

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
Міністерство освіти і науки України

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
Міністерство освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Бурмака Віталій Олександрович

УДК 621.321:628.92/.97:628.924:628.9.069

ДИСЕРТАЦІЯ

**Підвищення енергоефективності суміщеного освітлення будівель з
врахуванням енергетичного балансу приміщень**

141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

14 – Електрична інженерія

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ В.О. Бурмака _____
підпис Ініціали та прізвище дисертанта

Науковий керівник Тарасенко Микола Григорович, доктор технічних наук,
професор

Тернопіль - 2020

АНОТАЦІЯ

Бурмака В.О. Підвищення енергоефективності суміщеного освітлення будівель з врахуванням енергетичного балансу приміщень. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» (14 – Електрична інженерія). – Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Тернопіль, 2020.

Дана робота присвячена питанню підвищення енергоефективності суміщеного освітлення будівель, за рахунок збільшення частки природного світла та використання систем керування штучним освітленням.. Було розглянуто варіант з боковим природним освітленням офісних приміщень. Визначено вплив світлотехнічних та теплотехнічних параметрів світлопрозорих зовнішніх огорожувальних конструкцій на сумарний енергетичний баланс приміщення.

Дослідження щодо ефективності використання природного освітлення було проведено на основі використання коефіцієнту природного освітлення, який характеризується відсотковим відношенням природної освітленості у будь-якій точці в середині приміщення до одночасно виміряної на тому ж рівні освітленості зовнішньої горизонтальної площини рівномірно розсіяним світлом усього небосхилу. В роботі розглянуто вплив геометричних параметрів приміщень та світлопрозорих зовнішніх огорожувальних конструкцій на величину коефіцієнта природного освітлення в розрахунковій точці на робочій поверхні. Це важливо, тому що при використанні світлового коефіцієнту та коефіцієнту WWR (window-to-wall ratio), при сталому їх значенні, величина коефіцієнта природного освітлення відрізняється в декілька раз. Це пов'язано з тим, що площа СЗОК не відповідає площі застакління, через яке денне світло проходить в приміщення. Площа приміщення не відповідає площі робочої поверхні, на якій необхідно забезпечити нормоване освітлення, а розміри приміщення і робочої поверхні взагалі не враховуються в СК та в WWR. Тому існують об'єктивні труднощі з уніфікацією результатів досліджень

ефективності бокового природного освітлення, які обумовлені впливом розмірів приміщення на значення коефіцієнта природного освітлення в розрахунковій точці на робочій поверхні.

В результаті аналізу залежностей величини коефіцієнта природного освітлення від розмірів приміщень та площі світлопрозорої зовнішньої огорожувальної конструкції запропоновано використовувати зведений індекс засклення приміщення. Він враховує не тільки площу засклення світлопрозорої зовнішньої огорожувальної конструкції, але й розміри та площу робочої поверхні. Це дає можливість використовувати результати досліджень ефективності природного освітлення без прив'язки до конкретних розмірів приміщення. В результаті апроксимації даної залежності отримано рівняння, яке описує взаємозв'язок між даними величинами.

Для визначення площі світлопрозорої зовнішньої огорожувальної конструкції, при якій забезпечується необхідне значення коефіцієнту природної освітленості в розрахунковій точці, розроблено алгоритм, який враховує як ширину непрозорої частини світлопрозорої зовнішньої огорожувальної конструкції, так і її пропорції.

Проведено аналіз залежності тривалості забезпечення нормованої освітленості денним світлом приміщень (автономність природного освітлення) від величини коефіцієнта природного освітлення. Визначено питому автономність природного освітлення офісних приміщень (год/(рік·м²)) для м. Тернопіль. Доведено, що незалежно від розмірів приміщень, максимальна питома автономність природного освітлення (для нормованої освітленості 300 лк), при боковому природному освітленні досягається при коефіцієнті природного освітлення в межах від 1,7% до 1,9%, максимум при 1,8%. При нормованій освітленості 500 лк максимальна питома автономність природного освітлення має місце при величині від 2,6% до 3,0%, максимум – при 2,8%.

В роботі розглянуто питання впливу орієнтації, термічного опору та коефіцієнт відносного проникнення сонячної радіації світлопрозорої зовнішньої огорожувальної конструкції на сумарні втрати тепла в опалювальний період та його надходження в охолоджувальний період. Це обумовлено тим, що на даний час ві-

дсутні рекомендації щодо значення параметрів світлопрозорих зовнішніх огорожувальних конструкцій, при яких виникає зменшення сумарного споживання електроенергії при забезпеченні комфортних параметрів повітря в приміщенні. На даний час основним параметром, за яким обирають світлопрозорі зовнішні огорожувальні є термічний опір. Оскільки, термічний опір різних частин світлопрозорих зовнішніх огорожувальних конструкцій має різну величину виникла необхідність в розробці аналітичних виразів для отримання відносних та абсолютних площ засклення, профілю та заповнення світлопрозорих зовнішніх огорожувальних конструкцій прямокутної конфігурації. В результаті досліджень отримані аналітичні вирази для визначення абсолютних і відносних площ засклення світлопрозорих зовнішніх огорожувальних конструкцій найпоширеніших конфігурацій. Це дало можливість отримати залежності витрат електроенергії на опалення та охолодження офісного приміщення, від коефіцієнту відносного проникнення сонячної радіації і термічного опору при зміні орієнтації світлопрозорої зовнішньої огорожувальної конструкції для м. Тернопіль. Отримані результати дали можливість визначити теплотехнічні та світлотехнічні параметри СЗОК, при яких природне бокове освітлення призводить до зменшення сумарного споживання електроенергії для забезпечення комфортних параметрів повітря в приміщенні.

Вирази для визначення автономності природного освітлення, втрат тепла та надходження сонячної радіації через світлопрозору зовнішню огорожувальну конструкцію в опалювальний період, та надлишкове надходження тепла в охолоджувальний період для м. Тернопіль поєднано. В результаті отримано вирази які дозволяють визначити параметри, при яких встановлення світлопрозорої зовнішньої огорожувальної конструкції дозволяє зменшити сумарне споживання електроенергії приміщенням. Також представлено нерівності для визначення світлотехнічних та теплотехнічних параметрів світлопрозорих зовнішніх огорожувальних конструкцій, при яких зменшується сумарне споживання електроенергії в приміщенні для м. Тернопіль при різній їх площі та орієнтації.

Крім того були проведені дослідження щодо економічної та енергетичної ефективності використання систем керування штучним освітленням сходів, мар-

шів та поверхових коридорів. Визначено економічну та енергетичну ефективність використання систем керування штучним освітленням за допомогою астрономічного реле та датчиків руху з різними типами джерел світла для сходів (майданчиків та маршів) багатоповерхових житлових будинків. Для цього було проведено аналіз помісячної інтенсивності руху мешканців 9-ти поверхових житлових будинків через дверні прорізи входних дверей будинку. Встановлено, що незалежно від енергоефективності джерел світла використання астрономічного реле призводить до зниження споживання електроенергії на штучне освітлення на 49,31-50,58%. В той час, як використання датчиків руху призводить до більш суттєвого зменшення споживання електроенергії, а саме: при використанні ламп розжарення – на 97,92%, галогенних ламп – на 97,73%, компактних люмінесцентних ламп – на 95,27%, світлодіодних ламп – на 93,98%. Уперше отримані дані інтенсивності руху мешканців 9-ти поверхових житлових будинків через дверний проріз першого поверху для м. Тернопіль.

З точки зору економічної ефективності результати виявилися дещо інші. У зв'язку з необхідністю в встановленні дев'яти датчиків руху, економічний ефект від їх використання значно менший. Так, при встановленні астрономічного реле, вартість володіння за 10 років зменшується: з лампами розжарення – на 50,04%, галогенними лампами – на 50,05%, компактними люмінесцентними лампами – на 46,38%, світлодіодними лампами – 43,98%, тоді як при використанні датчиків руху – з лампами розжарення – на 86,70%, галогенними лампами – на 84,40%, компактними люмінесцентними лампами – на 46,62%, світлодіодними лампами – 15,70%.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в науковому обґрунтуванні та вирішенні важливої наукової задачі підвищення адекватності оцінки енергоефективності бокового природного освітлення на основі одночасного врахування множини факторів, які суттєво впливають на його якісні та кількісні параметри в процесі експлуатації. При цьому одержано такі наукові результати:

1. Отримано аналітичні вирази для визначення відносних та абсолютних значень площ засклення, профілю та завінення світлопрозорої зовнішньої огорожувальної конструкції прямокутної форми з будь-якою наперед заданою її від-

ною шириною, що дає можливість визначити оптимальні, з точки зору за-
склення, їх розміри.

2. Уперше отримано математичний вираз для зведеного індексу за-
склення приміщення, що дає можливість визначати площу світлопрозорої зовнішньої ого-
роджувальної конструкції, при якій забезпечується нормоване значення КПО, без
прив'язки до певних розмірів приміщення. Даний вираз враховує площу за-
склення світлопрозорої зовнішньої огорожувальної конструкції, площу робочої повер-
хні та глибину і ширину приміщення. Розроблено алгоритм розрахунку площі сві-
тлопрозорої зовнішньої огорожувальної конструкції для забезпечення нормова-
ного значення коефіцієнту природного освітлення в незатінених приміщеннях до-
вольних розмірів. Даний алгоритм дозволяє визначати площу одnoseкційної світ-
лопрозорої зовнішньої огорожувальної конструкції, при якій забезпечується но-
рмоване значення коефіцієнту природної освітленості в розрахунковій точці i , ві-
дповідно, на всій робочій поверхні.

3. Розроблено методику для визначення площі світлопрозорої зовнішньої
огорожувальної конструкції, при якій забезпечується необхідна величина коефі-
цієнту природного освітлення.

4. Доведено, що при різних розмірах приміщення характер зміни коефіцієнту
природного освітлення відносно пропорцій світлопрозорої зовнішньої огорожува-
льної конструкції не є синхронним. Як видно з отриманих результатів, на одних і
тих же проміжках пропорцій при одних розмірах приміщення величина коефіцієн-
ту природного освітлення зростає, а при інших – спадає.

5. Встановлено, що найбільша ефективність використання природного світ-
ла для освітлення приміщень, при нормованій освітленості 300 лк характерна для
значень коефіцієнту природного освітлення в межах від 1,7% до 1,9%. Для зна-
чення 1,8% – вона максимальна при нормованій освітленості в 500 лк максималь-
на ефективність використання світлопрозорої зовнішньої огорожувальної конс-
трукції спостерігається при величині коефіцієнту природного освітлення від 2,6%
до 3,0% з екстремумом при 2,8%.

6. Отримано вирази для визначення автономності природної освітленості, для нормованої величини освітленості в 300 лк, для приміщень різних розмірів з різною площею світлопрозорої зовнішньої огорожувальної конструкції.

7. Встановлено, що використання на сходах та поверхових коридорах датчиків руху призводить до суттєвого зменшення споживання електроенергії: при використанні ламп розжарення – на 97,92%, галогенних ламп – на 97,73% компактних люмінесцентних ламп – на 95,27%, світлодіодних ламп – 93,98%. в той час, як в залежності від енергоефективності джерел світла використання астрономічного реле призводить до зниження споживання електроенергії на штучне освітлення на 49,41-50,58%.

Практичне значення одержаних результатів: ґрунтуючись на результатах експериментальних досліджень, теоретичних узагальнень та розробок, вирішені проблеми, які мають важливе прикладне значення:

1. Отриманий вираз дозволяє розраховувати мінімальну площу засклення світлопрозорої зовнішньої огорожувальної конструкції для забезпечення нормованого значення коефіцієнту природної освітленості з стандартним відхиленням 0,894, спираючись виключно на розміри приміщення. Це складає передумови для використання отриманих результатів при розробці будівельних нормативних документів.

2. Отримано вирази для визначення автономності природного освітлення, для нормованої величини освітленості в 300 лк, для приміщень різних розмірів з різною площею світлопрозорої зовнішньої огорожувальної конструкції. Дані вирази дозволяють визначати тривалість забезпечення нормованої освітленості в офісних приміщеннях. Це дає можливість розрахувати енергоефективність використання бокового природного освітлення.

3. Отримано аналітичні вирази для визначення параметрів світлопрозорої зовнішньої огорожувальної конструкції, при яких виникає позитивний вплив на енергетичний баланс приміщення.

4. Експериментально досліджено інтенсивність руху мешканців 9-ти поверхових будинків через дверний проріз першого поверху для три-годинних проміжків

часу з 7:00 до 22:00 і 9-ти годинного інтервалу з 22:00 до 07:00 протягом року. Отримані дані дозволяють визначати енергетичну та економічну ефективність використання системи керування штучним освітленням за допомогою датчиків руху.

Ключові слова: коефіцієнт природного освітлення, суміщене освітлення, природне освітлення, освітлення офісних приміщень, автономність природного освітлення, питома автономність природного освітлення, система керування штучним освітленням, світлопрозора зовнішня огорожувальна конструкція, засклення, теплонадходження, втрати тепла, інтенсивність руху мешканців, зведений індекс засклення приміщення.

SUMMARY

Burmaka V.O. Improving the energy efficiency of combined lighting of buildings taking into account the energy balance of the premises. – Qualification scientific work with the manuscript copyright.

PhD thesis in Engineering Sciences with major in 141 «Electrical energetics, electrical engineering and electromechanics» (14 – Electrical Engineering). – Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ternopil, 2020.

The thesis deals with the economy of electric energy, which is spent on room lighting, because of increasing interests of daylight. Design decisions should be based on the cost-effectiveness of introducing light into the room. Light guide systems are useful for introducing light into rooms located deep in the building. The use of a clerestory and mansard translucent structures of external wall envelope (TSEWE) is possible only on the top floors of building, and side walls TSEWE can be installed in all rooms, located above the ground. From the above it follows that the building facades TSEWE is practically expedient, since they are durable, not labor-consuming to maintain and universal in terms of limitations on the place of their installation. As a result of the research, there has been obtained an analytical expression for determination of the absolute and relative glazed area of TSEWE of any configuration. Since the thermal resistance of TSEWE different parts has a different value, it became impossible to develop analytical expressions for obtaining the relative and absolute areas of glazing, profile and foam filling of the TSEWE of a rectangular configuration.

The next parameter characterizing the energy efficiency of the daylight use is DF, that indicating the ratio of the illumination at the selected point in comparison with lighting from the outside.

The effect of geometrical parameters of rooms and window openings on the value of the daylight factor (DF) in the reference point (RP) on the work surface (WS) is considered in the article. This is important, as while using a window to floor ratio (WFR) and a window to wall ratio (WWR), there is a significant error. Therefore, there are objective difficulties with the unification of the results of studies on the effectiveness of

natural sidelight, which are due to the influence of the size of the room on the DF value in the RP on the WS. The use of the above-mentioned coefficients to evaluate the efficiency of lateral natural light results in the fact that, at constant value of the coefficient, the value of the DF may differ several times. This is because the area of the window opening does not correspond to the area of glazing through which daylight passes into the room. The area of the room does not correspond to the area of the work surface on which it is necessary to provide prescribed by regulations illumination level, and the dimensions of both the room and the work surface are not taken into account in the LF or in the WWR at all.

As a result of the analysis of the DF value dependences on the rooms size and the TSEWE area, it is proposed to use a composite room glazing index (CRGI). It takes into account not only the glazing area of the TSEWE but also the dimensions and area of the work surface. This makes it possible to use the results of studies on the effectiveness of daylighting without binding them to the dimensions of a room. As a result of the approximation of this dependence, an equation describing the relationship between these quantities has been developed. An algorithm that takes into account both the width of the opaque portion of the TSEWE and its proportion has been developed to determine the area of the TSEWE at which the required DF value in the reference point is provided.

