

Визначення зведеного індексу засклення приміщення**В. О. Бурмака, М. Г. Тарасенко, К. М. Козак, В. Г. Хомишин**

Розглянуто вплив геометричних параметрів приміщень та віконних прорізів на величину коефіцієнта природного освітлення (КПО) в розрахунковій точці на робочій поверхні. Це важливо, тому що при використанні window-to-floor ratio та window-to-wall ratio спостерігається значна похибка. Тому існують об'єктивні труднощі з уніфікацією результатів досліджень ефективності бокового природного освітлення, які обумовлені впливом розмірів приміщення на значення КПО в розрахунковій точці на робочій поверхні.

Використання вищезгаданих коефіцієнтів для оцінки ефективності бокового природного освітлення призводить до того, що при сталому значення коефіцієнта, величина КПО може відрізнятися в декілька раз. Це зумовлено тим, що площа віконного прорізу не відповідає площі засклення, через яке денне світло проходить в середину приміщення. Площа приміщення не відповідає площі робочої поверхні, на якій потрібно забезпечити нормовану освітленість, а розміри як приміщення, так і робочої поверхні, взагалі не враховуються ні в WWR, ні в WFR.

Запропоновано використовувати зведений індекс засклення приміщення (ЗІЗП). Він враховує не тільки площу засклення віконного прорізу, але й розміри та площу робочої поверхні. Це дає можливість використовувати результати досліджень ефективності природного освітлення без прив'язки до конкретних розмірів приміщення. За допомогою програми Relux розраховано значення КПО в розрахунковій точці для приміщень різних розмірів з різною площею засклення віконного прорізу і отримано залежність КПО від ЗІЗП. В результаті апроксимації даної залежності отримано рівняння, яке описує взаємозв'язок між даними величинами.

Для визначення площі віконного прорізу, при якій буде забезпечено необхідне значення КПО в розрахунковій точці, розроблено алгоритм, який враховує як ширину непрозорої частини віконного прорізу, так і його пропорції. Отриманий науковий результат у вигляді ЗІЗП та алгоритму розрахунку площі віконного прорізу є цікавим з теоретичної точки зору. З практичної точки зору отримані результати дозволяють розраховувати мінімальну площу засклення віконного прорізу для забезпечення нормованого значення КПО з стандартним відхиленням 0,894, спираючись виключно на розміри приміщення. Це складає передумови для використання отриманих результатів при розробці будівельних нормативних документів

Ключові слова: віконний проріз, природне освітлення, коефіцієнт природного освітлення, зведений індекс засклення приміщення

1. Вступ

В теперішній час основна увага при вирішенні питання освітлення приміщень зосереджена на використанні штучних джерел світла, які, згідно з даними Міжнародного енергетичного агентства, споживають близько 19% загальних світових витрат електроенергії. Електричне освітлення приміщень все ще домінує в області створення світлового простору. У багатьох будівлях природне освітлення ледве помітне навіть в самі ясні і сонячні дні. Дієві норми природного освітлення приміщень є лише у європейських країнах. В ЄС природне освітлення є обов'язковим тільки в Словаччині та Чехії.

І це в той час, коли існує можливість проектування будівель заповнених сонячним світлом, яке забезпечує не тільки візуальний комфорт та оздоровчий вплив на людину, але й гарантує отримання економії електричної енергії. Сонце має суцільний спектр випромінювання і найкращу кольоропередачу. Колірна температура його випромінювання змінюється від 6000 К у полудень до 1800 К на світанку та при заході сонця. У звичайних умовах штучна освітленість в приміщеннях значно нижча природної навіть при самій похмурій погоді. Наприклад, рівні горизонтальної освітленості в приміщеннях без денного світла знаходяться в межах 100–500 лк. В той час як природня освітленість навіть у самий похмурий день знаходиться на рівні від 1000 до 2000 лк і більше. Ясним сонячним ранком ця цифра під відкритим небом зростає до 100 000 лк.

Найпоширенішим способом введення сонячного світла в приміщення є використання системи бокового освітлення. Тому дослідження параметрів, які впливають на ефективність бокового природного освітлення, особливо на фоні тотального використання сучасних енергоефективних вікон, не втратили своєї актуальності.

На даний час виникають проблеми з уніфікацією рекомендацій щодо площі віконних прорізів (ВП), при яких забезпечується максимальна ефективність природного освітлення в приміщеннях довільних розмірів. Це обумовлено тим, що використання window-to-floor ratio (WFR) та window-to-wall ratio (WWR), для порівняння ефективності природного освітлення, призводить до значних помилок. Вони зумовлені впливом розмірів приміщення на величину КПО та тим, що при використанні зазначених коефіцієнтів враховується площа непрозорих частин віконного прорізу і ділянки приміщення, на яких не потрібно забезпечувати нормовану освітленість. Зважаючи на це, залишаються актуальними дослідження щодо визначення впливу окремих геометричних параметрів приміщень та ВП на величину коефіцієнта природного освітлення (КПО) та пошук зведеного індексу засклення приміщення (ЗІЗП).

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Відповідно до [1], використання денного світла дає можливість економити до 2/3 електричної енергії за рахунок зменшення витрат на штучне освітлення. Дані отримані на макеті приміщення, зменшеному в 50 раз з конкретними розмірами. Для приміщень з іншими розмірами отримані результати не можуть бути застосовані.

У [2] проводились дослідження втрат тепла через ВП та витрати електроенергії на видалення тепла, яке через нього надходить. Проте визначення оптимальної площі ВП, з точки зору природного освітлення, для офісних приміщень, залишилось поза увагою. В [3] досліджувалось оптимальне значення WFR для декількох приміщень різної форми і площі. Недоліком отриманих результатів є те, що для приміщень різної площі оптимальне значення WFR є різним, тобто отримані результати справедливі тільки для таких же приміщень, які були обрані для досліджень. У [4] проведено дослідження ефективності використання природного освітлення навчальних класів. Проте, оскільки відсутня величина, яка дозволяє порівнювати КПО приміщень різних розмірів, результати даних досліджень можна використовувати тільки для конкретних випадків.

У [5] стверджується, що за межами 6 м від вікна площа може вважатися лише «частково освітленою» природним світлом, тобто вимагає додаткового використання штучного освітлення протягом тривалого часу. Проте не приділена увага впливу ширини приміщення на рівень природного освітлення.

