 5034-1 standard, had their own daylighting regulations for indoor space.

Adopted in 2018, EN 17037 regulates the relevant standards and methods for their calculation for daylighting of residential and industrial premises, as well as adjacent areas. Since then, the process of adapting the norms of EU member states to this standard has begun, taking into account local specifics.

Ukraine has building codes that regulate the insolation of premises. Insolation is the amount of solar radiation received by a horizontal surface, measured in calories per unit area per unit time. Insolation calculation methods are divided into two main types: geometric and energy. State building regulations define the minimum duration of insolation of residential premises – at least 2.5 hours per day between 22 March and 22 September.

*Geometric methods are usually used for the calculation, as they are easier to apply. However, energy methods are more accurate because they take into account the properties of materials that are constantly being improved and have different reactions to solar radiation. This makes energy methods more flexible and better able to adapt to changes in building technologies and materials.*

*An important scholastic problem is a comparative analysis of insolation calculated by different methods. Modern computer technologies allow modeling the insolation of premises already at the design stage, which significantly improves the accuracy of calculation.*

*In this paper, an object-oriented method for calculating insolation for residential and industrial premises has been developed, which allows to harmonize internal norms with European standards.*

*Key words: daylighting, solar radiation, indoor insolation, building design, building technologies.*

### Постановка проблеми

Сонячне випромінювання є майже нескінченним джерелом енергії, яке дає життя всім живим істотам, забезпечує фотосинтез для рослин та визначає клімат. Щоранку, коли сходить сонце, Земля отримує  $3,84 \times 10^{26}$  ват енергії. Є три основні шляхи уловлювання сонячного світла на поверхні: пряме випромінювання, дифузне випромінювання та глобальне горизонтальне опромінення [1–3].

Пряме випромінювання – це сонячні промені, що надходять до поверхні безпосередньо від Сонця без перешкод. Однак не вся радіація, яка досягає Землі чи об'єктів на Землі, є прямою радіацією. Значна частина променів розсіюється або відбивається молекулами чи твердими частинками та хмарами в атмосфері. Тому вона досягає поверхні з багатьох різних напрямів. Прикладом дифузного випромінювання є денне світло хмарного дня, коли пряме сонячне випромінювання не досягає Землі через перешкоди.

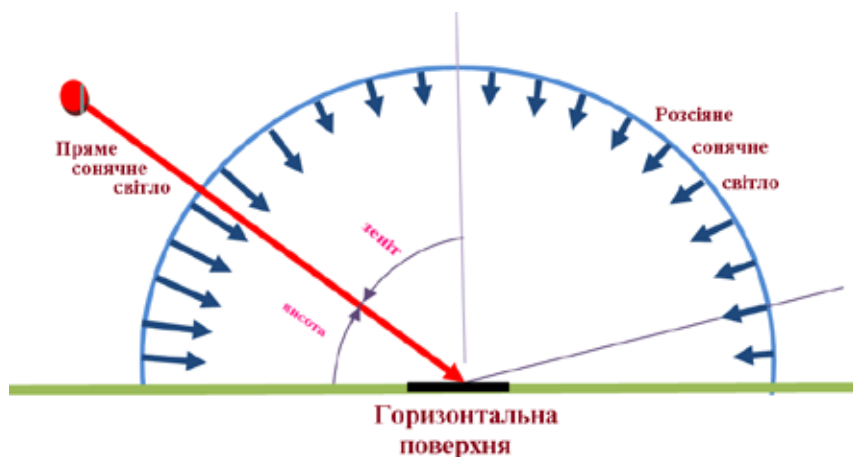


Рис. 1. Опромінення горизонтальної поверхні

Загальна горизонтальна освітленість – це сумарна сонячна радіація, яка надходить на горизонтальну поверхню, тобто сума прямого й дифузного випромінювання. На рис. 1 зображено види випромінювання.

Формула для обчислення має вигляд

$$GHJ = DHJ + DNJ \times \cos z .$$

Тут  $GHJ$  – загальна горизонтальна освітленість,  $DHJ$  – дифузна горизонтальна освітленість, а  $DNJ$  – пряма нормальна освітленість,  $z$  – зенітний кут [4]. Сонячна енергія поширюється у вигляді хвиль, які за довжиною поділяються на три типи: інфрачервоне випромінювання, ультрафіолетове випромінювання та видиме світло. Такий поділ називають електромагнітним спектром. Різні типи випромінювання по-різному впливають на людей та навколишнє середовище.