The rational use of daylight can significantly reduce the cost of electricity for artificial lighting. The purpose of this research was to investigate the parameters of translucent structures of building envelope, and the value of daylight factor, for which maximum efficiency of daylight usage is achieved in office rooms. The study analyzes the dependence of the office rooms daylight autonomy on the DF value for four European cities. The specific daylight autonomy ($\text{h}/(\text{year} \cdot \text{m}^2)$) of office rooms was found. It was proved, that regardless of the rooms size, the maximum specific daylight autonomy (at illumination of 300 lx, that is prescribed by regulations), with lateral daylight, occurs when the DF is in the range of 1.7% to 1.9%. Maxima – at 1.8%. At illumination of 500 lx, the maximum specific daylight autonomy will occur at a daylight factor range of 2.6% to 3.0%. Maxima – at 2.8%.

A study of the parameters affecting the efficiency of lateral daylight was made, especially against the background of the total use of modern energy-efficient windows, has not lost its relevance.

Issues addressed of the influence of orientation, thermal resistance, and the coefficient of relative penetration of solar radiation (CRPSR) of the translucent structures of exterior wall envelope (TSEWE) on total heat loss during the heating period and its inflow in the cooling period was studied. The aim of this study directed to determine the effect of both thermal resistance and CRPSR on the electricity consumption to compensate for heat losses and heat revenues through the TSEWE. As a result of research received the dependence of electricity consumption on the heating and cooling of the office space, from the CRPSR, the thermal resistance for different orientation of the TSEWE for the city of Ternopil. The obtained results made it possible to determine the conditions under which energy savings will be achieved, taking into account the reduction in its consumption for artificial lighting.

Based on the obtained results of determination of the daylight autonomy of and existing expressions for determining heat loss and gain of the solar radiation through the TSEWE in the heating period, and excess heat supply in the cooling period for Ternopil, obtained expressions allowed one to determine the parameters for which the installation of the TSEWE allows to reduce the rooms total energy consumption.

As a result of the above calculations, inequalities are obtained for determining the conditions for the positive effect of the TSEWE properties on the rooms total energy balance for Ternopol, for TSEWE of various orientations.

The next stage of the work was the study of the economic and energy efficiency of the artificial lighting control systems, with the help of astronomical relays and motion sensors, by various types of light sources for the for stairwells (stair landings and staircases) of multistory residential buildings. The analysis of the residents' monthly movement intensity of the 9-story residential buildings through the buildings entrance, doorways, and apartment doors was carried out. The economic and energy efficiency of use the artificial lighting control systems with an astronomical relays and motion sensors with different types of light sources was determined. Regardless of the light

sources' type, the astronomical relay's use leads to reduction in the electricity consumption of artificial lighting in 43.31% – 50.52%. Moreover, the motion sensors' use on stairwells leads to a significant reduction in electrical energy consumption: in a case of halogen lamps – by 97.73%, compact fluorescent lamps – by 95.27%, light-emitting diodes lamps – by 93.98%. For the first time, the data of 9-story residential buildings inhabitants' traffic intensity through the first-floor doorway for the Ternopil city, Ukraine has been carried out.

From the economic efficiency point of view, the situation is somewhat different. For the considered need for the establishment of nine motion sensors, the economic effect of their use is significantly reduced. So, when the astronomical relay is installed, the cost of ownership decreases for 10 years: from IL – by 50.04%, HL – by 50.05%, CFL – by 46.38% and LED – by 43.98%, whereas when using motion sensors with IL – by 86.70%, HL – by 84.40%, CFL – by 46.62% and LED – by 15.70%.

The scientific novelty of the study lies in the scientific substantiation and solution of an important scientific and technical problem of increasing the adequacy of energy efficiency assessment of lateral daylight based on an overnight account of many factors that significantly affect its qualitative and quantitative parameters during operation. The following scientific results were obtained:

1. It is obtained the analytical expressions for determining the relative and absolute values of the TSEWE glazing profile and foam filling area, of a rectangular shape TSEWE with any predetermined TSEWE coordination index, which makes it possible to determine the optimal, from the maximum glazing area point of view, their sizes.

2. The expression for the consolidated index of the glazing of a room is obtained, which makes it possible to determine the area of the TSEWE at which the prescribed by regulations value of the DF is provided without being tied to certain dimensions of the room. This expression takes into account the area of glazing the TSEWE, the WS area, as well as the depth and width of the room. An algorithm for calculating the window sill area has been developed to provide a prescribed by regulations DF value in non-shadowed rooms of arbitrary dimensions. This algorithm allows determining the area of

a single-section TSEWE at which the prescribed by regulations value of the DF in the RP and, consequently, throughout the WS will be ensured

3. A technique for determining the TSEWE area at which the required DF value is provided has been developed.

4. It has been proven that for different sizes of rooms, the nature of the DF change relative to proportions is not synchronous. As can be seen from the obtained results, on the same intervals of proportions and with the same sizes of rooms, the DF increases, whereas in other cases it decreases.

5. As a result of the research, it was found that the highest efficiency of daylight usage in office rooms lighting, with prescribed by regulations illumination of 300 lx, will have a DF values range of 1.7% to 1.9%. For a value of 1.8% – it is maxima. At a illumination of 500 lx, maximum efficiency of TSBE usage is observed, with DF values of 2.6% to 3.0% and maxima at 2.8%.

6. The expression is obtained for determining the daylight autonomy, for a prescribed by regulations illumination value of 300 lx, for rooms of various sizes with different TSEWE areas.

7. It was found, that using of motion sensors on stairwells leads to a significant reduction in electricity consumption: when using IL – in 97.95, HL – in 97.73%, CFL – in 95.27%, LED – in 93.98%, while regardless of the type of the LS, using the astronomical relay leads to a reduction in the electricity consumption of artificial lighting in 49.31% - 50.58%.

The practical significance of the results: based on the results of experimental research, theoretical generalizations and developments, decide whether there are problems that have important applied value:

1. Obtained results help calculate the minimum glazing area of the TSEWE to provide a prescribed by regulations DF value with a standard deviation of 0.894, based solely on the dimensions of the room. This is a prerequisite for using the obtained results in the development of buildings normative documents.

2. Expressions are obtained for determining the daylight autonomy, for 300 lx illumination value, for rooms of various sizes with different TSEWE areas. These expres-

sions make it possible to determine the duration of the provision of prescribed by regulations illumination in office rooms. It makes possible to calculate the energy efficiency of side daylighting using.

3. It was obtained the analytical expressions of determination of the parameters of the TSEWE, at which the positive effect on the energy balance of the room is blamed.

4. It has been conducted the experimentally determined the residents' movement intensity through the doorway of the 9-story buildings first floor for three-hour time intervals from 7:00 to 22:00 and a 9-hour interval from 22:00 to 07:00 during the year. The obtained data make it possible to determine the energy and economic efficiency of using the artificial lighting control system with motion sensors.

Key words: daylight factor, combined lighting, daylighting, office rooms lighting, daylight autonomy, specific daylight autonomy, lighting control system, translucent structures of exterior wall envelope, glazing, heat revenues, heat losses, intensity of residents' motion, composite room glazing index.

Список публікацій здобувача за темою дисертації

1. Burmaka, V., Tarasenko, M., Kozak, K., Khomyshyn, V. (2018). Definition of a composite index of glazing rooms. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4(10 (94)), 22-28. ISSN: 1729-4061. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.141018> (Індексується в Scopus).

2. Burmaka, V., Tarasenko, M., Kozak, K., Khomyshyn, V., Sbat, N. (2020). Economic and energy efficiency of artificial lighting control systems for stairwells of multistory residential buildings. *Journal of Daylighting*, 7(1), 72-88. ISSN: 2383-8701. <http://dx.doi.org/10.15627/jd.2020.8> (Індексується в Scopus).

3. Burmaka, V., Tarasenko, M., Kozak, K., Omeiza, L.A. Sabat, N. (2020). Effective use of daylight in office rooms, *Journal of Daylighting* 7(2), 154-166. ISSN: 2383-8701. <https://dx.doi.org/10.15627/jd.2020.15> (Індексується в Scopus).

4. Tarasenko, M., Burmaka, V., Kozak, K. (2018). Dependences of relative and absolute glazed area from configuration and common areas of window embrasure. *Sci-*

entific Journal of TNTU. – Tern.: TNTU, 89(1), 122-131. ISSN:2522-4433. https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2018.01.122. (Індексується в Index Copernicus).

5. Burmaka, V., Tarasenko, M., Kozak, K., Khomyshyn, V. (2019). Impact of the translucent structures of exterior wall envelope orientation on the energy balance of the premises. *Scientific Journal of TNTU*. – Tern.: TNTU, 94(2), 111-122. ISSN:2522-4433. https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2019.02.111. (Індексується в Index Copernicus).

6. Burmaka, V., Tarasenko, M., Kozak, K., Khomyshyn, V. (2019). Influence of the premises size on the value of the daylight factor at the reference point. *International scientific and practical conference Technical sciences: history, the present time, the future, EU experience Wloclawek, Republic of Poland, September 27-28*, 1, 10-13.

7. Бурмака, В., Тарасенко, М. (2018). Дослідження впливу геометричних параметрів віконних прорізів на коефіцієнт природної освітленості. *Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій» до 100 річчя з дня заснування НАН України та на вшанування пам'яті Івана Пулюя (100 річчя з дня смерті), 22-24 травня 2018*. – Т.: ТНТУ, 247-248.

8. Бурмака, В.О., Тарасенко, М.Г. (2019). Визначення мінімальної площі за-склення для забезпечення нормованого коефіцієнта природної освітленості. *Енергоефективність: наука, технології, застосування: Матеріали IV Всеукраїнської науково-практичної конференції «енергоефективність: наука, технології, застосування». Частина II. Київ, 27 листопада 2019 р.* – Київ: НПУ імені М.П. Драгоманова, 2, 9-13.

9. Бурмака, В.О., Тарасенко, М.Г. (2016). Використання світлових тунелів для збільшення енергоефективності систем освітлення. *Збірник тез доповідей V Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», 17-18 листопада 2016 року*. – Т.: ТНТУ, 2, 148-149.

10. Тарасенко, М.Г., Козак, К.М., Бурмака В.О. (2017). Шляхи підвищення якості та енергоощадності освітлення житлових і нежитлових будівель. *Матеріа-*

ли XX наукової конференції ТНТУ ім. І. Пулюя, 17-18 травня 2017 року. – Т.: ТНТУ, 174-175.

11. Бурмака, В., Тарасенко, М. (2017). Енергоефективність застосування світлопрозорих конструкцій для природного освітлення приміщень. *Матеріали III Всеукраїнської науково-технічної конференції «Теоретичні та прикладні аспекти радіотехніки і приладобудування»*, 8-9 червня 2017 року, – Т.: ТНТУ, 196-198.

12. Тарасенко, М., Бурмака, В., Козак, К. (2018). Залежності відносної площі засклення від загальної площі віконного прорізу. *Materials 6th International Scientific Conference «Lighting and power engineering: history, problems and perspectives»*, 30 січня - 02 лютого 2018 року. – Т.: ФОП Паляниця В.А., 99-100.

13. Burmaka, V.O., Tarasenko M.G., Kozak K.M. (2018). Relative glazing area of window embrasure of triangular configuration. *Збірник тез доповідей VII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій»*, 28-29 листопада 2018 року. – Т.: ФОП Паляниця В. А., 3, 7-8.

14. Бурмака, В.О., Тарасенко, М.Г. (2019). Ефективність використання природного світла в офісних приміщеннях. *Збірник тез доповідей XXI наукова конференція Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя*, 16-17 травня 2019 року, – Т.: ТНТУ, 115-116.

15. Бурмака, В., Тарасенко, М. (2019). Підвищення енергоефективності використання суміщеного освітлення для сходових кліток. *Матеріали IV Міжнародної науково-технічної конференції «Теоретичні та прикладні аспекти радіотехніки, приладобудування і комп'ютерних технологій»* присвячена 80-ти річчю з дня народження професора Я.І. Проця, 20-21 червня 2019 року. – Т.: ФОП Паляниця В. А., 273-277.

16. Бурмака, В.О., Тарасенко, М.Г. (2019). Залежність теплотехнічних параметрів світлопрозорих зовнішніх огорожувальних конструкцій від їх площі. *Зелене будівництво: Матеріали I Міжнародної науково-практичної конференції*. – Миколаїв: Торубара В.В., 83-85.

17. Бурмака, В.О., Тарасенко, М.Г. (2019). Вплив товщини зовнішньої огорожувальної конструкції на величину КПО в розрахунковій точці. *XIII Міжнародна науково-практична конференція магістрантів та аспірантів «Теоретичні та практичні дослідження молодих науковців» (19-22 листопада 2019 року): матеріали конференції / за ред. проф. Є.І. Сокола.* – Харків: НТУ «ХПІ», 175-176.

18. Бурмака, В.О., Тарасенко, М.Г. (2019). Дослідження енергоефективності використання природного освітлення. *Збірник тез доповідей VIII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», 27-28 листопада 2019 року.* – Т.: ТНТУ, 3, 14-15.

19. Бурмака, В.О., Тарасенко, М.Г. (2020). Енергоощадний вплив світлопрозорих зовнішніх огорожувальних конструкцій на енергетичний баланс офісного приміщення. *Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій» до 60-річчя з дня заснування Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя та 175-річчя з дня народження Івана Пулюя, 14-15 травня 2020 року.* – Т.: ТНТУ, 196-198.

20. Бурмака В.О., Тарасенко М.Г. Екологічні аспекти освітлення сходів багатоквартирних житлових будинків. *Проблеми та перспективи розвитку сучасної науки: збірник тез доповідей Міжнародної науково-практичної конференції молодих науковців, аспірантів і здобувачів вищої освіти, м. Рівне, 21-22 травня 2020 року: у 2 ч. Ч. 1. Рівне: НУВГП, 2020, 14-16.*

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень	22
Вступ.....	31
РОЗДІЛ 1. Аналіз сучасного стану досліджень щодо енергоефективності використання систем бокового природного освітлення	39
1.1. Стан проблеми енергозбереження в освітленні.....	39
1.2. Конструктивні виконання систем природного освітлення.....	40
1.2.1. Системи суміщеного освітлення	48
1.2.2. Оптиволоконні системи природного освітлення.....	49
1.3. Аналіз ефективності використання природного освітлення для офісних приміщень	50
1.4. Аналіз методів теплотехнічного розрахунку параметрів світлопрозорих зовнішніх огорожувальних конструкцій.....	54
1.5. Аналіз методів оцінки енергоефективності світлопрозорих зовнішніх огорожувальних конструкцій	57
1.6. Економічна ефективність застосування систем природного освітлення	59
1.7. Енергоефективність використання систем керування штучним освітленням для багатоквартирних будинків.....	62
Висновки до розділу 1	66
РОЗДІЛ 2. Залежності відносної та абсолютної площі застосування від конфігурації та загальної площі світлопрозорих зовнішніх огорожувальних конструкцій	68
2.1. Особливості проектування світлопрозорих зовнішніх огорожувальних конструкцій.....	69
2.2. Відносна площа застосування глухих одностекляних світлопрозорих зовнішніх огорожувальних конструкцій різної конфігурації.....	70
2.2.1. Відносна площа застосування трикутної світлопрозорої зовнішньої огорожувальної конструкції.....	71