У [6] підкреслено, що при відношенні висоти приміщення до його ширини 1:1 енергоефективність використання природного світла нижча, ніж у приміщенні такої ж площі, але з пропорціями 1:3. Різниця в енергоспоживанні сягає 15 % від сумарного енергоспоживання на освітлення. В той же час залежність КПО від розмірів приміщення не розглядається.

У [7] проводились дослідження залежності КПО від відносної площі ВП в зовнішній огорожувальній конструкції (ЗОК), в якій воно встановлено. З'ясовано, що оптимальна площа знаходиться в межах 20–40 %. Проте пропорціям ВП увага не приділялась. У роботі [8] також розглядалися питання щодо ефективності природного освітлення, але, як і в інших випадках, вибирались тільки певні розміри як ВП, так і приміщень. Хоча згідно з [9] вони мають помітний вплив на величину КПО в розрахунковій точці (РТ) на робочій поверхні (РП).

Як оптимальна глибина приміщення, так і відносна площа ВП в ЗОК, в розглянутих дослідженнях не були конкретними, а задавалися діапазоном значень. При цьому глибина приміщення не була однаковою для всіх досліджень, а відносна площа ВП знаходилася у великому проміжку значень. Саме це і стало підставою для проведення досліджень, пов'язаних з визначенням величини, при якій будуть забезпечені однакові значення КПО в приміщеннях різних розмірів з різною площею застління.

Варто зауважити, що ще у 2006 році наукова спільнота прийшла до висновку, що методики визначення величини КПО, які наведені в ДБН В.2.5-28-2006, є застарілими [10, 11]. Враховуючи те, що на даний час розроблено велика кількість безкоштовних, високоточних програм для розрахунку природного освітлення, достовірність яких перевірена реальними вимірюваннями в [12, 13]. Розрахунок значень КПО, що наведені в даній статті проводився за допомогою програми Relux.

3. Ціль та задачі дослідження

Метою роботи є визначення параметра, який би дозволяв уніфікувати результати досліджень природного освітлення приміщень різного розміру. З практичної точки зору, отриманий результат дозволить визначати площу ВП, при якій забезпечуватиметься нормована величина КПО використовуючи тільки розміри приміщення.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні задачі:

- визначити залежність нормованої величини КПО від розмірів приміщення, його площі та пропорцій ВП;
- визначити доцільність використання відношень: площі ВП до внутрішньої площі огорожувальної конструкції (ОК), в якій він встановлений ($S_{ВП}/S_{ОК}$) та площі ВП до площі приміщення ($S_{ВП}/S_{П}$) при дослідженні ефективності природного освітлення в приміщеннях різних розмірів;
- дослідити можливість визначення площі одnoseкційного ВП, при якій буде забезпечено нормоване значення КПО, використовуючи тільки розміри приміщення.

4. Матеріали та методи дослідження впливу розмірів приміщення, площі та пропорцій віконних прорізів на величину КПО

4.1. Методика визначення розрахункової точки, при розрахунку КПО

На початку проведення досліджень щодо впливу розмірів приміщення та ВП на величину КПО, необхідно було визначитись з вимогами та правилами його розрахунку. Відповідно до діючого нормативного документу ДБН В.2.5-28-2006 є два варіанти вибору РТ: 1 – по найвіддаленішій точці РП від середини ВП; 2 – по середині приміщення на відстані 1 м від стіни протилежної до ВП. Другий варіант може призвести до недотримання нормативних вимог, оскільки при виборі характерного розрізу, який знаходиться по середині приміщення, ширина приміщення має незначний вплив на величину КПО в РТ. Тобто, існуюче визначення характерного розрізу приміщення є суперечливим за вимогами. Необхідно, щоб одночасно, він був розміщений по середині приміщення, щоб в нього входили ділянки з найбільшою кількістю робочих місць та точки робочої зони, найбільш віддалені від ВП. З врахуванням вищевказаних зауважень для бокового освітлення запропоновано наступне визначення. Характерний розріз приміщення – це розріз А-А, площина якого перпендикулярна до площини ВП та проходить через найвіддаленішу точку робочої поверхні С від центру світлового прорізу (рис. 1).



Рис. 1. Схема приміщення з розмірами 4×4 м та ВП площею 6 м²

На рис. 1 прийнято наступні позначення: А-А – площина характерного розрізу приміщення для розрахунку КПО; d_{Π} – глибина приміщення, м; l_{Π} – ширина приміщення, м; $d_{РТ}$ – глибина розрахункової точки, м; $d_{РТ}$ – відстань від осі симетрії ВП до розрахункової точки, м.

4. 2. Досліджувані матеріали та засоби за допомогою яких здійснювались дослідження

Відповідно до ДБН В.2.5-28-2006, який відповідає європейським стандартам DIN EN 12464-1:2011-08, бокове природне освітлення нормується за мінімальним значенням КПО. Тому, РТ для його визначення, обрано у найвіддаленішій точці РП, яка розміщена на відстані 1 м від стіни, протилежної до ВП.

Для досліджень було обрано приміщення з наступними розмірами (ширина×глибина): 4×4 м (рис. 1); 4×5 м; 4×6 м; 4×7 м; 5×4 м; 5×5 м; 5×6 м; 5×7 м; 6×4 м; 6×5 м; 6×6 м; 6×7 м; 7×4 м; 7×5 м; 7×6 м; 7×7 м; 8×4 м; 8×5 м; 8×6 м; 8×7 м; та висотами:

- приміщення $h_{\Pi}=3$ м;
- робочої поверхні $h_{РП}=0,8$ м.

Місце розташування ВП впливає на величину КПО, у зв'язку з різною яскравістю ділянок хмарного неба, згідно з ДБН В.2.5-28-2006 (DIN EN 12464-1:2011-08). Тому центри ваг обраних ВП були зафіксовані в одній точці W, яка розміщена в центрі ділянки ЗОК, що знаходиться над рівнем РП ($h_{РП}$) (рис. 2).