Інфрачервоне випромінювання має найбільшу довжину хвиль, але передає найменшу енергію. Люди сприймають інфрачервоне випромінювання як тепло. Ультрафіолетове випромінювання характеризується найкоротшою довжиною хвиль. Ці два види випромінювання не видимі для людського ока. Видиме випромінювання становить єдину видиму частину сонячної радіації.

Усі три види сонячного світла використовують у будівництві, при проектуванні житлових та виробничих приміщень.

Кожен тип сонячного випромінювання по-своєму впливає на різні аспекти, зокрема, комфорт у приміщенні, енергозбереження, санітарно-гігієнічні норми.

Інсоляцією називають величину потоку сонячної радіації, яку обчислюють у калоріях на одиницю площі горизонтальної поверхні за одиницю часу. Під світловим потоком розуміють кількість світла, що випромінюється джерелом світла у всіх напрямках. Вимірюється світловий потік у люменах. Коефіцієнт денного світла, що вимірюється в процентах, є відношення освітленості в приміщенні до освітленості на вулиці. Українськими будівельними нормами регулюється, із санітарно-гігієнічного погляду, інсоляція приміщень, а стандартом EN 17037 освітленість приміщень [14].

У цій роботі розглянуто особливості регулювання використання сонячної енергії при проектуванні будівель у Європейському Союзі та Україні.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Давньоримський архітектор та інженер Марк Вітрувій у своїй роботі «Десять книг про архітектуру» стверджує, що достатньо освітлені ті приміщення, у яких видно небо [4]. Лише в кінці XIX століття почали кількісно оцінювати ступінь освітленості за допомогою геометричних методів. Уже на початку XX століття з'явилися регулярні методи вимірювання денного світла, але в практику проектування вони були впроваджені не зразу. Реально використовувався модернізований метод Вітрувія з уточненням, яку частину неба видно і з якої частини приміщення. Будівельні норми в низці європейських країн вимагали, щоб висота вуличних фасадів була не вище ширини вулиці (кут  $45^\circ$ ) [11]. У Центральній Європі площа вікон мала становити  $1/8$  площі житлових кімнат. Так, у першій половині XX сторіччя геометричні методи при проектуванні доповнювались інструментом та геометричними методами контролю та розрахунку. Перша модель, що враховувала яскравість сонячного випромінювання, з'явилася в 1920 році [5]. Вона лягла в основу стандартної моделі, затвердженої Міжнародною комісією з освітлення (1955 рік). Тут уперше від оцінки хмарності застосували оцінку сонячного випромінювання, причому не лише прямого, а й дифузного. Також урахували втрати світла при проходженні через вікна, мансардні вікна. Прості, але трудомісткі геометричні інструменти давали дуже наближені результати навіть за простої геометрії будівель [12].

У колишніх соціалістичних країнах сонячне світло було частиною законодавчих вимог і стосувалося переважно захисту здоров'я населення. Тому критерії денного світла мали бути простими для забезпечення перевірки на відповідність закону, який суворо контролювали державні санітарно-гігієнічні служби.

У низці країн, наприклад, Італії, Китаї, Великій Британії, Ірландії, застосовували метод середнього коефіцієнта освітленості [9].

Перші радянські норми інсоляції базувалися на мікробіологічних дослідженнях, і в 1963 році була запроваджена перша нормативна вимога інсоляції в СРСР. Цей стандарт передбачав безперервну інсоляцію протягом трьох годин. Проте із часом вимогу щодо безперервності було скасовано, а мінімальний час інсоляції – скорочено. На сьогоднішній день мінімальний час інсоляції для житлових приміщень в Україні становить не менш ніж 2,5 години (150 хвилин).

Із 1 січня 2011 року в Україні набув чинності стандарт, який регламентує розрахунки інсоляції приміщень та споруд [1]. У розробці цих будівельних норм узяли участь 27 фахівців із

10 наукових організацій України, зокрема представники Одеської державної академії будівництва та архітектури. Колектив розробників налічував 19 докторів і кандидатів технічних, архітектурних, медичних та біологічних наук.

В останньому десятилітті ХХ сторіччя зусиллями багатьох спеціалістів був розроблений метод коефіцієнтів денного світла. Але вже на початку ХХІ сторіччя цей метод почали критикувати як застарілий [4].