2.2.2. Відносна площа засклення круглої світлопрозорої зовнішньої огорожувальної конструкції.....	75
2.2.3. Відносна площа засклення прямокутної світлопрозорої зовнішньої огорожувальної конструкції.....	76
2.3. Вплив конфігурації глухих односекційних світлопрозорих зовнішніх огорожувальних конструкцій на площу засклення	77
2.4. Визначення відносної площі засклення багатосекційної прямокутної світлопрозорої зовнішньої огорожувальної конструкції	82
Висновки до розділу 2	85
РОЗДІЛ 3. Ефективність використання бокового природного освітлення в офісних приміщеннях	86
3.1. Доцільність природного освітлення приміщень.....	86
3.2. Економічні переваги природного освітлення	87
3.3. Особливості проектування природного освітлення	88
3.4. Аналіз впливу розмірів приміщень, площі та пропорцій світлопрозорих зовнішніх огорожувальних конструкцій на величину коефіцієнту природного освітлення в розрахунковій точці	90
3.4.1. Вплив геометричних розмірів приміщень та світлопрозорих зовнішніх огорожувальних конструкцій на величину коефіцієнту природного освітлення в розрахунковій точці.....	91
3.4.2. Вплив пропорцій світлопрозорих зовнішніх огорожувальних конструкцій на величину коефіцієнту природного освітлення в розрахунковій точці	96
3.4.3. Вплив розміщення світлопрозорої зовнішньої огорожувальної конструкції в зовнішній огорожувальній конструкції та розмірів приміщення на величину КПО в розрахунковій точці.....	97
3.4.4. Вплив товщини зовнішньої огорожувальної конструкції на величину коефіцієнту природного освітлення в розрахунковій точці	99
3.5. Визначення зведеного індексу засклення приміщення.....	100

3.6. Аналіз впливу кількості світлопрозорих зовнішніх огорожувальних конструкцій на величину коефіцієнту природного освітлення в обраних точках.....	106
3.7. Використання світлового коефіцієнту, window to wall ratio та зведеного індексу засклення приміщення для оцінки природного освітлення	108
3.8. Ефективність використання бокового природного освітлення в офісних приміщеннях	110
3.8.1. Автономність природного освітлення офісних приміщень	110
3.8.2. Питома ефективність використання природного освітлення.....	114
3.9. Результати дослідження впливу ширини і довжини приміщення та пропорцій світлопрозорих зовнішніх огорожувальних конструкцій на величину коефіцієнту природного освітлення в розрахунковій точці.....	118
Висновки до розділу 3	120
РОЗДІЛ 4. Умови забезпечення енергоощадного використання світлопрозорих зовнішніх огорожувальних конструкцій	122
4.1. Залежність витрат електроенергії на опалення приміщення від термічного опору, орієнтації та площі світлопрозорих зовнішніх огорожувальних конструкцій.....	122
4.2. Залежність надходжень сонячної радіації протягом опалювального періоду через світлопрозорі зовнішні огорожувальні конструкції від їх площі та орієнтації	126
4.3. Залежність витрат електроенергії на видалення тепла протягом охолоджувального періоду від площі та орієнтації світлопрозорої зовнішньої огорожувальної конструкції.....	128
4.4. Залежність сумарних витрат електроенергії на опалення та видалення тепла протягом року від властивостей та орієнтації світлопрозорої зовнішньої огорожувальної конструкції	130
4.5. Сумарний вплив використання світлопрозорих зовнішніх огорожувальних конструкцій на енергетичний баланс офісного приміщення.....	134
Висновки до розділу 4	138

РОЗДІЛ 5. Енергетична та економічна ефективність використання суміщеного освітлення сходових кліток	140
5.1. Визначення режимів роботи системи освітлення сходів	142
5.1.1. Система штучного освітлення з астрономічним реле	143
5.1.2. Інтенсивності руху мешканців 9-ти поверхових будинків через дверний проріз першого поверху	144
5.2. Розрахунок економічної та енергетичної ефективності використання систем суміщеного освітлення	148
5.2.1. Витрати коштів та електроенергії без використання системи керування штучним освітленням (режим безперервного світіння)	148
5.2.2. Енергетична та економічна ефективність використання системи керування штучним освітленням за допомогою астрономічного реле	150
5.2.3. Енергетична та економічна ефективність використання системи керування штучним освітленням за допомогою датчиків руху	153
5.3. Економічна ефективність заміни системи керування штучним освітленням	156
5. 4. Екологічні аспекти використання систем керування штучним освітленням сходів багатоквартирних житлових будинків	160
Висновки до розділу 5	164
Висновки	166
Список використаних джерел	168

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

<i>COP</i>	коефіцієнт перетворення;
<i>EER</i>	– номінальний коефіцієнт енергоефективності;
<i>WWR</i>	– window-to-wall ratio (відношення площі світлопрозорої зовнішньої огорожувальної конструкції до сумарної площі зовнішньої огорожувальної конструкції, в якій вона розміщена);
АПО	– автономність природного освітлення;
<i>apo</i>	– питома автономність природного освітлення;
АР	– астрономічне реле;
ГЛ	– галогенна лампа;
ДР	– датчик руху;
ДС	– джерело світла;
ЕЕ	– електроенергія;
ЗІЗП	– зведений індекс засклення приміщення;
ЗОК	– зовнішня огорожувальна конструкція;
КВПСР	– коефіцієнт відносного проникнення сонячної радіації;
КЛЛ	– компактна люмінесцентна лампа;
КПО	– коефіцієнт природного освітлення;
ЛЛ	– люмінесцентна лампа;
ЛР	– лампа розжарення;
МПВ	– металопластикове вікно;
ОУ	– освітлювальна установка;
РП	– робоча поверхня;
РТ	– розрахункова точка;
СДЛ	– світлодіодна лампа;
СЗОК	– світлопрозора зовнішня огорожувальна конструкція;
СК	– світловий коефіцієнт;
СТС	– середня тривалість світіння;
ТЕС	– теплова електростанція;

ТЕЦ – теплові електроцентралі.

ПОЗНАЧЕННЯ

η	– коефіцієнт, який враховує додаткові втрати тепла через зовнішню огорожувальну конструкцію, відн. од.;
τ_2	– коефіцієнт, який враховує втрати світла в профілі світлопрозорої зовнішньої огорожувальної конструкції, відн. од.;
τ_3	– коефіцієнт, який враховує зниження теплонадходжень в приміщення за рахунок забруднення скла, відн. од.;
τ_4	– коефіцієнт теплопропускання сонцезахисних пристроїв, відн. од.;
ε_{3C}	– коефіцієнт відносного проникнення сонячної радіації через застосування світлопрозорої зовнішньої огорожувальної конструкції, відн. од.;
ω_{OP}	– втрати теплової енергії за опалювальний період, через світлопрозору зовнішню огорожувальну конструкцію, (кВт·год)/рік;
ζ_{C3OK}	– коефіцієнт, який враховує затінення світлопрозору зовнішню огорожувальну конструкцію непрозорими елементами;
COP	– коефіцієнт перетворення, кВт/кВт;
C_B	– вартість робіт по встановленню та налаштуванню пристроїв керування, грн/шт;
$C_{ДС}$	– вартість одного джерела світла, грн;
C_{EE}	– вартість електроенергії, грн/(кВт·год);
C_3	– вартість заміни одного джерела світла, грн;
$C_{П}$	– початкова вартість необхідних джерел світла та пристроїв керування для системи штучного освітлення сходових кліток, грн;
$C_{ШО}$	– вартість володіння системою штучного освітлення, грн;
$C_{ШО.АР}$	– вартість володіння системою освітлення, при її використанні з керуванням за допомогою астрономічного реле, грн;

$C_{\text{ШО.ДР}}$	– вартість володіння системою штучного освітлення, при її використанні з керуванням за допомогою датчиків руху, грн;
$d_{\text{П}}$	– глибина приміщення, м;
$d_{\text{РТ}}$	– глибина розташування розрахункової точки в приміщенні, м
EER	– номінальний коефіцієнт енергоефективності, кВт/кВт;
$E_{\text{К.ДР}}$	– економія коштів від використання системи керування штучним освітленням з датчиками руху, грн;
$E_{\text{К.АР}}$	– економія коштів від використання системи керування штучним освітленням з астрономічним реле, грн;
$h_{\text{П}}$	– висота приміщення, м;
$h_{\text{РП}}$	– висота робочої поверхні над підлогою, м;
$h_{\text{СЗОК}}$	– висота прямокутної світлопрозорої зовнішньої огорожувальної конструкції, м;
$I_{\text{ЗС.П}}$	– зведений індекс засклення приміщення, %;
$I_{\text{Зх}}$	– середня величина сонячної радіації, спрямованої на вертикальну поверхню орієнтовану на захід за умов хмарності протягом опалювального періоду, (кВт·год)/м ² ;
$i_{\text{К.СЗОК}}$	– індекс координації світлопрозорої зовнішньої огорожувальної конструкції (відношення ширини світлопрозорої зовнішньої огорожувальної конструкції до її висоти), відн. од.;
$I_{\text{Пд}}$	– середня величина сонячної радіації спрямованої на вертикальну поверхню орієнтовану на південь за умов хмарності протягом опалювального періоду, (кВт·год)/м ² ;
$I_{\text{Пн}}$	– середня величина сонячної радіації, спрямованої на вертикальну поверхню орієнтовану на північ за умов хмарності протягом опалювального періоду, (кВт·год)/м ² ;
$I_{\text{Р.М}}$	– інтенсивність руху мешканців будинку, раз/рік;
$I_{\text{Сх}}$	– середня величина сонячної радіації, спрямованої на вертикальну поверхню орієнтовану на схід за умов хмарності протягом опалювального періоду, (кВт·год)/м ² ;

l	– ширина непрозорої частини світлопрозорої зовнішньої огорожувальної конструкції (профіль+запінення), м;
$l_{ГЧп}$	– ширина n -ї глухої секції металопластикового вікна, м;
$l_{ЗП}$	– ширина запінення, м;
$l_{ІМз}$	– ширина імпосту глухої секції металопластикового вікна, м;
$l_{ІМр}$	– додаткова товщина імпосту металопластикового вікна, зумовлена встановленням рухомої секції, м;
$l_{П}$	– ширина приміщення, м;
$l_{ПРОФ}$	– ширина профілю, м;
$l_{РСi}$	– ширина i -ї рухомої секції металопластикового вікна, м;
$l_{РТ}$	– відстань від осі симетрії світлопрозорої зовнішньої огорожувальної конструкції до розрахункової точки, м;
$l_{СЗОК}$	– ширина прямокутної світлопрозорої зовнішньої огорожувальної конструкції, м;
$l_{СТ}$	– товщина стулки, м;
$N_{АР}$	– кількість астрономічних реле, шт;
$N_{В,ДС}$	– кількість джерел світла, які вийшли з ладу за рік, шт/рік;
$N_{ДР}$	– кількість датчиків руху, шт;
$N_{ДС}$	– кількість джерел світла на одному поверсі, шт;
$N_{Н,Ц}$	– номінальна кількість циклів вмк/вимк джерела світла, шт;
$N_{П}$	– кількість поверхів в будинку, шт;
$N_{Ц}$	– кількість циклів вмк/вимк джерела світла за обраний період, шт;
$P_{АР}$	– потужність астрономічного реле, кВт;
$P_{ДР}$	– потужність датчика руху в режимі очікування, кВт;
$P_{ДС}$	– потужність джерела світла, кВт;
$P_{ШО}$	– потужність системи штучного освітлення, кВт;
$Q_{ОП}$	– надходження сонячної радіації через світлопрозору зовнішню огорожувальну конструкцію за опалювальний період, (кВт·год)/м ² ;

$Q_{\text{ОХ}}^{\text{МАКС}}$	– максимальне значення радіаційних надходжень тепла в робочу зону в охолоджувальний період, (кВт·год)/рік;
$Q_{\text{В.ПР.VII}}^{\text{МАКС}}$	– максимальне значення прямої сонячної радіації в липні при безхмарному небі на вертикальну поверхню певної орієнтації, Вт/м ² ;
$Q_{\text{В.РОЗ.VII}}^{\text{МАКС}}$	– максимальне значення розсіяної сонячної радіації в липні при безхмарному небі на вертикальну поверхню певної орієнтації, Вт/м ² ;
$R_{\text{ЕК}}$	– економічно доцільний термічний опір глухої частини зовнішньої огорожувальної конструкції, (м ² ·°C)/Вт;
$R_{\text{СЗОК}}$	– термічний опір світлопрозорої зовнішньої огорожувальної конструкції, (м ² ·°C)/Вт;
$\bar{S}_{\text{ЗП}}$	– відносна площа завішення в світлопрозорій зовнішній огорожувальній конструкції, відн. од.;
$S_{\text{ЗС}}$	– абсолютна площа застосування в світлопрозорій зовнішній огорожувальній конструкції, м ² ;
$\bar{S}_{\text{ЗС}}$	– відносна площа застосування, відн. од.;
$S_{\text{Зх}}$	– площа світлопрозорої зовнішньої огорожувальної конструкції у фасадах будинку, орієнтованих на захід (Зх), м ² ;
$S_{\text{П}}$	– площа підлоги приміщення, м ² ;
$S_{\text{Пд}}$	– площа світлопрозорої зовнішньої огорожувальної конструкції у фасадах будинку, орієнтованих на південь (Пд), м ² ;
$S_{\text{Пн}}$	– площа світлопрозорої зовнішньої огорожувальної конструкції у фасадах будинку, орієнтованих на північ (Пн), м ² ;
$S_{\text{ПРОФ}}$	– абсолютна площа профілю в світлопрозорій зовнішній огорожувальній конструкції, м ² ;
$S_{\text{РП}}$	– площа робочої поверхні, м ² ;
$S_{\text{СЗОК}}$	– абсолютна площа світлопрозорої зовнішньої огорожувальної конструкції, м ² ;
$\bar{S}_{\text{ПРОФ}}$	– відносна площа профілю в світлопрозорій зовнішній

	огорожувальній конструкції, відн. од.;
$S_{C3OKmax}$	— максимально допустима площа одnoseкційної світлопрозорої зовнішньої огорожувальної конструкції, m^2 ;
$S_{C3OKmin}$	— мінімально допустима площа одnoseкційної світлопрозорої зовнішньої огорожувальної конструкції, m^2 ;
S_{Cx}	— площа світлопрозорої зовнішньої огорожувальної конструкції у фасадах будинку, орієнтованих на схід (Cx), m^2 ;
t	— розрахункова зимова температура повітря всередині приміщення в робочий час, $^{\circ}C$;
T	— річна тривалість робочого часу, год/рік;
$T_{дс}$	— тривалість роботи джерел світла, год/рік;
T_E	— термін експлуатації системи штучного освітлення, років;
$t_{3.ср.}$	— середня температура зовнішнього повітря за опалювальний період, $^{\circ}C$;
$T_{н.дс}$	— номінальна тривалість роботи джерела світла, год;
$T_{ох}$	— тривалість охолоджувального періоду, год/рік;
T_p	— річна тривалість світіння джерела світла на сходових клітках будинків, год/рік;
$t_{ч}$	— температуру повітря в приміщенні, при черговому опаленні, $^{\circ}C$
W_{AP}	— електроенергія спожита астрономічним реле за рік, $(кВт \cdot год)/рік$;
$W_{др}$	— електроенергія спожита датчиками руху, $(кВт \cdot год)/рік$;
$W_{ш. AP. КЛЛ}$	— сумарне річне споживання електроенергії системою штучного освітлення з астрономічним реле і компактними люмінесцентними лампами в якості джерела світла, $(кВт \cdot год)/рік$;
$W_{ш. AP. ГЛ}$	— сумарне річне споживання електроенергії системою штучного освітлення з астрономічним реле і галогенними лампами в якості джерела світла, $(кВт \cdot год)/рік$;
$W_{ш. AP. ЛР}$	— сумарне річне споживання електроенергії системою штучного освітлення з астрономічним реле і лампами розжарення в якості

- джерела світла, (кВт·год)/рік;
- $W_{\text{ш.ар.сдл}}$ — сумарне річне споживання електроенергії системою штучного освітлення з астрономічним реле і світлодіодними лампами в якості джерела світла, (кВт·год)/рік;
- $W_{\text{шо}}$ — сумарне річне споживання електроенергії системою штучного освітлення, кВт·год;
- $W_{\text{шо.ар}}$ — сумарне річне споживання електроенергії системою штучного освітлення з астрономічним реле, (кВт·год)/рік;
- $W_{\text{шо.др}}$ — сумарне річне споживання електроенергії системою штучного освітлення з датчиками руху, (кВт·год)/рік;
- $W_{\text{шо.др.гл}}$ — сумарне річне споживання електроенергії системою штучного освітлення з датчиками руху і галогенними лампами в якості джерела світла, (кВт·год)/рік;
- $W_{\text{шо.др.клл}}$ — сумарне річне споживання електроенергії системою штучного освітлення з датчиками руху і компактними люмінесцентними лампами в якості джерела світла, (кВт·год)/рік;
- $W_{\text{шо.др.лр}}$ — сумарне річне споживання електроенергії системою штучного освітлення з датчиками руху і лампами розжарення в якості джерела світла, (кВт·год)/рік;
- $W_{\text{шо.др.сдл}}$ — сумарне річне споживання електроенергії системою штучного освітлення з датчиками руху і світлодіодними лампами в якості джерела світла, (кВт·год)/рік;
- $z_{\text{оп}}$ — тривалість опалювального періоду для житлових приміщень, діб
- $АПО_{300}$ — автономність природного освітлення, для освітленості 300 лк;
- $апо_{300}$ — питома автономність природного освітлення, для освітленості 300 лк;
- $АПО_{500}$ — автономність природного освітлення, для освітленості 500 лк;
- $апо_{500}$ — питома автономність природного освітлення, для освітленості 500 лк.