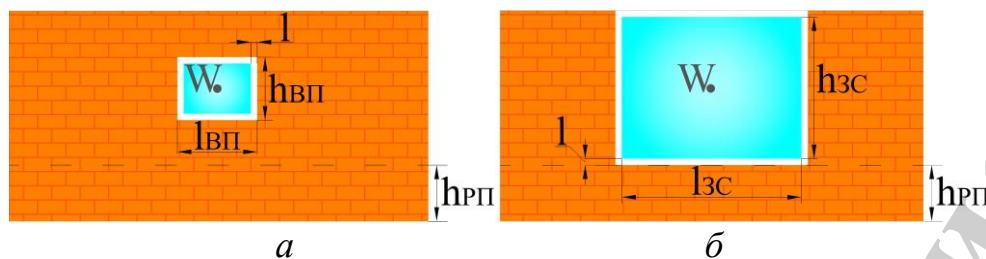


Рис. 2. Зовнішній вигляд огорожувальної конструкції з прямокутним віконним прорізом площею: $a - 1 \text{ м}^2$; $б - 6 \text{ м}^2$

Площа всіх ВП, які розглядалися, змінювалася від мінімально можливого, рекомендованого ДСТУ Б В.2.6-23:2009 (ISO 21930) значення $S_{\text{ВПmax}}=0,12 \text{ м}^2$, до максимально допустимого $S_{\text{ВПmax}}=6 \text{ м}^2$, для одnoseкційної глухої світлопропускаючої зовнішньої огорожувальної конструкції (СЗОК). Пропорції ВП визначалися прийнятими розмірами: висотою приміщення – $h_{\text{п}}=3 \text{ м}$, висотою робочої поверхні – $h_{\text{рп}}=0,8 \text{ м}$ та максимальною площею СЗОК, за виразами: ширина $l_{\text{ВП}}=S_{\text{ВПmax}}/(h_{\text{п}}-h_{\text{рп}})=6/(3-0,8)=2,73 \text{ м}$; висота $h_{\text{ВП}}=S_{\text{ВПmax}}/l_{\text{ВП}}=6/2,73=2,2 \text{ м}$. Таким чином усі ВП, які розглядалися, мали пропорції $(l_{\text{ВП}}/h_{\text{ВП}}):2,73/2,2$.

5. Результати досліджень впливу геометричних розмірів приміщень та ВП на величину КПО

Відповідно до [14] розраховано площу засклення, профілю та запінення ВП прямокутної форми різної площі з відношенням ширини до висоти $2,73/2,2$. Розрахунки проводились для приміщень, параметри яких відповідають вимогам чинних нормативних документів України ДБН В.2.5-28-2006 (DIN EN 12464-1:2011-08), ДСТУ Б В.2.6-23:2009 (ISO 21930) та ДБН В.2.6-31:2016 (ISO 91.120.10). Відповідно до них вибрані значення висоти приміщення, товщини його стін та коефіцієнти відбиття внутрішніх поверхонь огорожувальних конструкцій (табл. 1).

Таблиця 1

Розрахункові параметри приміщень

Величина	Висота, м	Товщина стін, м	Коефіцієнти відбиття стелі/стін/підлоги, відн. од.
Значення	3	0,38	0,7/0,5/0,2

Для проведення досліджень було обрано профіль PROLINE з однокамерним склопакетом 4–16–4, у якого найбільший коефіцієнт пропускання сонячної радіації (0,8). Відповідно до вищевказаних даних, у програмі Relux проведено розрахунки значення КПО в РТ для приміщень обраних розмірів з параметрами, наведеними у табл. 1. Розглядалися ВП площею $0,12\text{--}6 \text{ м}^2$, товщина непрозорої частини яких розраховувалась відповідно до [14]. Розрахунок КПО проводився за алгоритмом розрахунку глобальної освітленості (Radiosity). Похибка розрахунку КПО за даним алгоритмом становить 7 % [15].

За результатами розрахунків були побудовані відповідні графічні залежності, представлені на рис. 3.

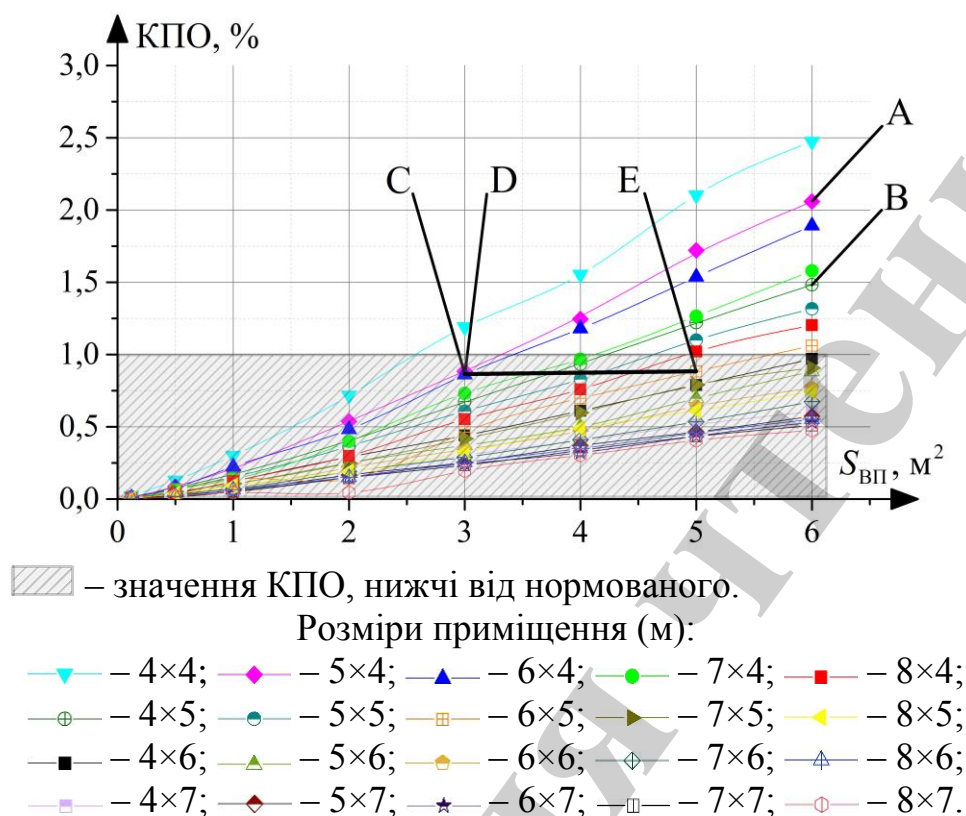


Рис. 3. Залежність КПО від площі ВП для приміщень різних розмірів

З рис. 3 видно, що при однаковій площі приміщень 20 м^2 (4×5 і 5×4) з ВП площею 6 м^2 значення КПО відрізняються в 1,387 раз (рис. 3, т. А, В). Зі збільшенням ширини приміщення з ВП площею 3 м^2 , на 1 м (від 5×4 (20 м^2) до 6×4 (24 м^2)) значення КПО зменшується в 1,03 раз (рис. 3, т. С, D). В той час як при збільшенні глибини на 1 м (з 6×4 до 6×5), для забезпечення величини КПО, більшої всього в 1,026 раз, необхідно збільшити площу ВП на 2 м^2 (рис. 3, ділянка D-E). Таким чином, для того, щоб порівнювати значення КПО приміщень з різними розмірами, необхідно враховувати не тільки їх площу, але й геометричні розміри.