Метод просторової автономії денного світла, запропонований Швейцарською асоціацією електриків у 1989 році, став загальнозживаним у новому столітті [9]. Він ліг в основу EN 17037 [14].

### Мета дослідження

Скорочення нормативної тривалості інсоляції приміщень та запровадження переривчастого опромінення для збільшення щільності забудови стало можливим через те, що тривалість опромінення в годинах не є однозначною кількісною мірою. Аналіз наявних методів оцінки інсоляції виявив низку недоліків та невизначеностей.

Тривалість сонячного опромінення в годинах не є достатньо точною мірою, оскільки кількість сонячної енергії, що надходить у приміщення в різні години доби, варіюється. Відповідно, дезінфікувальний ефект сонячної радіації також змінюється. Якщо протягом часу опромінення досягається доза сонячної енергії, яка забезпечує необхідний рівень гігієни приміщення, то можна говорити про однозначну кількісну міру інсоляції. Важливо також урахувати прозорість сучасного скла, яке зазнало значних якісних змін, а також нові будівельні технології та архітектурні рішення щодо щільної міської забудови.

Усунення цих невизначеностей та недоліків у чинних нормативних документах, а також удосконалення параметрів і методів визначення комфортної та енергетично обґрунтованої інтенсивності й дози сонячного випромінювання дасть змогу розробити рекомендації для покращення регулювання та розрахунків інсоляції приміщень.

### Викладення основного матеріалу дослідження

Пряме сонячне світло є критично важливим фактором для забезпечення якості денного освітлення приміщень. Сонячні промені, як правило, корисні для більшості будівель за винятком країн зі спекотним кліматом.

Для деяких конкретних типів приміщень (школи, лікарні, дитячі садки) слід забезпечити виконання мінімальних норм соляризації. Прямі сонячні промені вважаються цінними для фізичного здоров'я, наприклад, забезпечують вітамін Д, який допомагає будувати міцні кістки, загоювати захворювання шкіри [3].

Однак, крім користі сонячного світла, проєктувальники повинні враховувати проблему перегріву в літній час [11]. Можливий тепловий дискомфорт можна регулювати за допомогою систем затінення, балансуючи між корисним приростом сонячного світла взимку та небажаним надмірним світлом улітку [6]. Будівлі можуть позитивно сприяти зменшенню споживання енергії на опалення та забезпечувати комфортне проживання за рахунок сонячних затінь улітку. Кількість сонячних днів для обласних центрів України наведено в таблиці 1 (джерело: <https://en.climate-data.org/europe/ukraine>).

Ще один аспект сонячного випромінювання – це різна його якість протягом року та дня, коли змінюється кут падіння та висота стояння сонця (див. рис. 2).

Розроблено розрахункові параметри, що будуть основою для енергетичного методу розрахунку інсоляції шляхом урахування інтенсивності та дози біологічно активного спектра ультрафіолетової (далі – УФ) радіації (В + С). Цей метод базується на визначенні такої дози сонячного УФ-випромінювання, що проникає через вікно в приміщення й здатна знищувати патогенні бактерії та шкідливі мікроорганізми, забезпечуючи нормативний рівень бактерицидної ефективності (санації) як у повітрі приміщень, так і на поверхнях [7–8].

Таблиця 1

Середня кількість сонячних годин на місяць в обласних центрах України протягом року