ІНДЕКСИ

З.СР	— середнє значення для зовнішнього повітря;
В	— всередині;
В.ПР.VII	— вертикальна поверхня, пряма сонячна радіація, в липні;
В.РОЗ.VII	— вертикальна поверхня, розсіяна сонячна радіація, в липні;
ВЛ.ДС	— джерела світла, які вийшли з ладу;
ГЛ	— галогенна лампа;
ГС _n	— <i>n</i> -на глуха секція;
ДР	— датчики руху
ДС	— джерела світла;
ЕЕ	— електроенергія;
ЕК	— експлуатація
З	— зовні;
ЗП	— запінення;
ЗС	— засклення;
ЗС.П	— засклення приміщення;
ІМ _г	— імпорт глухої секції;
ІМ _р	— імпорт рухомої секції;
КЛЛ	— компактна люмінесцентна лампа;
ЛР	— лампа розжарення;
ОП	— опалювальний період;
ОХ.П	— охолоджувальний період;
П	— приміщення;
П	— поверхи в будинку;
П	— початкове значення;
ПРОФ	— профіль;
Р	— річна тривалість;
Р.М	— рух мешканців;
РП	— робоча поверхня;

РС i	– i -та рухома секція;
РТ	– розрахункова точка;
СДЛ	– світлодіодна лампа;
СЗОК	– світлопрозора зовнішня огорожувальна конструкція;
СТ	– ступка;
Ч.О	– чергове опалення;
Ш.ДР	– система штучного освітлення з датчиками руху;
Ш.ДС	– джерела світла системи штучного освітлення;
ШО	– система штучного освітлення;
ШО.АР.ГЛ	– штучне освітлення з астрономічним реле та галогенними лампами в якості джерел світла;
ШО.АР.КЛЛ	– штучне освітлення з астрономічним реле та компактними люмінесцентними лампами в якості джерел світла;
ШО.АР.ЛР	– штучне освітлення з астрономічним реле та лампами розжарення в якості джерел світла;
ШО.АР.СДЛ	– штучне освітлення з астрономічним реле та світлодіодними лампами в якості джерел світла;
ШО.ДР.ГЛ	– система штучного освітлення з датчиками руху і галогенними лампами в якості джерел світла;
ШО.ДР.КЛЛ	– система штучного освітлення з датчиками руху і компактними люмінесцентними лампами в якості джерел світла;
ШО.ДР.ЛР	– система штучного освітлення з датчиками руху і лампами розжарення в якості джерел світла;
ШО.ДР.СДЛ	– система штучного освітлення з датчиками руху і світлодіодними лампами в якості джерел світла.

ВСТУП

Актуальність теми. 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. Одним з очевидних варіантів з вирішення даної проблеми є використання суміщеного освітлення, яке дозволить зменшити споживання електроенергії на штучне освітлення за рахунок використання денного світла. Найпоширенішим способом для використання денного світла є система бокового природного освітлення. Проте світлопрозорі зовнішні огорожувальні конструкції (СЗОК), які пропускають денне світло в приміщення, також мають і негативний вплив на сумарний енергетичний баланс приміщення. Це характеризується надлишковими надходженнями тепла протягом охолоджувального періоду, додатковими втратами тепла протягом опалювального періоду. Також є і додатковий позитивний вплив у вигляді надходжень сонячного теплового випромінювання через засклення СЗОК протягом опалювального періоду.

На даний час проектування бокового природного освітлення полягає в виконанні вимог нормативних документів, щодо забезпечення заданої величини коефіцієнту природного освітлення (КПО) в розрахунковій точці. Але енергоефективність його не розглядається та нормується лише величиною термічного опору, який є лише одним з аспектів, які впливають на енергетичний баланс приміщення.

Питаннями підвищення енергоефективності використання природного та штучного освітлення, розроблення методів визначення оптимальних параметрів розміщення СЗОК, дослідження теплотехнічних та світлотехнічних характеристик системи природного освітлення офісних приміщень, займалися такі вчені як: Гвоздев С.М., Черненко ПО., Айзенберг Ю.Б., Коржнева Т.Г., Гликман М.Т., Гордица Д.Д., Гусев Н.М., Киреев Н.Н., Єгорченков В.О., Сергійчук О.В., Бахарев Д.В., Скать Д.Д., Соловьєв А.К., Мартинов В.Л., Колесник Є.С., Сопільняк А.М., Shin J.Y., Oakley G., Kittler R., Manning P., Altan H., Neufert E., Sulaiman F., Reinhart C. F., Williamson J. L., Ochoa C. E., Mason M., Muhaisen A. S., Zekraoui

D., Bülow-Hübe H., Melendo J. M. A., Al-Ashwal N. T. та ін. Незважаючи на це, низка питань так і залишилася не до кінця вирішеною, а саме: процес формування основних параметрів енергоефективності суміщеного освітлення; розроблення системного підходу щодо визначення енергоефективності суміщеного освітлення офісних приміщень; встановлення впливу розмірів та пропорцій СЗОК, а також ширини її непрозорих елементів, таких як запінення та профіль на відносну площу застосування; визначення величини цих параметрів, при яких буде забезпечено максимальну енергоефективність СЗОК; визначення впливу геометричних параметрів робочої поверхні на величину КПО в розрахунковій точці; визначення величини КПО при якій буде забезпечено максимальну енергоефективність суміщеного освітлення; врахування одночасного впливу таких факторів, як орієнтація СЗОК, надходження теплової енергії від сонячної радіації під час опалювального та охолоджувального періодів, коефіцієнт відносного проникнення сонячної радіації застосування СЗОК та їх тепловий опір; визначення енергетичної та економічної ефективності використання систем керування штучним освітленням для освітлення сходів, маршів та поверхових коридорів. Саме це і зумовило **актуальність** проведення робіт, спрямованих на: а) встановлення залежностей відносних та абсолютних площ застосування від загальної площі СЗОК найпоширеніших конфігурацій; б) визначення залежностей нормованої величини КПО від розмірів приміщення, його площі та пропорцій СЗОК; в) розроблення методики визначення площі однокімнатної СЗОК, при якій забезпечується нормована величина КПО, виходячи виключно з розмірів приміщення; г) визначення величини КПО при якій буде забезпечено максимальну ефективність використання бокового природного освітлення в офісних приміщеннях; г) визначення залежності економії електроенергії на штучне освітлення від величини КПО та питомого споживання електроенергії штучним освітленням; д) розроблення методики для визначення параметрів СЗОК, при яких економія електроенергії на штучне освітлення буде більшою, а ніж її витрати на опалення та видалення тепла; е) проведення експериментальні дослідження інтенсивності руху мешканців 9-ти поверхових будинків через дверний проріз пер-

шого поверху для тригодинних проміжків часу з 7:00 до 22:00 і 9-ти годинного інтервалу з 22:00 до 07:00 протягом року. Отримані дані дозволяють розрахувати економію електроенергії за рахунок встановлення системи керування штучним освітленням за допомогою астрономічного реле та датчиків руху.

Зв'язок із науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота є наслідком досліджень, які проводилися за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення з використанням ресурсів Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя і є складовою частиною науково – дослідної теми: «Підвищення енергоефективності суміщеного освітлення будівель з врахуванням енергетичного балансу приміщень» (0119U001321).

Роль автора у виконанні вказаних робіт полягає в розробленні системного підходу щодо визначення енергоефективності використання суміщеного освітлення офісних приміщень з врахуванням впливу основних факторів витрат електроенергії протягом року, визначенні зміни споживання електроенергії при використанні систем керування штучним освітленням багатоквартирних житлових будинків, визначенні напрямків теоретичних, експериментальних і прикладних досліджень, особистій участі в постановці та вирішенні поставлених задач, обробці та узагальненні результатів досліджень.

Мета й задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є підвищення енергоефективності системи суміщеного освітлення будівель з врахуванням сумарного енергетичного балансу приміщень. Для досягнення вказаної мети в роботі необхідно було вирішити наступні задачі:

1. Провести аналіз тенденцій сучасних досліджень щодо енергоефективності використання суміщеного природного освітлення приміщень.
2. Встановити математичні залежності відносних площ засклення, завінення та профілю від площі СЗОК.
3. Провести дослідження впливу геометричних параметрів робочої поверхні на величину КПО в розрахунковій точці.
4. Розробити методики для визначення площі СЗОК, при якій забезпечується

необхідна величина КПО.

5. Встановити значення КПО, при яких забезпечується максимальна ефективності використання природного освітлення.

6. Провести дослідження енергоефективності використання системи суміщеного освітлення офісних приміщень.

7. Визначити сумарний вплив світлотехнічних та теплотехнічних параметрів СЗОК на сумарний енергетичний баланс офісного приміщення при використанні суміщеного освітлення.

8. Визначити енергетичну та економічну ефективність використання систем керування штучним освітленням для сходових кліток.

Об'єкт дослідження – процес формування основних параметрів енергоефективного суміщеного освітлення приміщень.

Предмет дослідження – світлотехнічні та теплотехнічні параметри системи суміщеного освітлення та системи керування штучним освітленням.

Методи дослідження. Поставлені задачі вирішувались на основі:

а) теоретичних досліджень розподілу КПО по умовній робочій поверхні; б) використання програм *Advanced Grafer*, *Relux*, *Origin Pro* та електронного редактора таблиць і діаграм *Microsoft Excel* для визначення залежності величини КПО від розмірів робочої поверхні, площі СЗОК та розміщення розрахункової точки; в) планування експериментальних робіт та оброблення отриманих результатів з використанням методів математичної статистики.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в науковому обґрунтуванні та вирішенні важливої наукової задачі підвищення енергоефективності суміщеного освітлення на основі одночасного врахування множини факторів, які суттєво впливають на його якісні та кількісні параметри в процесі експлуатації. При цьому одержано наступні наукові результати:

1. Отримано аналітичні вирази для визначення відносних і абсолютних значень площ застління, профілю та завішення СЗОК прямокутної форми з будь-

якою наперед заданою відносною шириною СЗОК, що дає можливість визначити оптимальні, з точки зору засклення, їх розміри.

2. Уперше отримано математичний вираз для зведеного індексу засклення приміщення, що дає можливість визначати площу СЗОК, при якій забезпечується нормоване значення КПО, без прив'язки до певних розмірів приміщення. Даний вираз враховує площу засклення СЗОК, площу робочої поверхні та глибину і ширину приміщення. Розроблено алгоритм розрахунку площі СЗОК для забезпечення нормованого значення КПО в незатінених приміщеннях довільних розмірів. Даний алгоритм дозволяє визначати площу односекційних СЗОК, при якій забезпечується нормоване значення КПО в розрахунковій точці і, відповідно, на всій робочій поверхні.

3. Розроблено методику для визначення площі СЗОК, при якій забезпечується необхідна величина КПО.

4. Доведено, що при зміні розмірів приміщення характер зміни КПО відносно пропорцій СЗОК не є синхронним. Як видно з отриманих результатів, на одних і тих же проміжках пропорцій при одних розмірах приміщення значення КПО зростає, тоді як при інших розмірах воно спадає.

5. Встановлено, що найбільша ефективність використання природного світла для освітлення приміщень, при нормованій освітленості 300 лк характерна для значень КПО в межах від 1,7% до 1,9%. Для значення 1,8% – вона максимальна при нормованій освітленості в 500 лк максимум ефективності використання СЗОК спостерігається при величині КПО від 2,6% до 3,0% з екстремумом при 2,8%.

6. Отримано вирази для визначення автономності природної освітленості, для нормованої величини освітленості в 300 лк, для приміщень різних розмірів з різною площею СЗОК.

7. Встановлено, що використання на сходах та поверхових коридорах датчиків руху призводить до суттєвого зменшення споживання електроенергії: при використанні ЛР – на 97,92%, ГЛ – на 97,73% КЛЛ – на 95,27%, СДЛ – 93,98%. В той час, як в залежності від енергоефективності джерел світла використання аст-

рономічного реле призводить до зниження споживання електроенергії на штучне освітлення на 49,41 – 50,58%.

Практичне значення одержаних результатів. Ґрунтуючись на результатах експериментальних досліджень, теоретичних узагальнень та розробок, вирішені проблеми, які мають важливе практичне значення:

1. Отримані результати дозволяють розраховувати мінімальну площу за-склення СЗОК для забезпечення нормованого значення КПО з стандартним відхиленням 0,894, спираючись виключно на розміри приміщення. Це є передумовою для використання отриманих результатів при розробці будівельних нормативних документів.

2. Отримано вирази для визначення автономності природного освітлення, для нормованих значень освітленості 300 лк та 500 лк, для приміщень різних розмірів з різною площею СЗОК. Це дає можливість визначати не тільки тривалість забезпечення нормованої освітленості в офісних приміщеннях, але й розраховувати енергоефективність використання бокового природного освітлення.

3. Отримано аналітичні вирази для визначення параметрів СЗОК, при яких виникає позитивний вплив на енергетичний баланс приміщення.

4. Проведено експериментальні дослідження інтенсивності руху мешканців 9-ти поверхових будинків через дверний проріз першого поверху для тригодинних проміжків часу з 7:00 до 22:00 і 9-ти годинного інтервалу з 22:00 до 07:00 протягом року. Отримані дані дозволяють визначати енергетичну та економічну ефективність використання системи керування штучним освітленням за допомогою датчиків руху.

Особистий внесок здобувача в отриманні наукових результатів.

У поданій роботі викладено основні результати досліджень, отримані автором самостійно. У роботах, виконаних у співавторстві, автору належить: у [142] – виведення основних математичних залежностей; у [151] – ідея, проведення експериментів в програмному середовищі, аналіз даних, виявлення основних математичних залежностей, розроблення методики для визначення мінімальної площі

СЗОК, при якій буде забезпечено необхідну величину КПО в РТ; у [180] – розробка методики визначення впливу теплотехнічних параметрів СЗОК на енергетичний баланс приміщення; у [200] – проведення експериментальних досліджень, формулювання закономірностей та розроблення методики оцінки енергоефективності використання системи керування штучним освітленням сходових кліток.