У дослідженнях [1, 2, 4, 6–9], для узагальнення отриманих результатів було використано window-to-wall ratio (WWR), тобто відношення площі ВП ($S_{ВП}$) до внутрішньої площі огорожувальної конструкції $S_{ОК}$, в якій він встановлений. Як видно з рис. 4, а, для різних розмірів приміщень, величина КПО набуває різних значень при однаковому значенні WWR. Тому, з точки зору забезпечення нормованого КПО, WWR не може коректно характеризувати необхідну площу застакнення чи ВП. У східноєвропейських країнах, таких, як Україна, Білорусь, Росія та ін. для цього використовується СК, який визначається як відношення площі ВП до площі підлоги приміщення ($S_{П}$). В англійській літературі СК згадується як window-to-floor ratio (WFR).

Для побудови графічних залежностей (рис. 4), використані дані, отримані при визначенні залежності КПО в РТ від площі ВП в ЗОК (рис. 3).

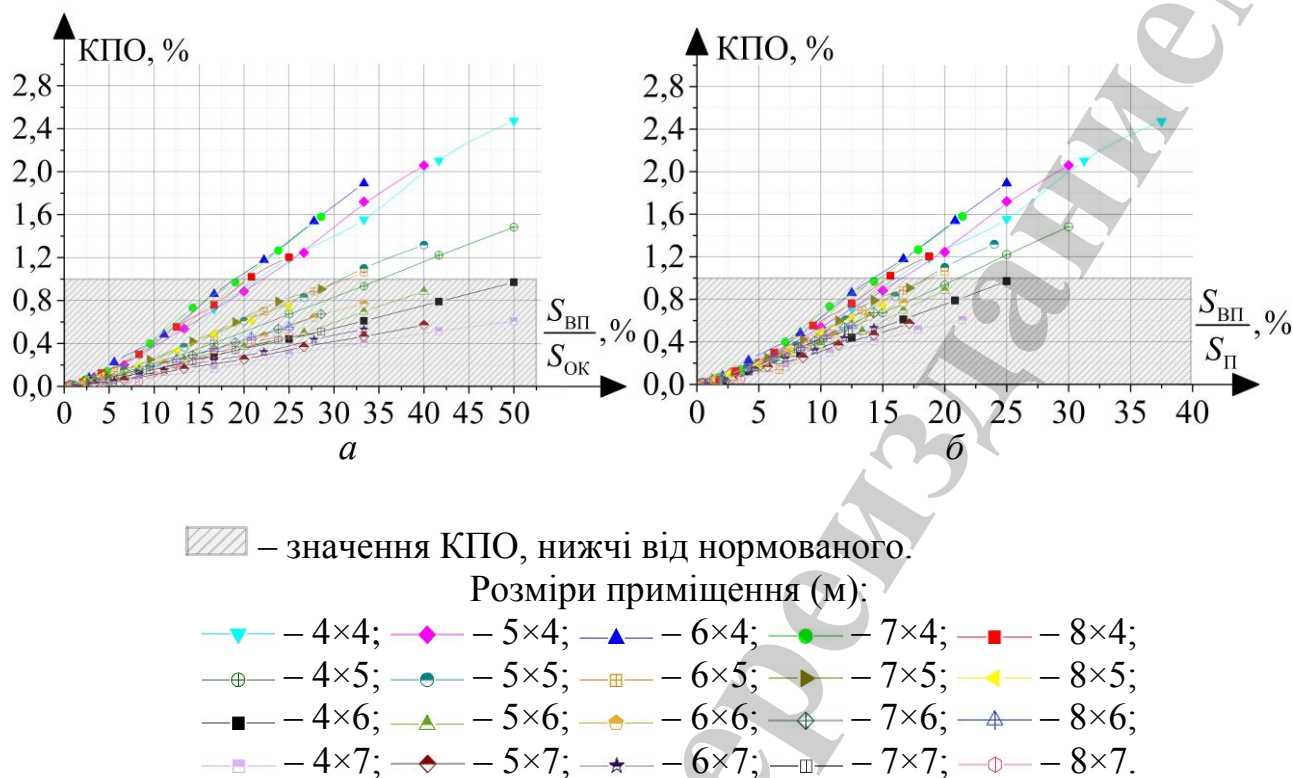


Рис. 4. Залежність величини КПО від: а – WWR ($S_{ВП}/S_{ОК}$); б – WFR ($S_{ВП}/S_{П}$)

Як видно з рис. 4, в обох випадках графіки подібні. Проте WFR (рис. 4, б) доцільніше використовувати для порівняння ефективності природного освітлення, оскільки він враховує не тільки площу ВП, але й площу приміщення. В свою чергу, WWR доцільніше використовувати для порівняння теплоізоляційних властивостей ВП, оскільки він враховує тільки відносну площу ВП в ЗОК. При порівнянні значень КПО при однакових значеннях WFR, для приміщень різних розмірів, його величина може відрізнятися в декілька раз. Причиною цього є відсутність параметрів, які б враховували ширину та глибину приміщення як невід’ємні складові. Це вказує на доцільність дослідження впливу розмірів приміщення на зміну величини КПО в РТ.

Відповідно до [9], пропорції ВП впливають на значення КПО в РТ, тому варто перевірити, чи однаково змінюється КПО в залежності від пропорцій ВП в приміщеннях різних розмірів. Для цього досліджувались приміщення розмірами 6×5 м та 4×5 м, з площею ВП 2 м² і з параметрами (табл. 1). Відношення висоти до ширини ВП (рис. 5, а) та ширини до висоти ВП (рис. 5, б) змінювались від 1 до 4, з кроком 0,1. Розрахунки КПО проводились в програмі Relux. Відповідно до рис. 5, при однаковій площі і пропорціях ВП, КПО змінюється по-різному в приміщеннях різних розмірів. Це пояснюється тим, що при зміні розмірів змінюється і місце розташування РТ відносно ВП.