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Хмельницький	2,1	2,9	5,5	8,7	10,6	11	11,1	10,1	7,3	5	2,6	2,2
2	Житомир	2	3	5,6	9,1	11	11,8	11,5	10,4	7,5	4,9	2,4	2
3	Чернівці	3,6	4,2	6,3	9	10,6	11	11,2	10,1	7,9	5,8	3,9	3,7
4	Івано-Франківськ	3,3	4	6	8,8	10,2	10,6	10,8	9,7	7,5	5,7	4,1	3,3
5	Тернопіль	2,4	3,2	5,5	8,6	10,1	10,7	10,9	9,8	7,3	5,2	3	2,4
6	Київ	1,9	3	5,7	9,2	11,4	12,2	12	10,7	7,7	5	2,4	1,9
7	Чернігів	1,8	2,8	5,7	9,2	11,5	12,3	11,9	10,6	7,5	4,7	2,3	1,7
8	Рівне	2	3	5,5	8,8	10,4	11,1	11	10,2	7,2	5,1	2,8	2,1
9	Вінниця	2,1	3	5,6	8,9	11	11,5	11,6	10,6	7,6	5,1	2,5	2,2
10	Львів	2,9	3,6	5,6	8,7	9,9	10,5	10,6	9,7	7,2	5,4	3,7	2,8
11	Дніпро	2,1	3,2	5,7	9,4	11,7	12,6	12,8	11,6	8,6	5,5	3	1,9
12	Полтава	1,9	2,9	5,6	9,3	11,7	12,5	12,6	11,3	8,2	5,2	2,7	1,8
13	Суми	1,5	2,6	5,4	9,2	11,5	12,2	12,1	10,9	7,6	4,7	2,3	1,5
14	Харків	1,6	2,5	5,4	9,3	11,7	12,5	12,5	11,4	8,2	5	2,5	1,5
15	Донецьк	2,1	3	5,5	9,1	11,4	12,6	12,7	11,7	8,9	5,6	3	1,9
16	Луганськ	2,1	3	5,6	9,3	11,8	13	12,9	11,9	9	5,7	3,1	2
17	Луцьк	2,3	3,2	5,6	8,9	10,4	11,1	11	10,2	7,2	5,1	3	2,2
18	Миколаїв	2,9	3,9	6,5	9,6	11,6	12,6	12,8	11,8	9	6	3,4	2,9
19	Одеса	3,3	4,1	6,8	9,7	11,8	12,7	12,9	11,9	9,2	6,1	3,6	3,4
20	Херсон	2,9	3,9	6,5	9,6	11,6	12,5	12,8	11,9	9,2	6,1	3,5	2,9
21	Ужгород	3,4	4,8	7,2	9,9	11,3	12,2	11,9	11,2	8,6	5,9	4,3	2,9
22	Черкаси	2	3,1	5,7	9,3	11,6	12,5	12,4	11,2	8	5,2	2,4	2
23	Кропивницький	2	3	5,6	9,1	11,5	12,2	12,4	11,3	8,1	5,3	2,6	2
24	Запоріжжя	2,2	3,4	6	9,6	11,8	12,7	13	11,8	9	5,9	3,1	2
25	Сімферополь	3,5	4,6	6,8	9,3	11,1	12,1	12,4	11,6	9,4	6,8	5	3,7

З огляду на енергію УФ-випромінювання, що потрапляє всередину, стає очевидно необхідність урахування таких параметрів, як прозорість склопакетів, площа світлового прорізу (чим більша площа, тим більше енергії потрапляє в приміщення), а також розміри самого приміщення (чим більший простір, тим менша питома енергія, що припадає на одиницю об'єму повітря та одиницю поверхні). Чинні нормативи розрахунку інсоляції ці фактори не враховують [1; 10].

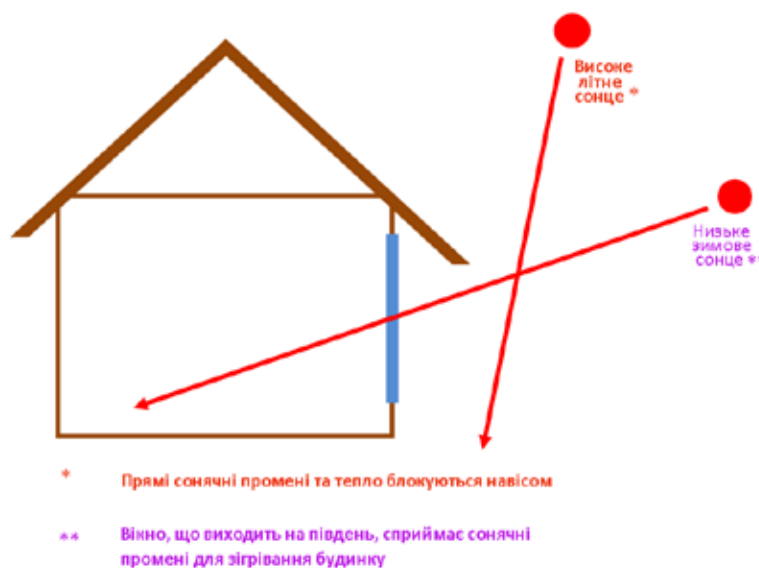


Рис. 2. Потрапляння прямих сонячних променів у приміщення влітку та взимку

Ураховуючи ці аспекти, розроблено й удосконалено енергетичний метод розрахунку інсоляції для житлових приміщень, що дає змогу підвищити точність й ефективність розрахунків [15].