Апробація результатів дисертації. Основні положення та результати дисертаційної роботи оприлюднені та обговорені на: V Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», 17-18 листопада 2016 року, Тернопіль; XX науковій конференції ТНТУ ім. І. Пулюя, 17-18 травня 2017 року, Тернопіль; III Всеукраїнській науково-технічній конференції «Теоретичні та прикладні аспекти радіотехніки і приладобудування», 8-9 червня 2017 року, Тернопіль; 6th International Scientific Conference «Lighting and power engineering: history, problems and perspectives», 30 січня - 02 лютого 2018 року, Тернопіль; Міжнародній науково-технічній конференції «Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій», 22-24 травня 2018 року, Тернопіль; VII Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», 28-29 листопада 2018 року, Тернопіль; XXI науковій конференції Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, 16-17 травня 2019 року, Тернопіль; IV Міжнародній науково-технічній конференції «Теоретичні та прикладні аспекти радіотехніки, приладобудування і комп'ютерних технологій» присвячена 80-ти річчю з дня народження професора Я.І. Проця, 20-21 червня 2019 року, Тернопіль; International scientific and practical conference Technical sciences: history, the present time, the future, EU experience, September 27-28, Wloclawek, Republic of Poland; I Міжнародній науково-практичній конференції «Зелене будівництво», 12-13 листопада 2019 року, Київ; XIII Міжнародній науково-практичній конференції магістрів та аспірантів «Теоретичні та практичні дослідження молодих науковців» (19-22 листопада 2019 року), Харків; IV Всеукраїнської науково-практичної конференції «енергоефективність: наука, технології, застосування», 27 листопада

2019 року, Київ; VIII Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», 27-28 листопада 2019 року, Тернопіль; Міжнародної науково-технічної конференції «Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій» до 60-річчя з дня заснування Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя та 175-річчя з дня народження Івана Пулюя, 14-15 травня 2020 року, Тернопіль; Міжнародній науково-практичній конференції молодих науковців, аспірантів і здобувачів вищої освіти, 22 травня 2020 року, Рівне.

Публікації. Результати наукових досліджень викладені у 20 наукових працях, з яких 3 статі у фахових журналах, що входять до Переліку, затвердженому ВАК України (у тому числі 1 стаття у виданні, що входить до наукометричної бази Scopus), 2 у виданні іншої країни, що входить до наукометричної бази Scopus та 15 тез доповідей на міжнародних та всеукраїнських науково-технічних конференціях.

Структура і обсяг роботи. Дисертація складається із вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел із 220 найменувань на 23 сторінках. Загальний обсяг дисертації становить 190 сторінок, з них 128 основного тексту, 79 формул, 69 рисунків та 33 таблиці.

ВСТУП

Актуальність теми. 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. Одним з очевидних варіантів з вирішення даної проблеми є використання суміщеного освітлення, яке дозволить зменшити споживання електроенергії на штучне освітлення за рахунок використання денного світла. Найпоширенішим способом для використання денного світла є система бокового природного освітлення. Проте світлопрозорі зовнішні огорожувальні конструкції (СЗОК), які пропускають денне світло в приміщення, також мають і негативний вплив на сумарний енергетичний баланс приміщення. Це характеризується надлишковими надходженнями тепла протягом охолоджувального періоду, додатковими втратами тепла протягом опалювального періоду. Також є і додатковий позитивний вплив у вигляді надходжень сонячного теплового випромінювання через засклення СЗОК протягом опалювального періоду.

На даний час проектування бокового природного освітлення полягає в виконанні вимог нормативних документів, щодо забезпечення заданої величини коефіцієнту природного освітлення (КПО) в розрахунковій точці. Але енергоефективність його не розглядається та нормується лише величиною термічного опору, який є лише одним з аспектів, які впливають на енергетичний баланс приміщення.

Питаннями підвищення енергоефективності використання природного та штучного освітлення, розроблення методів визначення оптимальних параметрів розміщення СЗОК, дослідження теплотехнічних та світлотехнічних характеристик системи природного освітлення офісних приміщень, займалися такі вчені як: Гвоздев С.М., Черненко ПО., Айзенберг Ю.Б., Коржнева Т.Г., Гликман М.Т., Гордица Д.Д., Гусев Н.М., Киреев Н.Н., Єгорченков В.О., Сергійчук О.В., Бахарев Д.В., Скать Д.Д., Соловьєв А.К., Мартинов В.Л., Колесник Є.С., Сопільняк А.М., Shin J.Y., Oakley G., Kittler R., Manning P., Altan H., Neufert E., Sulaiman F., Reinhart C. F., Williamson J. L., Ochoa C. E., Mason M., Muhaisen A. S., Zekraoui

D., Bülow-Hübe H., Melendo J. M. A., Al-Ashwal N. T. та ін. Незважаючи на це, низка питань так і залишилася не до кінця вирішеною, а саме: процес формування основних параметрів енергоефективності суміщеного освітлення; розроблення системного підходу щодо визначення енергоефективності суміщеного освітлення офісних приміщень; встановлення впливу розмірів та пропорцій СЗОК, а також ширини її непрозорих елементів, таких як запінення та профіль на відносну площу застосування; визначення величини цих параметрів, при яких буде забезпечено максимальну енергоефективність СЗОК; визначення впливу геометричних параметрів робочої поверхні на величину КПО в розрахунковій точці; визначення величини КПО при якій буде забезпечено максимальну енергоефективність суміщеного освітлення; врахування одночасного впливу таких факторів, як орієнтація СЗОК, надходження теплової енергії від сонячної радіації під час опалювального та охолоджувального періодів, коефіцієнт відносного проникнення сонячної радіації застосування СЗОК та їх тепловий опір; визначення енергетичної та економічної ефективності використання систем керування штучним освітленням для освітлення сходів, маршів та поверхових коридорів. Саме це і зумовило **актуальність** проведення робіт, спрямованих на: а) встановлення залежностей відносних та абсолютних площ застосування від загальної площі СЗОК найпоширеніших конфігурацій; б) визначення залежностей нормованої величини КПО від розмірів приміщення, його площі та пропорцій СЗОК; в) розроблення методики визначення площі однокімнатної СЗОК, при якій забезпечується нормована величина КПО, виходячи виключно з розмірів приміщення; г) визначення величини КПО при якій буде забезпечено максимальну ефективність використання бокового природного освітлення в офісних приміщеннях; г) визначення залежності економії електроенергії на штучне освітлення від величини КПО та питомого споживання електроенергії штучним освітленням; д) розроблення методики для визначення параметрів СЗОК, при яких економія електроенергії на штучне освітлення буде більшою, а ніж її витрати на опалення та видалення тепла; е) проведення експериментальні дослідження інтенсивності руху мешканців 9-ти поверхових будинків через дверний проріз пер-

шого поверху для тригодинних проміжків часу з 7:00 до 22:00 і 9-ти годинного інтервалу з 22:00 до 07:00 протягом року. Отримані дані дозволяють розрахувати економію електроенергії за рахунок встановлення системи керування штучним освітленням за допомогою астрономічного реле та датчиків руху.

Зв'язок із науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота є наслідком досліджень, які проводилися за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення з використанням ресурсів Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя і є складовою частиною науково – дослідної теми: «Підвищення енергоефективності суміщеного освітлення будівель з врахуванням енергетичного балансу приміщень» (0119U001321).

Роль автора у виконанні вказаних робіт полягає в розробленні системного підходу щодо визначення енергоефективності використання суміщеного освітлення офісних приміщень з врахуванням впливу основних факторів витрат електроенергії протягом року, визначенні зміни споживання електроенергії при використанні систем керування штучним освітленням багатоквартирних житлових будинків, визначенні напрямків теоретичних, експериментальних і прикладних досліджень, особистій участі в постановці та вирішенні поставлених задач, обробці та узагальненні результатів досліджень.

Мета й задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є підвищення енергоефективності системи суміщеного освітлення будівель з врахуванням сумарного енергетичного балансу приміщень. Для досягнення вказаної мети в роботі необхідно було вирішити наступні задачі:

1. Провести аналіз тенденцій сучасних досліджень щодо енергоефективності використання суміщеного природного освітлення приміщень.
2. Встановити математичні залежності відносних площ застління, запінення та профілю від площі СЗОК.
3. Провести дослідження впливу геометричних параметрів робочої поверхні на величину КПО в розрахунковій точці.
4. Розробити методики для визначення площі СЗОК, при якій забезпечується

необхідна величина КПО.

5. Встановити значення КПО, при яких забезпечується максимальна ефективності використання природного освітлення.

6. Провести дослідження енергоефективності використання системи суміщеного освітлення офісних приміщень.

7. Визначити сумарний вплив світлотехнічних та теплотехнічних параметрів СЗОК на сумарний енергетичний баланс офісного приміщення при використанні суміщеного освітлення.

8. Визначити енергетичну та економічну ефективність використання систем керування штучним освітленням для сходових кліток.

Об'єкт дослідження – процес формування основних параметрів енергоефективного суміщеного освітлення приміщень.

Предмет дослідження – світлотехнічні та теплотехнічні параметри системи суміщеного освітлення та системи керування штучним освітленням.

Методи дослідження. Поставлені задачі вирішувались на основі:

а) теоретичних досліджень розподілу КПО по умовній робочій поверхні; б) використання програм *Advanced Grafer*, *Relux*, *Origin Pro* та електронного редактора таблиць і діаграм *Microsoft Excel* для визначення залежності величини КПО від розмірів робочої поверхні, площі СЗОК та розміщення розрахункової точки; в) планування експериментальних робіт та оброблення отриманих результатів з використанням методів математичної статистики.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в науковому обґрунтуванні та вирішенні важливої наукової задачі підвищення енергоефективності суміщеного освітлення на основі одночасного врахування множини факторів, які суттєво впливають на його якісні та кількісні параметри в процесі експлуатації. При цьому одержано наступні наукові результати:

1. Отримано аналітичні вирази для визначення відносних і абсолютних значень площ застелення, профілю та завішення СЗОК прямокутної форми з будь-

якою наперед заданою відносною шириною СЗОК, що дає можливість визначити оптимальні, з точки зору засклення, їх розміри.

2. Уперше отримано математичний вираз для зведеного індексу засклення приміщення, що дає можливість визначати площу СЗОК, при якій забезпечується нормоване значення КПО, без прив'язки до певних розмірів приміщення. Даний вираз враховує площу засклення СЗОК, площу робочої поверхні та глибину і ширину приміщення. Розроблено алгоритм розрахунку площі СЗОК для забезпечення нормованого значення КПО в незатінених приміщеннях довільних розмірів. Даний алгоритм дозволяє визначати площу односекційних СЗОК, при якій забезпечується нормоване значення КПО в розрахунковій точці і, відповідно, на всій робочій поверхні.

3. Розроблено методику для визначення площі СЗОК, при якій забезпечується необхідна величина КПО.

4. Доведено, що при зміні розмірів приміщення характер зміни КПО відносно пропорцій СЗОК не є синхронним. Як видно з отриманих результатів, на одних і тих же проміжках пропорцій при одних розмірах приміщення значення КПО зростає, тоді як при інших розмірах воно спадає.

5. Встановлено, що найбільша ефективність використання природного світла для освітлення приміщень, при нормованій освітленості 300 лк характерна для значень КПО в межах від 1,7% до 1,9%. Для значення 1,8% – вона максимальна при нормованій освітленості в 500 лк максимум ефективності використання СЗОК спостерігається при величині КПО від 2,6% до 3,0% з екстремумом при 2,8%.

6. Отримано вирази для визначення автономності природної освітленості, для нормованої величини освітленості в 300 лк, для приміщень різних розмірів з різною площею СЗОК.

7. Встановлено, що використання на сходах та поверхових коридорах датчиків руху призводить до суттєвого зменшення споживання електроенергії: при використанні ЛР – на 97,92%, ГЛ – на 97,73% КЛЛ – на 95,27%, СДЛ – 93,98%. В той час, як в залежності від енергоефективності джерел світла використання аст-

рономічного реле призводить до зниження споживання електроенергії на штучне освітлення на 49,41 – 50,58%.

Практичне значення одержаних результатів. Ґрунтуючись на результатах експериментальних досліджень, теоретичних узагальнень та розробок, вирішені проблеми, які мають важливе практичне значення:

1. Отримані результати дозволяють розраховувати мінімальну площу за-склення СЗОК для забезпечення нормованого значення КПО з стандартним відхиленням 0,894, спираючись виключно на розміри приміщення. Це є передумовою для використання отриманих результатів при розробці будівельних нормативних документів.

2. Отримано вирази для визначення автономності природного освітлення, для нормованих значень освітленості 300 лк та 500 лк, для приміщень різних розмірів з різною площею СЗОК. Це дає можливість визначати не тільки тривалість забезпечення нормованої освітленості в офісних приміщеннях, але й розраховувати енергоефективність використання бокового природного освітлення.

3. Отримано аналітичні вирази для визначення параметрів СЗОК, при яких виникає позитивний вплив на енергетичний баланс приміщення.

4. Проведено експериментальні дослідження інтенсивності руху мешканців 9-ти поверхових будинків через дверний проріз першого поверху для тригодинних проміжків часу з 7:00 до 22:00 і 9-ти годинного інтервалу з 22:00 до 07:00 протягом року. Отримані дані дозволяють визначати енергетичну та економічну ефективність використання системи керування штучним освітленням за допомогою датчиків руху.

Особистий внесок здобувача в отриманні наукових результатів.

У поданій роботі викладено основні результати досліджень, отримані автором самостійно. У роботах, виконаних у співавторстві, автору належить: у [142] – виведення основних математичних залежностей; у [151] – ідея, проведення експериментів в програмному середовищі, аналіз даних, виявлення основних математичних залежностей, розроблення методики для визначення мінімальної площі

СЗОК, при якій буде забезпечено необхідну величину КПО в РТ; у [180] – розробка методики визначення впливу теплотехнічних параметрів СЗОК на енергетичний баланс приміщення; у [200] – проведення експериментальних досліджень, формулювання закономірностей та розроблення методики оцінки енергоефективності використання системи керування штучним освітленням сходових кліток.

Апробація результатів дисертації. Основні положення та результати дисертаційної роботи оприлюднені та обговорені на: V Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», 17-18 листопада 2016 року, Тернопіль; XX науковій конференції ТНТУ ім. І. Пулюя, 17-18 травня 2017 року, Тернопіль; III Всеукраїнській науково-технічній конференції «Теоретичні та прикладні аспекти радіотехніки і приладобудування», 8-9 червня 2017 року, Тернопіль; 6th International Scientific Conference «Lighting and power engineering: history, problems and perspectives», 30 січня - 02 лютого 2018 року, Тернопіль; Міжнародній науково-технічній конференції «Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій», 22-24 травня 2018 року, Тернопіль; VII Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», 28-29 листопада 2018 року, Тернопіль; XXI науковій конференції Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, 16-17 травня 2019 року, Тернопіль; IV Міжнародній науково-технічній конференції «Теоретичні та прикладні аспекти радіотехніки, приладобудування і комп'ютерних технологій» присвячена 80-ти річчю з дня народження професора Я.І. Проця, 20-21 червня 2019 року, Тернопіль; International scientific and practical conference Technical sciences: history, the present time, the future, EU experience, September 27-28, Wloclawek, Republic of Poland; I Міжнародній науково-практичній конференції «Зелене будівництво», 12-13 листопада 2019 року, Київ; XIII Міжнародній науково-практичній конференції магістрів та аспірантів «Теоретичні та практичні дослідження молодих науковців» (19-22 листопада 2019 року), Харків; IV Всеукраїнської науково-практичної конференції «енергоефективність: наука, технології, застосування», 27 листопада

2019 року, Київ; VIII Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», 27-28 листопада 2019 року, Тернопіль; Міжнародної науково-технічної конференції «Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій» до 60-річчя з дня заснування Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя та 175-річчя з дня народження Івана Пулюя, 14-15 травня 2020 року, Тернопіль; Міжнародній науково-практичній конференції молодих науковців, аспірантів і здобувачів вищої освіти, 22 травня 2020 року, Рівне.