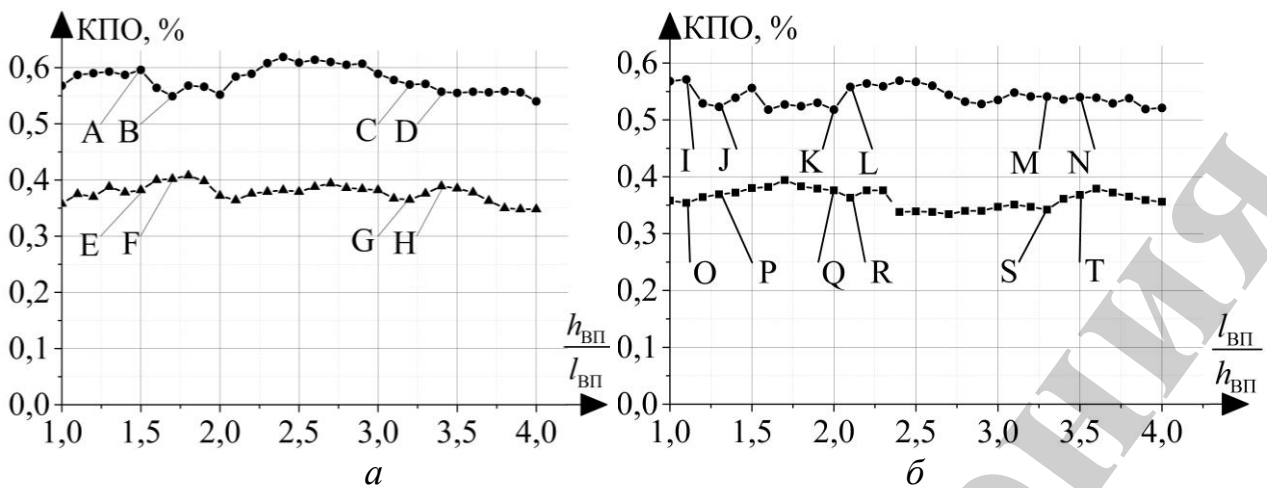


Рис. 5. Залежність величини КПО від відношення: *a* – висоти ВП до ширини; *б* – ширини ВП до висоти в приміщеннях різних розмірів, при площі ВП 2 м²

При зміні пропорцій ВП величина КПО для приміщення розміром 4×5 м спадає (рис. 5, *a*, ділянка А-В), а для приміщення 6×5 м, в тому ж діапазоні пропорцій, – зростає (рис. 5, *a*, ділянки Е-Ф). На рис. 5, *a*, *б* на ділянках С-Д, І-Ж, М-Н, Q-R, S-T КПО спадає, а на ділянках G-H, О-Р, К-Л, S-T зростає. Це свідчить про те, що при різних розмірах приміщення характер зміни КПО відносно пропорцій не є синхронним.

Як видно з рис. 4, використання WFR не дозволяє порівнювати приміщення різного розміру за величиною КПО. Проте даний коефіцієнт враховує площу приміщення, тому він був взятий для подальшого аналізу.

Оскільки світлопропускаючим елементом ВП є засклення, то замість площі ВП коректніше враховувати площу засклення ВП $S_{зс}$ [14]. Нормоване значення КПО необхідно забезпечити на РП, а не на всій площі приміщення (рис. 1). Тому замість площі приміщення логічніше враховувати площу РП.

Слід мати на увазі, що уявлення середньостатистичного небосхилу засноване на ряді припущень. По-перше, приймається, що він є однорідним, тобто хмарність, або шари хмар, розподілені рівномірно по всьому небосхилу. По-друге, він розглядається ізотропним, тобто має однакові фізичні властивості в усіх напрямках. Відомо, що випадкові купчасті хмари на ясному небосхилі не відповідають цим припущенням. Однак, враховуючи те, що розподіл яскравості в таких випадках довільний, не має сенсу розглядати його окремо [16]. З вищевикладеного можна зробити висновок, що розподіл КПО на РП по ширині приміщення є симетричним відносно осі симетрії ВП. Тому площу РП можна визначити як подвійний добуток глибини РТ ($d_{РТ}$) на відстань від осі симетрії ВП до РТ ($l_{РТ}$) ($S_{РП}=2 \cdot d_{РТ} \cdot l_{РТ}$) (рис. 1).

Природне освітлення нормується за найменшою величиною КПО на РП, яка, як правило, при проектуванні відповідає значенню у найвіддаленішій точці

РП, яку і приймають в якості РТ. Це означає, що при асиметричній РП на ділянці, яка знаходиться на меншій відстані від ВП, буде більший КПО, а ніж в РТ. Тому при аналізі потрібно враховувати найвіддаленішу точку робочої поверхні (рис. 1, т. С) від центру ВП (рис. 1, т. В).

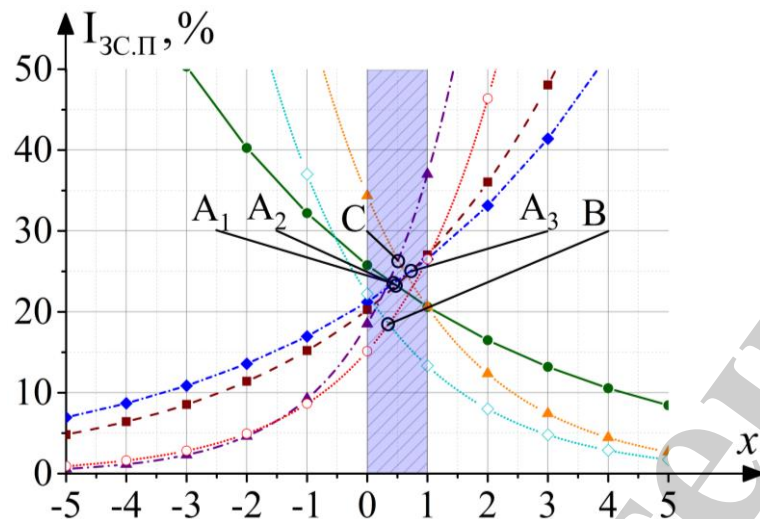
З вищезгаданих тверджень випливає доцільність використання відношення S_{3C}/S_{RP} замість WFR. Для зменшення похибки розрахунків необхідно враховувати не тільки площі засклення та РП, але й розміри РП. Для цього відношення S_{3C}/S_{RP} помножмо на функцію індексу координації РП (1)