Вихідні дані для розрахунків.

1. Актинометричні дані щодо інтенсивності ультрафіолетової сонячної радіації (діапазону  $< 320$  нм), прямої  $J_{np}$  на нормальну до променів поверхню і розсіяної  $J_{роз}$ , що потрапляє на горизонтальну поверхню, розрахованої за годинами доби.
2. Орієнтація склопакета за сторонами горизонту (азимут нормалі до площини вікна  $A_n$ ).
3. Координати сонця ( $h_0$  і  $A_0$ ) на період інсоляції.
4. Параметри склопакета («у світлі»), ширина  $b$  і висота  $h$ , м.
5. Конструкція світлопрозорої частини вікон і типи скла.
6. База даних про коефіцієнти прозорості сучасного скла в діапазоні (В + С) ультрафіолетової радіації за різних кутів падіння сонячного променя.
7. Параметри приміщення, глибина  $L$ , ширина  $B$  і висота  $H$ , м.

Послідовність розрахунку:

1. Визначення кута  $\theta$  (кута падіння сонячного променя на скло).

Кут  $\theta$  визначається за формулами сферичної тригонометрії:

$$\cos\theta = \sin\delta \cdot \sin\varphi + \cos\gamma \cdot \cos\delta \cdot \cos\varphi,$$

де:  $\varphi$  – географічна широта місцевості, град;

$\delta$  – нахил сонця, град;

$\gamma$  – часовий кут, град.

Можна використовувати спрощений метод визначення кута  $\theta$  із застосуванням схеми, поданої на рис. 3, якщо допускається невелика похибка [12; 13].

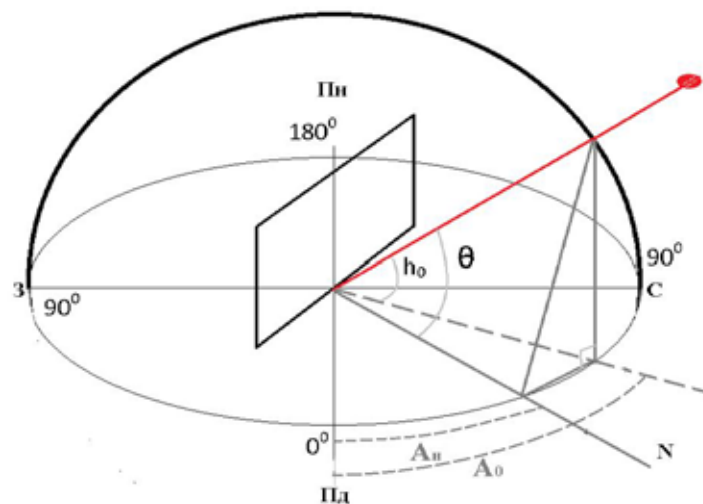


Рис. 3. Схема визначення кута  $\theta$  ( $N$  – нормаль до площини вікна)

Із рис. 3 видно, що на поверхні півсфери, розташованої над колом горизонту, розміщений прямокутний трикутник. Катетами прямокутного трикутника є висота стояння сонця в конкретну годину доби  $h_0$  і різниця азимутів проекції сонячного променя на горизонтальну

площину  $A_0$  та азимута нормалі до площини вікна  $A_n$ . Гіпотенуза цього прямокутного трикутника й дорівнюватиме куту  $\theta$ . З огляду на це, кут  $\theta$  визначиться за відомою теоремою Піфагора:

$$\theta = \sqrt{h_0^2 + (A_0 - A_n)^2}.$$

Залежно від орієнтації вікна ( $A_n$ ) і часу доби (розташування сонця на небосхилі,  $A_0$ ) величина катета прямокутного трикутника може визначатися як різниця ( $A_0 - A_n$ ) або як різниця ( $A_n - A_0$ ).

2. Визначення сумарної інтенсивності ( $J_{\text{сум}}$ ) ультрафіолетової радіації, що приходить до фасаду будівлі з урахуванням орієнтації склопакета:

$$J_{\text{сум}} = J_{\text{пр}} + 0.5J_{\text{роз}} = J_{\perp} \cdot \cos\theta + 0.5J_{\text{роз}}, \frac{\text{мВт}}{\text{м}^2}.$$

3. Визначення сумарної інтенсивності УФ-радіації, що пройшла через віконну конструкцію в приміщення ( $J_{\text{прим}}$ ), з урахуванням поглинання УФ-радіації у світлопрозорій конструкції.

$$J_{\text{прим}} = J_{\text{сум}} \cdot k_{\text{ст}}, \frac{\text{мВт}}{\text{м}^2},$$

де  $k_{\text{ст}}$  – коефіцієнт прозорості склопакета за кута  $\theta$ .