Публікації. Результати наукових досліджень викладені у 20 наукових працях, з яких 3 статі у фахових журналах, що входять до Переліку, затвердженому ВАК України (у тому числі 1 стаття у виданні, що входить до наукометричної бази Scopus), 2 у виданні іншої країни, що входить до наукометричної бази Scopus та 15 тез доповідей на міжнародних та всеукраїнських науково-технічних конференціях.

Структура і обсяг роботи. Дисертація складається із вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел із 220 найменувань на 23 сторінках. Загальний обсяг дисертації становить 190 сторінок, з них 128 основного тексту, 79 формул, 69 рисунків та 33 таблиці.

ВСТУП

Актуальність теми. 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. Одним з очевидних варіантів з вирішення даної проблеми є використання суміщеного освітлення, яке дозволить зменшити споживання електроенергії на штучне освітлення за рахунок використання денного світла. Найпоширенішим способом для використання денного світла є система бокового природного освітлення. Проте світлопрозорі зовнішні огорожувальні конструкції (СЗОК), які пропускають денне світло в приміщення, також мають і негативний вплив на сумарний енергетичний баланс приміщення. Це характеризується надлишковими надходженнями тепла протягом охолоджувального періоду, додатковими втратами тепла протягом опалювального періоду. Також є і додатковий позитивний вплив у вигляді надходжень сонячного теплового випромінювання через застосування СЗОК протягом опалювального періоду.

На даний час проектування бокового природного освітлення полягає в виконанні вимог нормативних документів, щодо забезпечення заданої величини коефіцієнту природного освітлення (КПО) в розрахунковій точці. Але енергоефективність його не розглядається та нормується лише величиною термічного опору, який є лише одним з аспектів, які впливають на енергетичний баланс приміщення.

Питаннями підвищення енергоефективності використання природного та штучного освітлення, розроблення методів визначення оптимальних параметрів розміщення СЗОК, дослідження теплотехнічних та світлотехнічних характеристик системи природного освітлення офісних приміщень, займалися такі вчені як: Гвоздев С.М., Черненко ПО., Айзенберг Ю.Б., Коржнева Т.Г., Гликман М.Т., Гордица Д.Д., Гусев Н.М., Киреев Н.Н., Єгорченков В.О., Сергійчук О.В., Бахарев Д.В., Скать Д.Д., Соловьєв А.К., Мартинов В.Л., Колесник Є.С., Сопільняк А.М., Shin J.Y., Oakley G., Kittler R., Manning P., Altan H., Neufert E., Sulaiman F., Reinhart C. F., Williamson J. L., Ochoa C. E., Mason M., Muhaisen A. S., Zekraoui

D., Bülow-Hübe H., Melendo J. M. A., Al-Ashwal N. T. та ін. Незважаючи на це, низка питань так і залишилася не до кінця вирішеною, а саме: процес формування основних параметрів енергоефективності суміщеного освітлення; розроблення системного підходу щодо визначення енергоефективності суміщеного освітлення офісних приміщень; встановлення впливу розмірів та пропорцій СЗОК, а також ширини її непрозорих елементів, таких як запінення та профіль на відносну площу засклення; визначення величини цих параметрів, при яких буде забезпечено максимальну енергоефективність СЗОК; визначення впливу геометричних параметрів робочої поверхні на величину КПО в розрахунковій точці; визначення величини КПО при якій буде забезпечено максимальну енергоефективності суміщеного освітлення; врахування одночасного впливу таких факторів, як орієнтація СЗОК, надходження теплової енергії від сонячної радіації під час опалювального та охолоджувального періодів, коефіцієнт відносного проникнення сонячної радіації засклення СЗОК та їх тепловий опір; визначення енергетичної та економічної ефективності використання систем керування штучним освітленням для освітлення сходів, маршів та поверхових коридорів. Саме це і зумовило **актуальність** проведення робіт, спрямованих на: а) встановлення залежностей відносних та абсолютних площ засклення від загальної площі СЗОК найпоширеніших конфігурацій; б) визначення залежностей нормованої величини КПО від розмірів приміщення, його площі та пропорцій СЗОК; в) розроблення методики визначення площі однокісній СЗОК, при якій забезпечується нормована величина КПО, виходячи виключно з розмірів приміщення; г) визначення величини КПО при якій буде забезпечено максимальну ефективність використання бокового природного освітлення в офісних приміщеннях; г) визначення залежності економії електроенергії на штучне освітлення від величини КПО та питомого споживання електроенергії штучним освітленням; д) розроблення методики для визначення параметрів СЗОК, при яких економія електроенергії на штучне освітлення буде більшою, а ніж її витрати на опалення та видалення тепла; е) проведення експериментальні дослідження інтенсивності руху мешканців 9-ти поверхових будинків через дверний проріз пер-

шого поверху для тригодинних проміжків часу з 7:00 до 22:00 і 9-ти годинного інтервалу з 22:00 до 07:00 протягом року. Отримані дані дозволяють розрахувати економію електроенергії за рахунок встановлення системи керування штучним освітленням за допомогою астрономічного реле та датчиків руху.

Зв'язок із науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота є наслідком досліджень, які проводилися за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення з використанням ресурсів Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя і є складовою частиною науково – дослідної теми: «Підвищення енергоефективності суміщеного освітлення будівель з врахуванням енергетичного балансу приміщень» (0119U001321).

Роль автора у виконанні вказаних робіт полягає в розробленні системного підходу щодо визначення енергоефективності використання суміщеного освітлення офісних приміщень з врахуванням впливу основних факторів витрат електроенергії протягом року, визначенні зміни споживання електроенергії при використанні систем керування штучним освітленням багатоквартирних житлових будинків, визначенні напрямків теоретичних, експериментальних і прикладних досліджень, особистій участі в постановці та вирішенні поставлених задач, обробці та узагальненні результатів досліджень.

Мета й задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є підвищення енергоефективності системи суміщеного освітлення будівель з врахуванням сумарного енергетичного балансу приміщень. Для досягнення вказаної мети в роботі необхідно було вирішити наступні задачі:

1. Провести аналіз тенденцій сучасних досліджень щодо енергоефективності використання суміщеного природного освітлення приміщень.
2. Встановити математичні залежності відносних площ застління, запінення та профілю від площі СЗОК.
3. Провести дослідження впливу геометричних параметрів робочої поверхні на величину КПО в розрахунковій точці.
4. Розробити методики для визначення площі СЗОК, при якій забезпечується

необхідна величина КПО.

5. Встановити значення КПО, при яких забезпечується максимальна ефективності використання природного освітлення.

6. Провести дослідження енергоефективності використання системи суміщеного освітлення офісних приміщень.

7. Визначити сумарний вплив світлотехнічних та теплотехнічних параметрів СЗОК на сумарний енергетичний баланс офісного приміщення при використанні суміщеного освітлення.

8. Визначити енергетичну та економічну ефективність використання систем керування штучним освітленням для сходових кліток.

Об'єкт дослідження – процес формування основних параметрів енергоефективного суміщеного освітлення приміщень.

Предмет дослідження – світлотехнічні та теплотехнічні параметри системи суміщеного освітлення та системи керування штучним освітленням.

Методи дослідження. Поставлені задачі вирішувались на основі:

а) теоретичних досліджень розподілу КПО по умовній робочій поверхні; б) використання програм *Advanced Grafer*, *Relux*, *Origin Pro* та електронного редактора таблиць і діаграм *Microsoft Excel* для визначення залежності величини КПО від розмірів робочої поверхні, площі СЗОК та розміщення розрахункової точки; в) планування експериментальних робіт та оброблення отриманих результатів з використанням методів математичної статистики.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в науковому обґрунтуванні та вирішенні важливої наукової задачі підвищення енергоефективності суміщеного освітлення на основі одночасного врахування множини факторів, які суттєво впливають на його якісні та кількісні параметри в процесі експлуатації. При цьому одержано наступні наукові результати:

1. Отримано аналітичні вирази для визначення відносних і абсолютних значень площ застління, профілю та запінення СЗОК прямокутної форми з будь-

якою наперед заданою відносною шириною СЗОК, що дає можливість визначити оптимальні, з точки зору засклення, їх розміри.

2. Уперше отримано математичний вираз для зведеного індексу засклення приміщення, що дає можливість визначати площу СЗОК, при якій забезпечується нормоване значення КПО, без прив'язки до певних розмірів приміщення. Даний вираз враховує площу засклення СЗОК, площу робочої поверхні та глибину і ширину приміщення. Розроблено алгоритм розрахунку площі СЗОК для забезпечення нормованого значення КПО в незатінених приміщеннях довільних розмірів. Даний алгоритм дозволяє визначати площу односекційних СЗОК, при якій забезпечується нормоване значення КПО в розрахунковій точці і, відповідно, на всій робочій поверхні.

3. Розроблено методику для визначення площі СЗОК, при якій забезпечується необхідна величина КПО.

4. Доведено, що при зміні розмірів приміщення характер зміни КПО відносно пропорцій СЗОК не є синхронним. Як видно з отриманих результатів, на одних і тих же проміжках пропорцій при одних розмірах приміщення значення КПО зростає, тоді як при інших розмірах воно спадає.

5. Встановлено, що найбільша ефективність використання природного світла для освітлення приміщень, при нормованій освітленості 300 лк характерна для значень КПО в межах від 1,7% до 1,9%. Для значення 1,8% – вона максимальна при нормованій освітленості в 500 лк максимум ефективності використання СЗОК спостерігається при величині КПО від 2,6% до 3,0% з екстремумом при 2,8%.

6. Отримано вирази для визначення автономності природної освітленості, для нормованої величини освітленості в 300 лк, для приміщень різних розмірів з різною площею СЗОК.

7. Встановлено, що використання на сходах та поверхових коридорах датчиків руху призводить до суттєвого зменшення споживання електроенергії: при використанні ЛР – на 97,92%, ГЛ – на 97,73% КЛЛ – на 95,27%, СДЛ – 93,98%. В той час, як в залежності від енергоефективності джерел світла використання аст-

рономічного реле призводить до зниження споживання електроенергії на штучне освітлення на 49,41 – 50,58%.

Практичне значення одержаних результатів. Ґрунтуючись на результатах експериментальних досліджень, теоретичних узагальнень та розробок, вирішені проблеми, які мають важливе практичне значення:

1. Отримані результати дозволяють розраховувати мінімальну площу за-склення СЗОК для забезпечення нормованого значення КПО з стандартним відхиленням 0,894, спираючись виключно на розміри приміщення. Це є передумовою для використання отриманих результатів при розробці будівельних нормативних документів.

2. Отримано вирази для визначення автономності природного освітлення, для нормованих значень освітленості 300 лк та 500 лк, для приміщень різних розмірів з різною площею СЗОК. Це дає можливість визначати не тільки тривалість забезпечення нормованої освітленості в офісних приміщеннях, але й розраховувати енергоефективність використання бокового природного освітлення.

3. Отримано аналітичні вирази для визначення параметрів СЗОК, при яких виникає позитивний вплив на енергетичний баланс приміщення.

4. Проведено експериментальні дослідження інтенсивності руху мешканців 9-ти поверхових будинків через дверний проріз першого поверху для тригодинних проміжків часу з 7:00 до 22:00 і 9-ти годинного інтервалу з 22:00 до 07:00 протягом року. Отримані дані дозволяють визначати енергетичну та економічну ефективність використання системи керування штучним освітленням за допомогою датчиків руху.

Особистий внесок здобувача в отриманні наукових результатів.

У поданій роботі викладено основні результати досліджень, отримані автором самостійно. У роботах, виконаних у співавторстві, автору належить: у [142] – виведення основних математичних залежностей; у [151] – ідея, проведення експериментів в програмному середовищі, аналіз даних, виявлення основних математичних залежностей, розроблення методики для визначення мінімальної площі

СЗОК, при якій буде забезпечено необхідну величину КПО в РТ; у [180] – розробка методики визначення впливу теплотехнічних параметрів СЗОК на енергетичний баланс приміщення; у [200] – проведення експериментальних досліджень, формулювання закономірностей та розроблення методики оцінки енергоефективності використання системи керування штучним освітленням сходових кліток.

Апробація результатів дисертації. Основні положення та результати дисертаційної роботи оприлюднені та обговорені на: V Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», 17-18 листопада 2016 року, Тернопіль; XX науковій конференції ТНТУ ім. І. Пулюя, 17-18 травня 2017 року, Тернопіль; III Всеукраїнській науково-технічній конференції «Теоретичні та прикладні аспекти радіотехніки і приладобудування», 8-9 червня 2017 року, Тернопіль; 6th International Scientific Conference «Lighting and power engineering: history, problems and perspectives», 30 січня - 02 лютого 2018 року, Тернопіль; Міжнародній науково-технічній конференції «Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій», 22-24 травня 2018 року, Тернопіль; VII Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», 28-29 листопада 2018 року, Тернопіль; XXI науковій конференції Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, 16-17 травня 2019 року, Тернопіль; IV Міжнародній науково-технічній конференції «Теоретичні та прикладні аспекти радіотехніки, приладобудування і комп'ютерних технологій» присвячена 80-ти річчю з дня народження професора Я.І. Проця, 20-21 червня 2019 року, Тернопіль; International scientific and practical conference Technical sciences: history, the present time, the future, EU experience, September 27-28, Wloclawek, Republic of Poland; I Міжнародній науково-практичній конференції «Зелене будівництво», 12-13 листопада 2019 року, Київ; XIII Міжнародній науково-практичній конференції магістрів та аспірантів «Теоретичні та практичні дослідження молодих науковців» (19-22 листопада 2019 року), Харків; IV Всеукраїнської науково-практичної конференції «енергоефективність: наука, технології, застосування», 27 листопада

2019 року, Київ; VIII Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», 27-28 листопада 2019 року, Тернопіль; Міжнародної науково-технічної конференції «Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій» до 60-річчя з дня заснування Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя та 175-річчя з дня народження Івана Пулюя, 14-15 травня 2020 року, Тернопіль; Міжнародній науково-практичній конференції молодих науковців, аспірантів і здобувачів вищої освіти, 22 травня 2020 року, Рівне.

Публікації. Результати наукових досліджень викладені у 20 наукових працях, з яких 3 статі у фахових журналах, що входять до Переліку, затвердженому ВАК України (у тому числі 1 стаття у виданні, що входить до наукометричної бази Scopus), 2 у виданні іншої країни, що входить до наукометричної бази Scopus та 15 тез доповідей на міжнародних та всеукраїнських науково-технічних конференціях.

Структура і обсяг роботи. Дисертація складається із вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел із 220 найменувань на 23 сторінках. Загальний обсяг дисертації становить 190 сторінок, з них 128 основного тексту, 79 формул, 69 рисунків та 33 таблиці.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ДОСЛІДЖЕНЬ ЩОДО ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМ СУМІЩЕНОГО ОСВІТЛЕННЯ

1.1. Стан проблеми енергозбереження в освітленні

За оцінкою Міжнародного енергетичного агентства на освітлення міст і населених пунктів витрачається близько 19% від всієї споживаної за рік електроенергії (ЕЕ) [1]., за даними Адміністрації енергетичної інформації США (АЕІ), у 2018 р., житловим та комерційним секторами було спожито близько 232 млрд. кВт·год. В Україні, за даними Держенергонагляду витрати ЕЕ на штучне освітлення в об'єднаній енергетичній системі України становлять близько 2,4 млн. кВт·год (10-12% від усього електроспоживання) [2]. При цьому реальною є можливість зниження споживання ЕЕ практично вдвічі без погіршення умов освітлення за рахунок вдосконалення засобів і способів освітлення, реконструкції діючих освітлювальних установок (ОУ) та організації їх ефектвної експлуатації [3].