$$f(i_{K,RP}) = f(2 \cdot l_{RT} / d_{RT}). \quad (1)$$

При пошуку функції рівняння (1), яка могла б забезпечити необхідну точність розрахунків, було проведено дослідження степеневих, показникових та логарифмічних функціональних залежностей $i_{K,RP}$. Оскільки площа РП та індекс координації РП при множенні призводять до скорочення її ширини ($k \cdot S_{3C}/d_{RT}^2$) або глибини ($k \cdot S_{3C}/(4 \cdot l_{RT}^2)$), лінійні та гіперболічні функції не розглядались.

Аналіз показав, що степенева залежність $i_{K,RP}$ дозволяє зменшити похибку розрахунків. Для визначення степеню, при якому усі залежності змінюватимуться за одним законом, порівнювались приміщення з різними розмірами та площею засклення, в яких величина КПО набувала близьких значень (похибка до 1 %). Відповідно до рис. 6, спільне значення степеню $i_{K,RP}(x)$ для приміщень з розмірами 6×5 м, 5×6 м і 5×4 м, з площами засклення 4,24 м², 5,153 м² і 2,433 м² і значеннями КПО 0,8831 %, 0,8834 % і 0,8839 % відповідно знаходиться в межах 0,230–0,264 (рис. 6, т. А₁, А₂, А₃).

Для побудови графічних залежностей (рис. 6) було використано рівняння, які описують залежність значення ЗІЗП від x для вищезгаданих випадків. Загальний вигляд рівнянь: $I_{3C,П} = S_{3C}/S_{ВП} \cdot i_{K,RP}^x$.



Розміри приміщення (м), площа застління ВП (м²):

— 6×5 м, 4,24 м ² ;	— 7×4 м, 3,332 м ² ;	— 4×6 м, 3,332 м ² ;
— 5×6 м, 5,153 м ² ;	— 4×6 м, 5,153 м ² ;	— 8×5 м, 4,24 м ² ;
— 5×4 м, 2,433 м ² .		

Рис. 6. Залежність ЗІЗП від степеню $i_{К.РП}(x)$

Для розглянутих варіантів з однаковою величиною КПО спільне значення x знаходиться в межах від 0 до 1 (рис 6, т. A_1 , A_2 , A_3 , В, С). Оскільки графіки перетинаються в різних точках x також має змінюватись в залежності від розмірів приміщення. Тому в якості x взяті розміри РП: $1/(2 \cdot l_{РТ})$, $1/(d_{РТ})$ та $1/l_{РТ}$. Відношення $2 \cdot l_{РТ}/d_{РТ}$ та обернене йому не розглядались, оскільки значення x виходило за межі вище вказаного проміжку. Після порівняння отриманих результатів, встановлено, що тільки використання відношення $1/l_{РТ}$ дозволяє зіставляти результати розрахунків величини КПО для приміщень різних розмірів з розмахом значень менше 0,204 % (рис. 7, т. А і В).

Для побудови графічної залежності КПО від ЗІЗП (рис. 7), використано дані, отримані при визначенні залежності КПО в РТ від площі ВП в ЗОК (рис. 3).

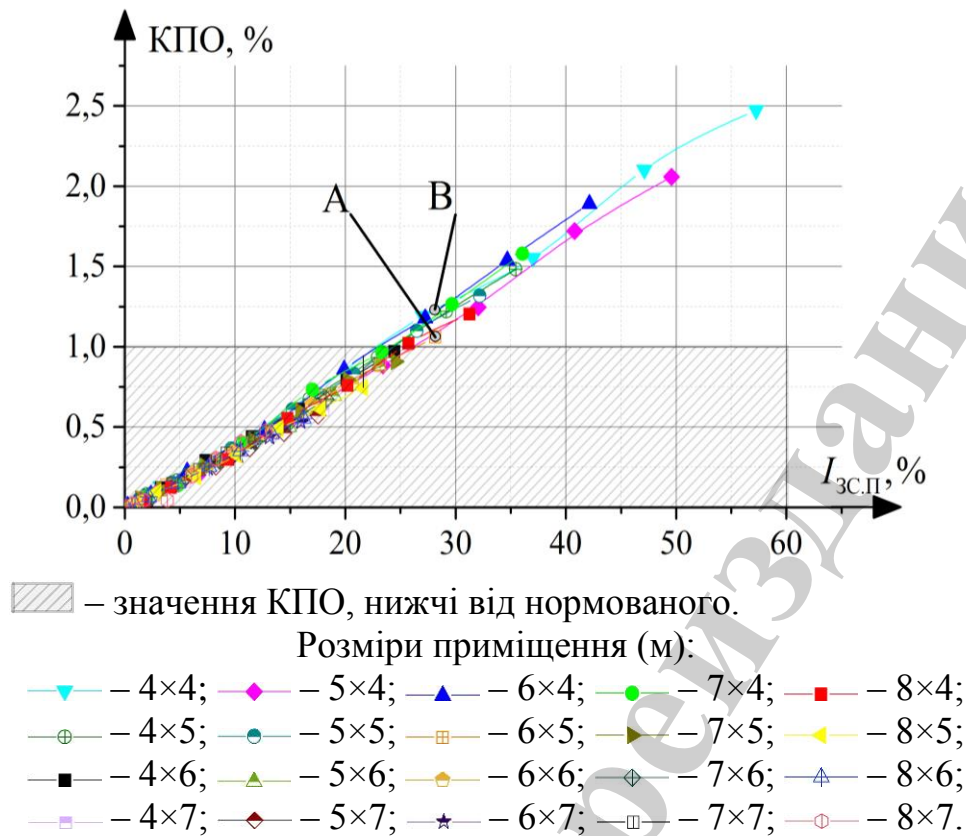


Рис. 7. Залежність величини КПО від ЗІЗП

В результаті врахування зауважень щодо WFR і використання степеневої функції для виразу (1), показник степеню якої $1/l_{PT}$, отримано вираз (2) для ЗІЗП. Отримана залежність враховує не тільки вплив площ засклення ВП та РП, але й геометричних розмірів РП, на величину КПО в РТ.