4. Повна кількість УФ-енергії, що пройшла через площу вікна ( $S$ )

$$Q = J_{\text{прим}} \cdot S.$$

5. Доза ультрафіолетової радіації в повітрі приміщення ( $\Delta_n$ ):

$$\Delta_n = 3.6Q \cdot \frac{\tau}{V}, \frac{\text{Дж}}{\text{м}^3},$$

де:  $V$  – об'єм приміщення,  $\tau$  – тривалість опромінення, години.

6. Доза УФ-радіації по поверхнях приміщення ( $\Delta_{\text{прх}}$ ):

$$\Delta_{\text{прх}} = 3.6Q \cdot \frac{\tau}{F}, \frac{\text{Дж}}{\text{м}^2},$$

де:  $F$  – площа всіх поверхонь приміщення за вирахуванням площі вікна,  $\text{м}^2$ ; 3,6 – коефіцієнт переведення розмірності  $\text{мВт} \cdot \text{год}$  у розмірність Дж.

### Висновки

Різні підходи до регулювання проєктування освітлення приміщень прямим та розсіяним сонячним випромінюванням в Україні та Європейському Союзі вимагають узгодження й значного доопрацювання з урахуванням місцевих норм. Енергетичний метод обчислення рівня інсоляції може наблизити відповідні стандарти України та ЄС.

### Список використаної літератури

1. Будинки і споруди. Настанова з розрахунку інсоляції об'єктів цивільного призначення. ДСТУ НБ В.2.2-27:2010. (Дата введення 2011.01.01). Мінрегіонбуд України. Київ : Укрархбудінформ. 2010. 81 с.
2. Санітарні норми та правила забезпечення інсоляції житлових та громадських будівель та територій житлової забудови. СН 2605-82. (Введено в дію з 2 липня 1982 р.). М.: Мінздрав СРСР. (Державні санітарні норми України). 1982. 3 с.
3. Житлові будинки. Основні положення. ДБН В.2.2. -15-2005. (Дата введення 2006.01.01). Держбуд України, Київ : Укрархбудінформ, (Державні будівельні норми України). 2005. 50 с.
4. Jacobs A. Getting the measure of daylight – the climate sceptic, *Light. J.* 2014. 15–17.
5. Tregenza P. Opinion: climate-based daylight modelling or daylight factor? *Light. Res. Technol.* 2014. 46 (6). pp. 601–618.
6. Tregenza P., Mardaljevic J. Daylighting buildings: standards and the needs of the designer, *Light. Res. Technol.* 2018. 50 (1). pp. 63–79.
7. Mardaljevic J. Rethinking daylighting and compliance, *J. Sustain. Des. Appl. Res.* 2023. 1(3). Article 1.
8. Boubekri M. Daylighting, *Architecture and Health: Building Design Strategies, first ed.*, Architectural Press, Oxford, 2008. 155 p.
9. Bournas I. Swedish daylight regulation throughout the 20th century and considerations regarding current assessment methods for residential spaces. *Building and Environment.* 2021. Vol. 191(6). URL: <https://www.researchgate.net/publication/348572775>.
10. Marsh R. On the modern history of passive solar architecture: exploring the paradox of Nordic environmental design, *J. Architect.* 2017. 22 (2). pp. 225–251.
11. Dufton A.F. Protractors for the Computation of Daylight Factors, 1946. London, UK.
12. Chatzipoulka C., Compagnon R., Nikolopoulou M. Urban geometry and solar availability on façades and ground of real urban forms: using London as a case study, *Sol. Energy.* 2016. 138. pp. 53–66.
13. Reinhart C.F., Mardaljevic J., Rogers Z. Dynamic daylight performance metrics for sustainable building design, *Leukos.* 2006. 3(1). pp. 7–31.
14. SSI-CEN. SS-EN 17037:2018+A1:2021 Daylight in buildings. European Committee for Standardization (CEN). 2021.
15. Патрашку Є.В., Колесник С.М. Про обчислення інсоляції приміщень. *Механіка та математичні методи.* 2024. 6(2). С. 175–184.