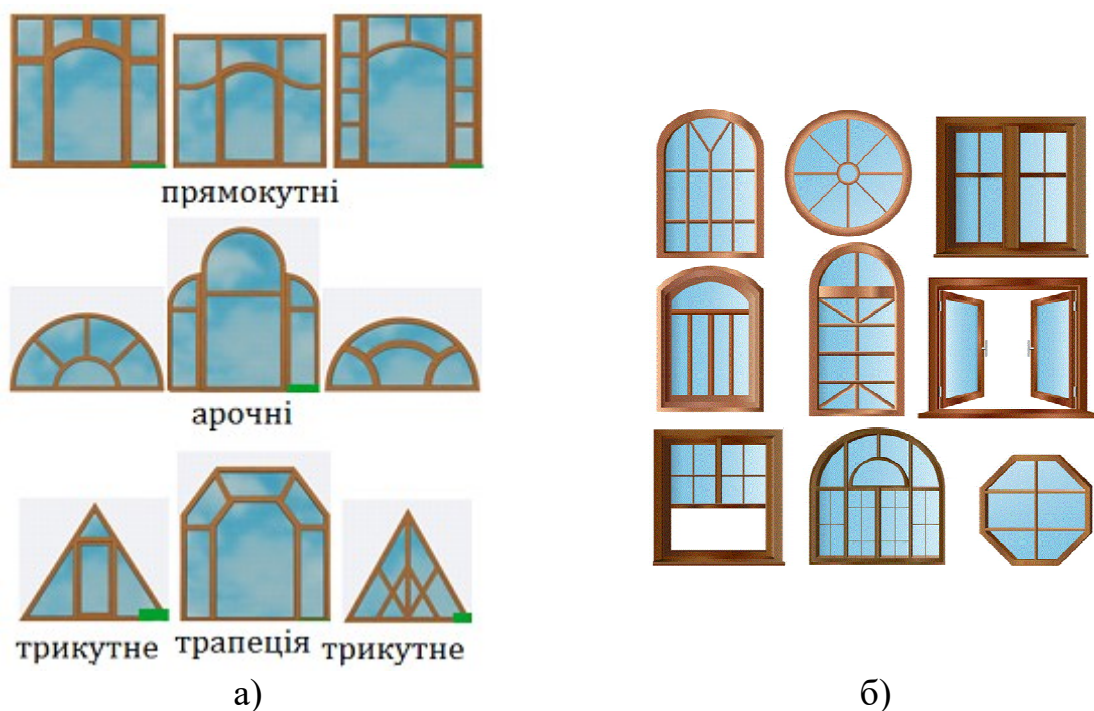


Рис. 1.1. Форми вікон: а) стандартних, б) нестандартних[4]

Рациональне використання природного світла – це один із способів економії ЕЕ на штучне освітлення. Основним джерелом природного освітлення приміщень є світлопрозорі зовнішні огорожувальні конструкції (СЗОК) – вікна різних форм (арочні, трикутні, круглі, трапецієподібні рис. 1.1, а) і видів (берлінське, віялове, венеціанське, панорамне, люкарна рис. 1.1, б).

Незважаючи на те, що сучасні матеріали дають можливість створювати СЗОК з високим термічним опором, вони поки що залишаються суттєвим джерелом втрат тепла (до 30%). Тому параметри СЗОК слід вибирати не тільки з урахуванням економії ЕЕ на штучне освітлення, але й скорочення тепловтрат через них зимою і надлишкових теплонадходжень літом. Баланс компонентів сумарних енергетичних витрат повинен дозволяти встановлювати для кожного конкретного випадку параметри СЗОК, при яких сумарне споживання ЕЕ буде мінімальним [5].

1.2. Конструктивні виконання систем природного освітлення

Природне освітлення може бути боковим (віконним) одностороннім або двостороннім, коли світлопрозорі отвори знаходяться в одній або двох зовнішніх огорожувальних конструкціях (ЗОК), верхнім коли світлові отвори (ліхтарі) знаходяться у верхньому перекритті будівлі і комбінованим, коли застосовується одночасно бокове і верхнє (рис. 1.2).

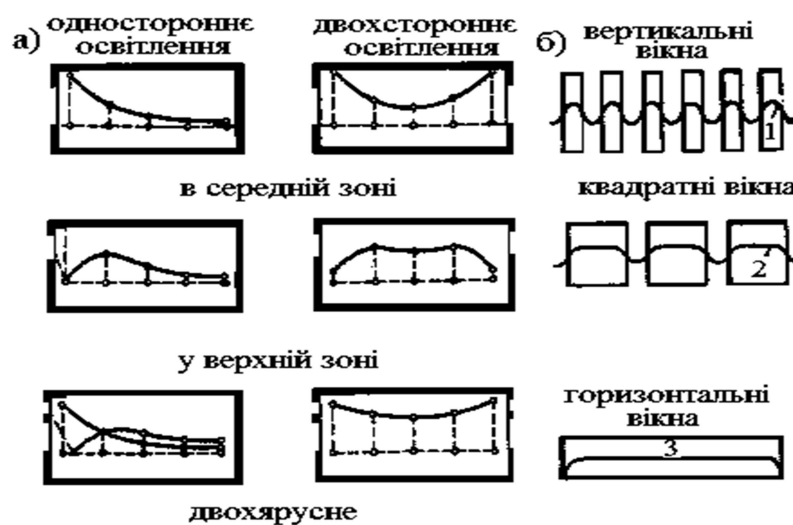


Рис. 1.2. Розподіл КПО в приміщенні від бокового освітлення для: а) різної кількості та розташування; б) різного типу СЗОК: 1 – велика нерівномірність освітлення; 2 – середня нерівномірність освітлення; 3 – рівномірне освітлення [6]

У зв'язку з тим, що інтенсивність бокового світла неоднорідно зменшується по мірі проникнення його вглибину приміщення, природне освітлення за допомогою дахових (зенітних) ліхтарів ефективніше бокового, тому що зенітний ліхтар освітлює робочу поверхню (РП) у 5 раз інтенсивніше, ніж СЗОК такої ж площі (рис. 1.3).



бокове, одностороннє



верхнє



комбіноване

Рис. 1.3. Види природного освітлення [7]

Розрізняють наступні типи зенітних ліхтарів: 1 – точкові у формі купола, які встановлюються над точковими отворами в покритті (рис. 1.3). Вони, як правило, мають невеликі розміри (площею від 1 м^2 до 9 м^2) і в плані можуть бути плоскими, квадратними, круглими та пірамідальними (рис.1.4). Ліхтарі складаються із «стакана», світлопрозорого заповнення і системи кріплення [8]. Освітленість на РП суттєво залежить від відбитого світла від стінок ліхтаря, що необхідно враховувати при розрахунках КПО; 2 – стрічкові з абочним або трикутним зводом встановлюються вздовж прольоту. Скління таких ліхтарів може бути одинарним, подвійним або потрійним в залежності від клімату місцевості.

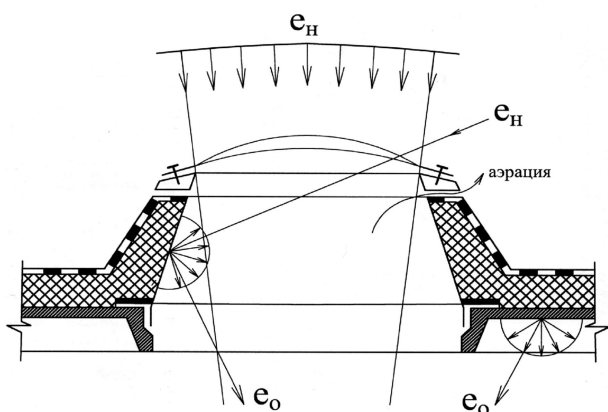


Рис. 1.3. Зенітні точкові ліхтарі (купола з відносно глибокими шахтами-склянками) [9, 10]

Нахил скління від 15° при ширині ліхтаря до 3 м і 30° при більшій їх ширині; 3 – глухі і такі, що відкриваються. Їх широко застосовують для освітлення: 1 – типових промислових споруд, для яких природного освітлення із вікон не достатньо навіть у випадку, якщо вікна будуть розташовані по всьому периметру будівлі; 2 – виставкових павільйонів, торгових залів, аеровокзалів, адміністративних споруд тощо. Недоліками зенітних ліхтарів є передавання тепла, що потребує певних витрат на обігрів приміщення взимку і на охолодження влітку.



Рис. 1.4. Зенітні стрічкові ліхтарі з трикутним і арочним зводом [12, 13]

Призматичні, або кутові, зенітні ліхтарі, на відміну від плоских, здатні не тільки пропускати, але й перенаправляти світло. Вони можуть бути виконані таким чином, що в літній час, коли сонце знаходиться високо над горизонтом, його промені будуть частково відбиватися, а в зимовий час, коли потреба в освітленні вища, промені сонця, розташованого низько над горизонтом, будуть проникати в приміщення. Це ж справедливо і для різних проміжків доби.

Світлові тунелі (рис. 1.5) використовуються для організації природного освітлення приміщень, до яких сонячне світло не потрапляє. Наприклад, внутрішніх приміщень офісів, спортивних залів шкіл, супермаркетів та підвалів. Світловий тунель складається із трьох частин: верхньої – куполу, що самоочищається і виключає можливість конденсації водяної пари, спеціальної труби із відбиваючим покриттям і дифузора. Світловий тунель може працювати за будь-якої погоди, вловлюючи як сонячне, так і місячне світло.



Рис. 1.5. Світловий тунель [7]

Світлопрозорі покрівлі (рис. 1.6) використовуються для освітлення торговельних і виставкових залів. Їх конструкція складається зі скла і сталі або алюмінію.



а) світлопрозора покрівля



б) світлова лінія

Рис. 1.6. Приклади верхнього природного освітлення [7, 13]

Світлоаераційні ліхтарі (рис. 1.7) це надбудови (прямокутні, у вигляді трапеції або М-подібні) на даху по осі прольотів будівлі. Світло у ліхтарі надходить через скляні стіни надбудови і потім розподіляється по приміщенню. Вони застосовуються в одноповерхових промислових приміщеннях та в багатоповерхових виробничих будівлях для освітлення середніх прольотів верхнього поверху, а також в громадських приміщеннях зального типу (школи, бібліотеки, торгові павільйони, спортивні зали, виставкові павільйони, вокзали та ін.). За необхідності, такі ліхтарі можна використовувати для організації природної вентиляції (рис. 1.7) – скляні стулки ліхтарів автоматично відкриваються, і свіже повітря надходить в приміщення.

Завдяки двосторонньому вертикальному розташуванню скління забезпечується задовільне співвідношення між освітленням на вертикальній і горизонтальній поверхнях [14].



Рис. 1.7. Зенітні точкові купола з системами дистанційного відкриття для аерації [15]

Для зменшення інсоляції приміщень (у виробничих приміщеннях інсоляція протипоказана) скління ліхтарів орієнтують на північ-південь. При цьому південне скління рекомендується обладнувати сонцезахисними пристроями. Цей тип систем природного освітлення застосовується в основному для виробництв з підвищеною вологістю і значним виділенням тепла. Використання таких ліхтарів для аерації призводить до швидкого забруднення засклення ліхтарів тому, що частинки пилу в суміші з вологою та іншими забруднюючими технологічними виділеннями підхоплюються потоками повітря і осідають на склі. Тому функції освітлення і аерації в таких ліхтарях слід розділяти.

Вертикальний зенітний ліхтар (рис. 1.8) забезпечує освітлення приміщень за рахунок проникнення сонячних променів через вертикальне скління на даху з наступним багатократним відбиванням від внутрішніх огорожувальних конструкцій.

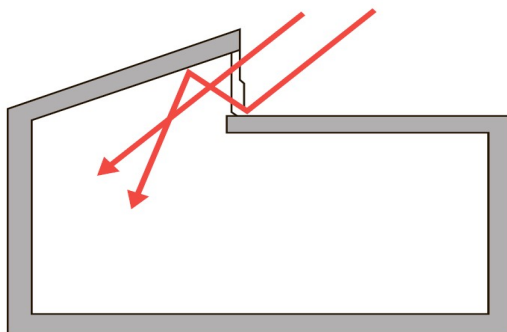


Рис. 1.8. Вертикальний зенітний ліхтар[16]

Шедові ліхтарі (рис. 1.9) є частиною покриття будівлі та можуть виконуватися як в залізобетонних, так і в металевих конструкціях. Такі системи найбільш доцільні для цехів текстильної промисловості, де об'єкти зорової роботи розташовані не тільки у вертикальній, але й в горизонтальній площинах.

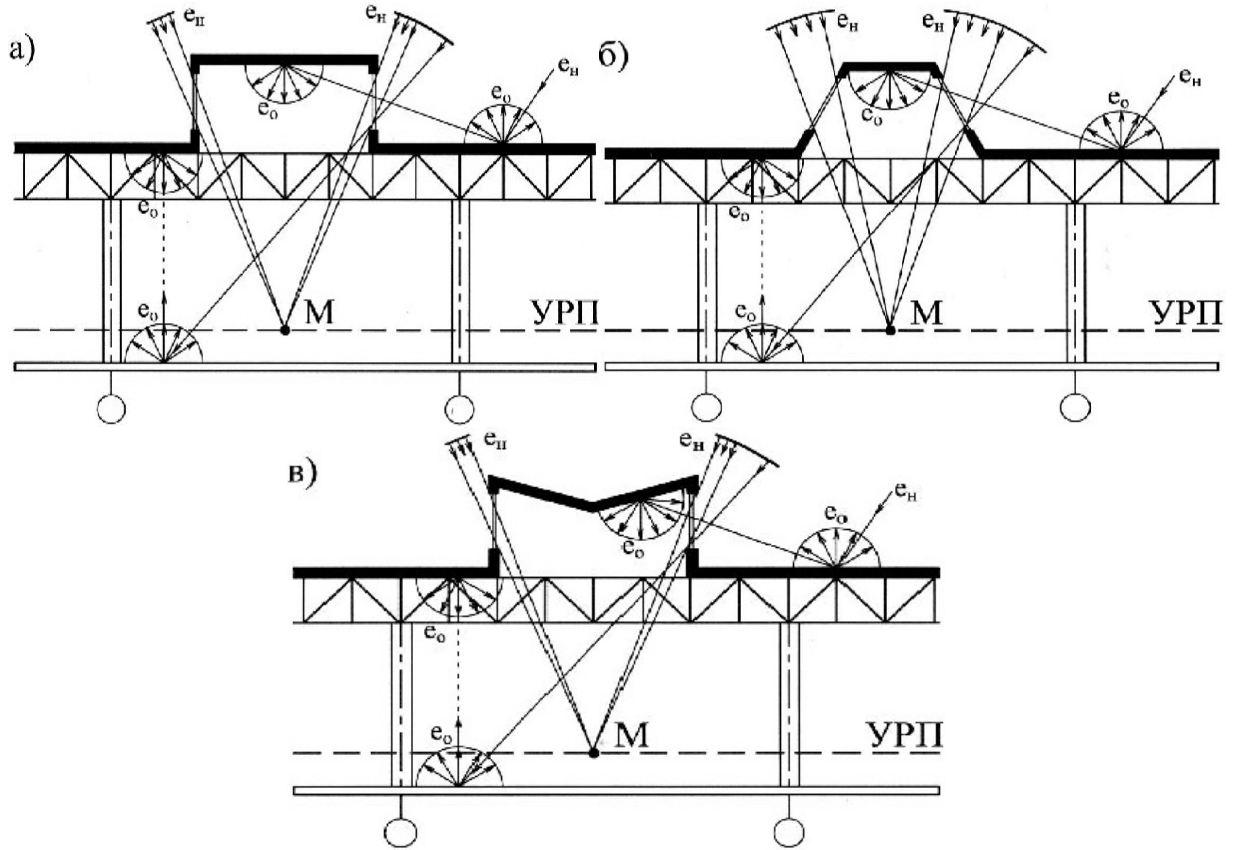


Рис. 1.9. Ліхтарі-надбудови:

а) П-подібні; б) трапецієподібні; в) М-подібні [6]

За характером світлорозподілу приймачі природного освітлення поділяються на три види (див. рис. 1.10). Перший вид (рис. 1.10, а) характеризується чітко вираженою спрямованістю світлового потоку, який чітко виділяє форми розглянутої деталі завдяки утворенням власної та падаючої тіней.