$$I_{zs.p} = S_{zs} / S_{rp} \cdot \sqrt[3]{2 \cdot l_{PT} / d_{PT}} \cdot 100, \%. \quad (2)$$

В результаті апроксимації отриманих точкових даних (рис. 7) методом найменших квадратів отримано вираз (3), який дозволяє визначити величину ЗІЗП для довільних значень КПО з стандартним відхиленням 0,894 і коефіцієнтом детермінації 0,994. Апроксимація проводилась за допомогою програми Advanced Grapher. Для компенсації відхилень значення КПО відносно ЗІЗП, які зумовлені не синхронним характером зміни КПО відносно пропорцій ВП, вводимо коефіцієнту запасу (4).

$$I_{zs.p} = -2,148 \cdot \text{КПО}^2 + 27,087 \cdot \text{КПО} + 0,487, \%, \quad (3)$$

$$I_{zs.p} = 1,1 \cdot (-2,148 \cdot \text{КПО}^2 + 27,087 \cdot \text{КПО} + 0,487), \%, \quad (4)$$

де 1,1 – коефіцієнт запасу.

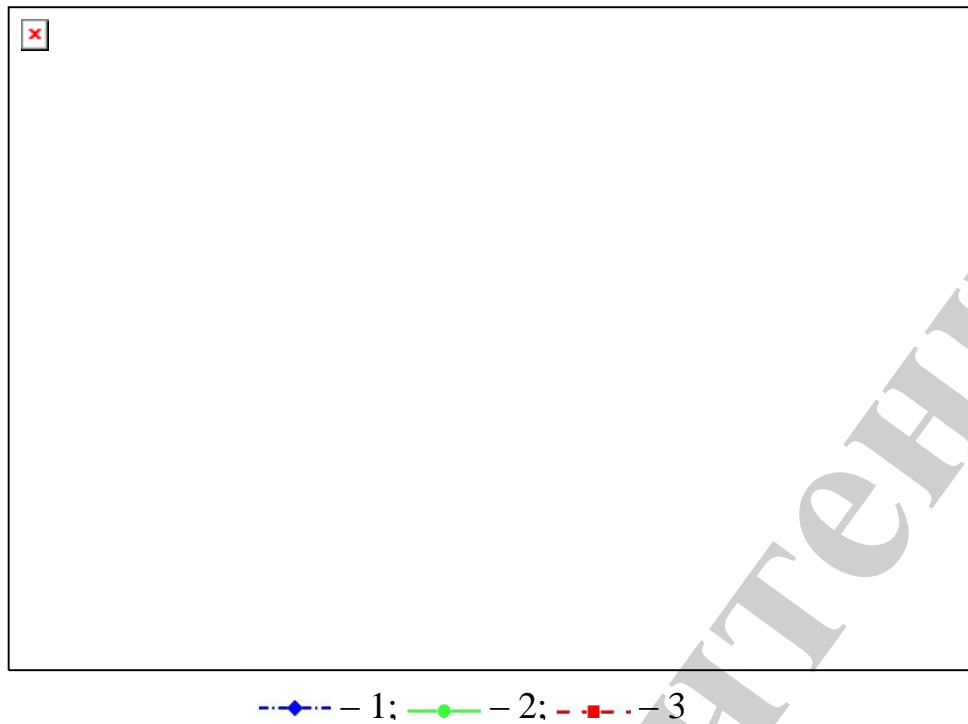


Рис. 8. Залежності ЗІЗП від значень КПО отриманих в результаті:
1 – розрахунків в програмі Relux; 2 – апроксимації (3);
3 – апроксимації з врахуванням коефіцієнта запасу (4)

Для порівняння точності результатів розрахунків залежностей величини ЗІЗП від значень КПО отриманих в програмі Relux та за виразами (3) і (4) побудовано відповідні графіки (рис. 8). Аналіз отриманих графіків показав, що використання коефіцієнта запасу при розрахунку ЗІЗП спрощує визначення мінімальної площі застеклення, оскільки можна знехтувати впливом зміщення РТ на РП на величину КПО.

Тобто визначення площі застеклення ВП, необхідної для забезпечення нормованого КПО на РП, зводиться до виразу (5)

$$S_{\text{ЗС}} = I_{\text{ЗС.П}} \cdot S_{\text{РП}} \cdot \sqrt[3]{d_{\text{РТ}} / (2 \cdot l_{\text{РТ}})} / 100, \text{ м}^2. \quad (5)$$

Для визначення площі ВП з отриманого значення ЗІЗП, відповідно до [14], необхідно скористатися індексом координації ВП ($i_{\text{К.ВП}}$) (6)

$$i_{\text{К.ВП}} = l_{\text{ВП}} / h_{\text{ВП}}, \text{ відн. од.} \quad (6)$$

Виходячи з обраних пропорцій, визначаємо ширину (7) та висоту (8) застеклення ВП

$$h_{\text{ЗС}} = \sqrt{S_{\text{ЗС}} / i_{\text{К.ВП}}}, \text{ м;} \quad (7)$$

$$l_{3C} = \sqrt{S_{3C} \cdot i_{K,ВП}}, \text{ м.} \quad (8)$$

Відповідно до отриманих значень (7) і (8), для обраних пропорцій та ширини профілю односекційного ВП, визначаємо його площу, при якій буде забезпечений нормований КПО (9)

$$S_{ВП} = S_{3C} + 2 \cdot l \cdot (l_{3C} + h_{3C} + 2 \cdot l), \text{ м}^2, \quad (9)$$

де l – ширина непрозорої частини ВП, м [14].

6. Обговорення результатів дослідження впливу ширини і довжини приміщення та пропорцій ВП на значення КПО

В результаті проведених досліджень встановлено, що розміри приміщення мають значний вплив на величину КПО. Навіть при однаковій площі приміщень величини КПО можуть значно відрізнятися один від другого. Наприклад, відповідно до рис. 3, т. А, В, при площі 20 м^2 , в залежності від розмірів приміщення, КПО змінюється від 1,48 % при ширині 4 м і глибині 5 м до 2,06 %, при ширині 5 м і глибині 4 м. Це вказує на те, що використання WFR є не коректним, тому що при однакових значеннях WFR величина КПО може відрізнятися в 1,388 раз.