### References

1. Budinky i sporudy. Nastanova z rozrahunku insolyatsii ob"ektiv tsyvil'nogo pryznachennya. [Guidelines for calculating insolation of civil facilities]. (2010). DSTU N B V.2.2-27:2010. [Data vvedeniya 2011-01-01] / Minregionbud Ukrainy. K.: Ukarhbudininform. (Derzhavnyj standart Ukrainy) [in Ukrainian].
2. Sanitarnyye normy i pravila obespecheniya insolyatsiyey zhilyh i obshchestvennyh zdaniy i territorij zhiloy zastrojki. [Sanitary norms and rules for ensuring insolation of residential and public buildings and residential areas]. (1982). SN 2605-82. [Vvedeny v dejstviye so 2 iyulya 1982 g.] M.: Minzdrav SSSR. (Derzhavnye sanitarnyye normy Ukrainy) [in Ukrainian].
3. Zhytlovi budynky. Osnovni polozhennya. [Residential buildings. Basic provisions]. (2005). DBN V.2.2. -15-2005. [Data vvedeniya 2006-01-01]/Derzhbud Ukrainy. K.: Ukarhbudininform. (Derzhavni budivelni normy Ukrainy) [in Ukrainian].
4. Jacobs, A. (2014). Getting the measure of daylight – the climate sceptic, *Light. Journ.*, 15–17 [in English].



5. Tregenza, P. (2014). Opinion: climate-based daylight modelling or daylight factor? *Light. Res. Technol.*, 46 (6), 601–618 [in English].
6. Tregenza, P., & Mardaljevic, J. (2018). Daylighting buildings: standards and the needs of the designer. *Light. Res. Technol.*, 50 (1), 63–79 [in English].
7. Mardaljevic, J. (2013). Rethinking daylighting and compliance. *J. Sustain. Des. Appl. Res.*, 1(3), Article 1 [in English].
8. Boubekri, M. (2008). *Daylighting, Architecture and Health: Building Design Strategies*, first ed. *Architectural Press*, Oxford [in English].
9. Bournas, I. (2021). Swedish daylight regulation throughout the 20th century and considerations regarding current assessment methods for residential spaces. *Building and Environment*, 191(6). Retrieved from: <https://www.researchgate.net/publication/348572775> [in English].
10. Marsh, R. (2017). On the modern history of passive solar architecture: exploring the paradox of Nordic environmental design. *J. Architect.*, 22 (2), 225–251 [in English].
11. Dufton, A.F. (1946). *Protractors for the Computation of Daylight Factors*, London, UK [in English].
12. Chatzipoulka, C., Compagnon, R., & Nikolopoulou, M. (2016). Urban geometry and solar availability on façades and ground of real urban forms: using London as a case study. *Sol. Energy*, 138, 53–66 [in English].
13. Reinhart, C.F., Mardaljevic, J., & Rogers, Z. (2006). Dynamic daylight performance metrics for sustainable building design. *Leukos*, 3 (1), 7–31 [in English].
14. SSI-CEN. SS-EN 17037:2018+A1:2021 Daylight in buildings. European Committee for Standardization (CEN). 2021 [in English].
15. Patrashku, E.V., & Kolesnyk, S.M. (2024). Pro obchislennia insoljatsii prymishen [On calculating the insolation of indoor spaces]. *Mechanics and mathematical methods*, 6 (2), 175–184 [in Ukrainian].

Патрашку Євген Вікторович – аспірант кафедри вищої математики Одеської державної академії архітектури та будівництва. E-mail: [patrashku07@gmail.com](mailto:patrashku07@gmail.com), ORCID: 0009-0008-4802-2889.

Кіосак Володимир Анатолійович – д.ф.-м.н., професор кафедри вищої математики Одеської державної академії архітектури та будівництва. E-mail: [kiosakv@ukr.net](mailto:kiosakv@ukr.net), ORCID: 0000-0002-7433-6709.

Patrashku Yevhen Viktorovych – Postgraduate Student at the Department of Higher Mathematics of the Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture. E-mail: [patrashku07@gmail.com](mailto:patrashku07@gmail.com), ORCID: 0009-0008-4802-2889.

Kiosak Volodymyr Anatoliiovych – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor at the Department of Higher Mathematics of the Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture. E-mail: [kiosakv@ukr.net](mailto:kiosakv@ukr.net), ORCID: 0000-0002-7433-6709.