Використання WWR також не дозволяє порівнювати енергоефективність використання природного освітлення в приміщеннях різних розмірів. Наприклад, якщо для приміщення шириною 4 м, при величині WWR 50 %, зміна глибини приміщення призводить до зміни КПО з 2,47 % при 4 м до 0,61 % при збільшенні глибини до 7 м. Тобто, при однаковому значенні WWR, КПО зменшується в 4 рази.

Використання ЗІЗП дозволяє визначати мінімальну площу ВП для забезпечення нормованої освітленості в РТ РП. Отримані результати можуть бути використані спеціалістами світлотехнічної та будівельної галузей при проектуванні природного бокового освітлення.

Однак неможливо не відмітити, що результати дослідження (рис. 5) вказують на неоднозначний вплив пропорцій ВП на величину КПО для приміщень різних розмірів. Також слід зауважити, що результати досліджень достовірні тільки для незатінених приміщень без сонцезахисних пристроїв. Така невизначеність накладає певні обмеження на використання отриманих результатів, що може трактуватися як недоліки даного дослідження. Не врахування даних параметрів в рамках даного дослідження вказує на необхідність подальшого вивчення впливу сонцезахисних пристроїв не тільки на величину КПО, але й на енергоефективність бокового освітлення в цілому.

7. Висновки

1. Доведено, що при однаковій площі приміщення, значення КПО при зміні його розмірів можуть відрізнятися в 1,388 разів (рис. 3). Це вказує на некоректність використання WFR для нормування мінімальної площі застління ВП в

приміщеннях різних розмірів. При різних розмірах приміщення характер зміни КПО відносно пропорцій не є синхронним. Як видно з рис. 5, на одних і тих самих проміжках пропорцій, при одних розмірах приміщення величина КПО зростає, а при інших спадає.

2. Встановлено, що використання не тільки WWR, але й WFR для порівняння природного освітлення приміщень різного розміру є неприпустимим. Це обумовлено тим, що, при фіксованому їх значенні величина КПО може відрізнятися в 4 рази у першому випадку і в 2 – в другому, в залежності від розмірів приміщення.

3. Отримано вираз для зведеного індексу засклення приміщення, що дає можливість визначати площу ВП, при якій забезпечується нормоване значення КПО, без прив'язки до певних розмірів приміщення. Даний вираз враховує площу засклення ВП, площу РП та глибину і ширину приміщення. Розроблено алгоритм розрахунку площі віконного прорізу для забезпечення нормованого значення КПО в незатінених приміщеннях довільних розмірів. Даний алгоритм дозволяє визначати площу односекційних ВП, при якій буде забезпечено нормоване значення КПО в РТ і, відповідно, на всій РП.

3. Доведено, що при різних розмірах приміщення характер зміни КПО відносно пропорцій не є синхронним. Як видно з отриманих результатів, на одних і тих же проміжках пропорцій при одних розмірах приміщення величина КПО зростає, тоді як при інших розмірах вона спадає.

Література

1. Firas M. S. Daylighting: an alternative approach to lighting buildings // Journal of American Science. 2014. Vol. 10, Issue 4.
2. Djamel Z., Noureddine Z. The Impact of Window Configuration on the Overall Building Energy Consumption under Specific Climate Conditions // Energy Procedia. 2017. Vol. 162–172. doi: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.05.016>
3. Nedhal A.-T., Sharifah Fairuz Syed F., Adel A. Relationship between Window-to-Floor Area Ratio and Single-Point Daylight Factor in Varied Residential Rooms in Malaysia // Indian Journal of Science and Technology. 2016. Vol. 9, Issue 33. doi: <https://doi.org/10.17485/ijst/2016/v9i33/86216>
4. İnan T. An investigation on daylighting performance in educational institutions // Structural Survey. 2013. Vol. 31, Issue 2. P. 121–138. doi: <https://doi.org/10.1108/02630801311317536>
5. Daylighting rules of thumb and a comparison of different floor depth under overcast and intermediate sky without sun / Sadin M. F. M. A., Ibrahim N. L. N., Sopian K., Salleh E. // Proceedings of the 2014 International Conference on Power Systems, Energy, Environment. 2014. P. 173–177.
6. Rathi P. Optimization of Energy Efficient Windows in Office Buildings for Different Climate Zones of the United States. Kent State University, 2012. URL: https://etd.ohiolink.edu/pg_10?0::NO:10:P10_ETD_SUBID:55158
7. Bokel R. M. J. The effect of window position and window size on the energy demand for heating, cooling and electric lighting // Proceedings: Building Simulation. 2007. P. 117–121.

8. Shen H., Tzempelikos A. A parametric analysis for the impact of facade design options on the daylighting performance of office spaces // 1st International High Performance Buildings conference. 2010. URL: <https://pdfs.semanticscholar.org/0cca/ecf8b789cd0a5cd3bfcedadf7edb4e78abf7.pdf>
9. Бурмака В. О., Тарасенко М. Г. Дослідження впливу геометричних параметрів віконних прорізів на коефіцієнт природної освітленості // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій». 2018. С. 196–198.
10. Щепетков Н. И. О некоторых недостатках норм и методик расчета инсоляции и естественного освещения // Светотехника. 2006. № 1. С. 55–56.
11. Бахарев Д. В. О методике расчета естественного освещения // Светотехника. 2006. № 1. С. 57–59.
12. Byrne P. Comparison Study of Four Popular Lighting Simulation Software Programs. Brunel University, 2014. URL: https://issuu.com/peter.byrne1000/docs/dissertation_-_peter_byrne_-_publis/
13. Comparative Evaluation of Daylighting Simulation Programs / Gábrová L., Hlásková M., Vajkay F. // Applied Mechanics and Materials. 2016. Vol. 824. P. 732–739. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.824.732>
14. Tarasenko M. Burmaka V., Kozak K. Dependences of relative and absolute glazed area from configuration and common areas of window embrasure // Scientific Journal of TNTU. 2018. Issue 1. P. 122–131.
15. Макаров Д. Н. Методы компьютерного моделирования осветительных установок: дисс. ... канд. техн. наук. Москва, 2007. 146 с.
16. Соловьев А. К. Обоснование модели «Среднестатистического небосвода» и ее использование в расчетах естественного освещения // Academia. Архитектура и строительство. 2010. № 3. С. 73–79.