Світлові прорізи другого виду (рис. 1.10, б) створюють в приміщеннях так зване безтіньове освітлення завдяки двосторонньому або багатосторонньому освітленню об'єктів інтер'єру або застосуванні в світлопропускаючих отворах світлорозсіюючих матеріалів (скла, плівки, решітки).

Для третього виду природного освітлення (рис. 1.10, в) характерно використання відбитого світла, яке створюється прихованими від спостерігача СЗОК;

цей прийом освітлення створює ілюзію відкритого простору і візуально збільшує розміри приміщення [17].

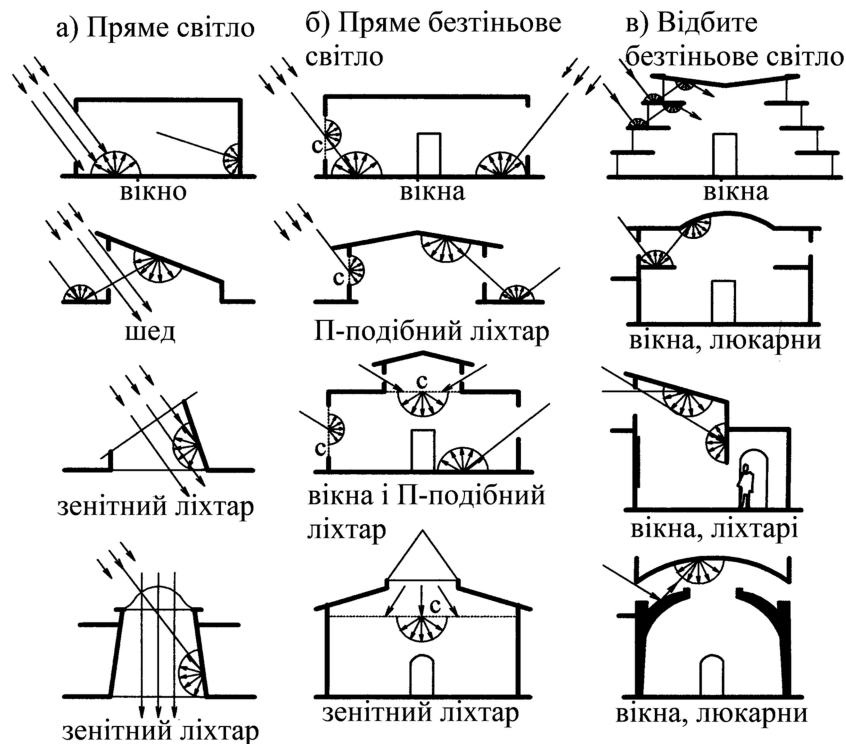


Рис. 1.10. Класифікація приймачів природного освітлення за характером світлорозподілу [6]

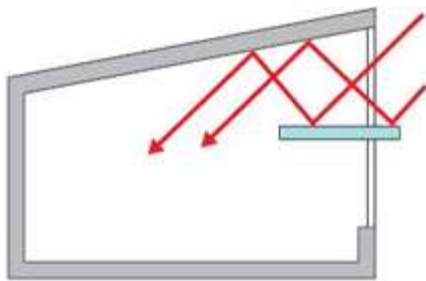
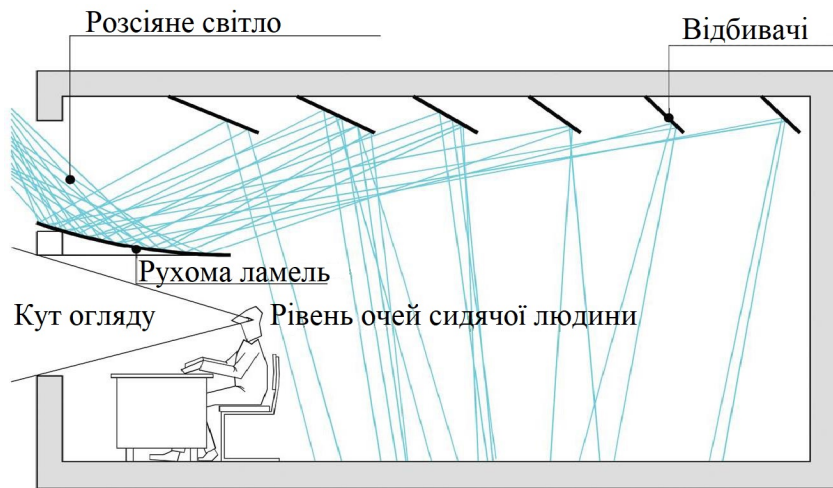


Рис. 1.11. Світлова полиця [16]

Світлова полиця (рис. 1.11) є горизонтальним відбивачем, який змінює напрямок сонячних променів. Світло проникає в приміщення не безпосередньо, а зигзагоподібно, спочатку відбиваючись від полиці, а потім від стелі, що призводить до більш рівномірного освітлення приміщення. Основною перевагою цього рішення є забезпечення теплового комфорту, який особливо відчувається у літню пору.

Основною перевагою цього рішення є забезпечення теплового комфорту, який особливо відчувається у літню пору.

Подібно до світлової полиці працює і рефлекторна, геліостатна та шахтна системи денного освітлення (рис. 1.12, 1.13). Рефлектор встановлюється на фасаді будинку і направляє розсіяне денне світло від затягнутого хмарами неба через перенаправляючий елемент в кімнату, де це випромінювання рівномірно розподіляється по стелі. Якщо небо ясне перенаправляючий елемент захищає внутрішній простір від яскравого світла і теплового випромінювання, дозволяючи деякій частині проникати в середину приміщення.

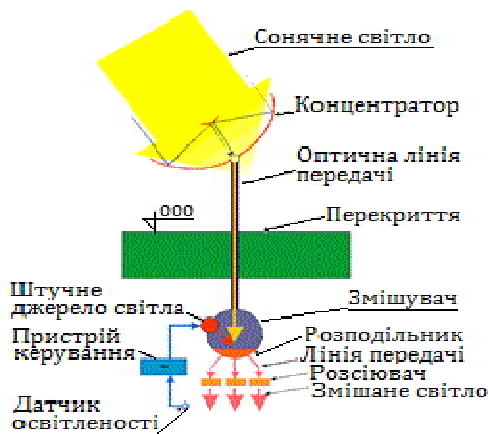


а)

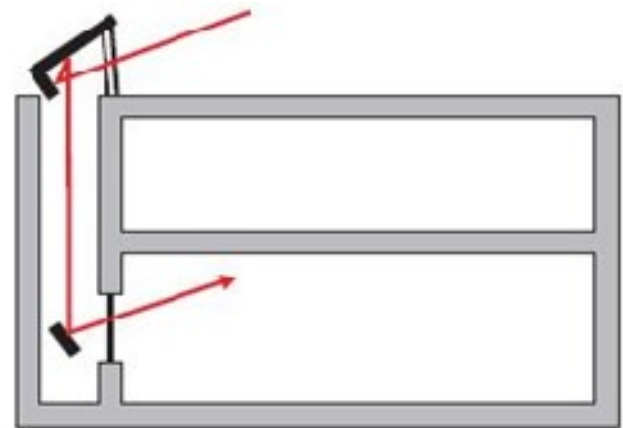


б)

Рис. 1.12. Рефлекторна система денного освітлення: а – схема ходу променів; б – вигляд розташування рефлекторів на фасаді будинку [18]



а)



б)

Рис. 1.13. Світлові колодязі для перенаправлення денного світла в приміщення: а) по вертикалі; б) геліостатний [16]

Світловий колодязь каналного типу (рис. 1.13,б) може передавати денне світло в найбільш віддалені ділянки будівлі, виключаючи при цьому надлишкове надходження тепла. Геліостатний світловий колодязь (рис. 1.13,а) відрізняється більш складною конструкцією. Денне світло потрапляє у приміщення завдяки геліостатам. Ці пристрої дозволяють збирати сонячне світло на дзеркалах або лінзах, розташованих в трубі, яка перенаправляє світло до необхідного приміщення. Як правило, внутрішня сторона труби покрита лінзами повного внутрішнього відбивання, що дозволяє транспортувати світло з мінімальними втратами.

Світлова автоматизована лапалка Sundolier (рис. 1.14) встановлюється на даху будівлі. Вона може захопити і передати в будинок по системі трубопроводів кількість світла, достатню для освітлення 760 м^2 площі всередині будівлі. Завдяки системі фотодатчиків вловлююче дзеркало завжди націлене на Сонце. Система рухомих дзеркал передає сонячне світло по трубопроводах діаметром 60 см. Потік світла можна розділити на декілька частин і направити за призначенням.



Рис. 1.14. Світлова автоматизована лапалка Sundolier [19]

1.2.1. Системи суміщеного освітлення

Проблема суміщення природного та штучного освітлення – одна з важливих проблем сучасної світлотехніки. В існуючих ОУ, зазвичай, одноповерхових будівлях широко використовуються дві самостійні системи – ліхтарі верхнього світла і система загального рівномірного штучного освітлення. Спроби подолати недоліки таких ОУ проводились неодноразово. Одна з робіт у цьому напрямку американських дослідників R. Leslie і J. Brons, була виконана в Rensselaers Politechnik Istitute, Troy. Ця робота базується на поєднанні ліхтарів верхнього

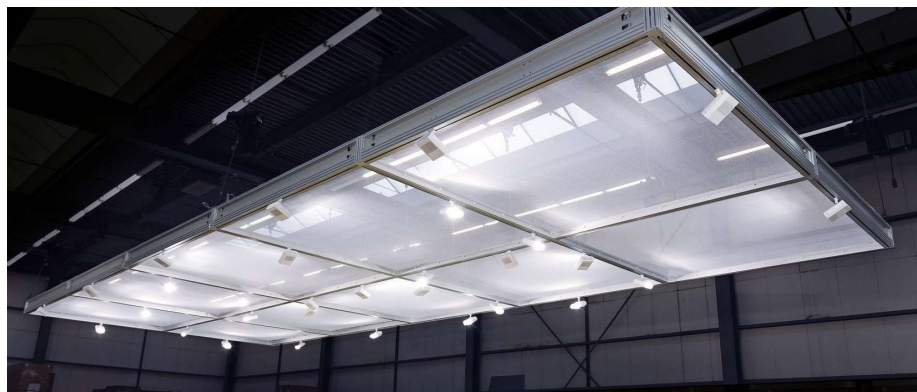


Рис. 1.15. Поєднання ліхтарів верхнього світла і світильників з ЛЛ [22]

світла і світильників з люмінесцентними лампами, встановлених по їх периметру знизу (рис. 1.15).

Спроби кардинального вирішення проблеми введення сонячного світла в приміщення були виконані із застосуванням геліостатів і порожнистих протяжних світловодів. Перша з таких реалізацій була здійснена в будівлі Institute of Technology університету Міннесоти (США) архітектором Devid Bennet і фірмами 3M і TIR Systems, а друга (тими ж фірмами за участю Lawrence Berkeley Laboratory) – у Market Lane Elementary School в Торонто ще в 90-х. Однак у цих установках світлопроводи використовувалися для передачі і розподілу сонячного світла, а штучне освітлення було забезпечено традиційними методами (рис. 1.16).



а)



б)

Рис. 1.16. Системи природного освітлення: а) – вигляд геліостата; б) – вигляд світловода [19]

1.2.2. Оптиковолоконні системи природного освітлення

Суть рішення у тому, що сонячне світло подається всередину приміщень спеціальними оптичними волокнами. Оптична система складається з лінз Френеля, які обертаються навколо своєї осі і рухаються за сонцем протягом дня так, щоб вловлювати світло максимально тривалий час. Одного приладу вистачає на освітлення кімнати площею до 40 м^2 . Можна використати оптиковолоконні кабелі-світловоди не тільки торцевого, але й бокового світіння [21].

Канадська компанія SunCentral, запропонувала оригінальну систему «штучного природного освітлення» на основі дзеркал, які приводяться в дію невеликими приводами (рис. 1.17). Рухливі дзеркала в наборі з'єднанні між собою струнами, що синхронно зміщуються силою всього декількох невеликих приводів.

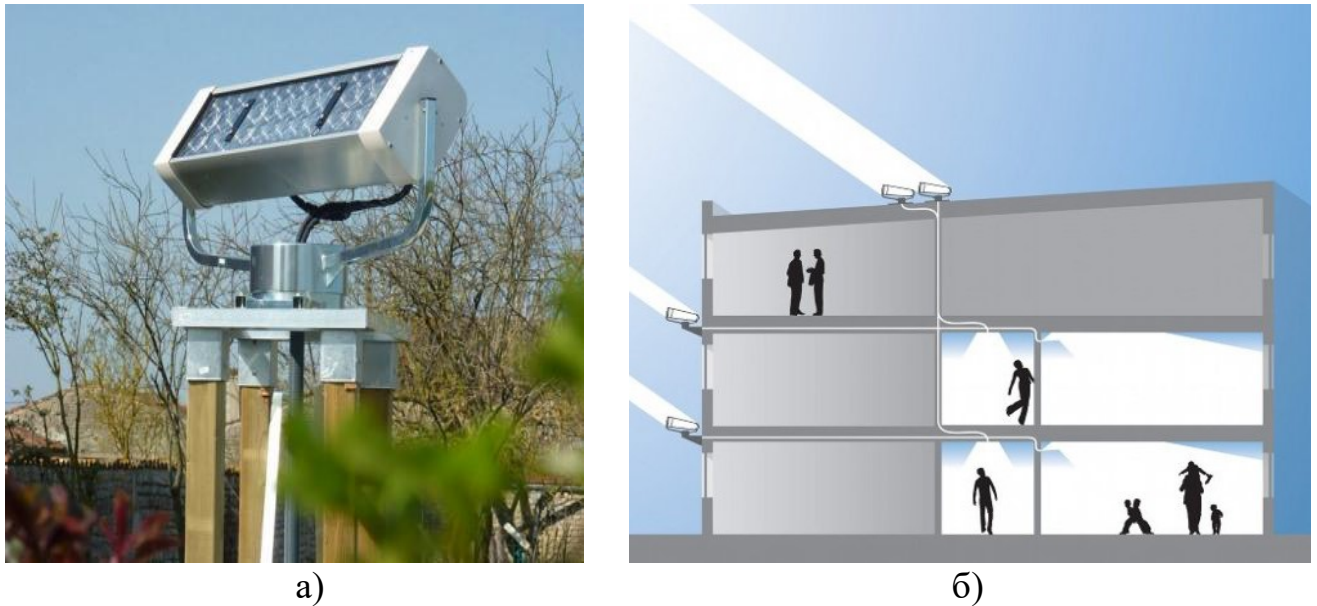


Рис. 1.17. Оптиковолоконна система природного освітлення приміщень: а – оптична система; б – кімната освітлена за допомогою оптиковолоконної установки [21]

Для концентрації світового потоку використовуються додаткові дзеркала, які направляють світло на дві пари параболічних дзеркал. Вони концентрують світловий потік і направляють його в світловий короб, вкритий зсередини дзеркальною плівкою. Нижня частина короба оснащена тонким призматичним розсіювачем, який ефективно перенаправляє світлові промені по коробу вниз, до кімнати (рис. 1.17). За інформацією компанії, система здатна доставляти сонячне світло на відстань більше 20 метрів від зовнішньої стіни будівлі без істотного зменшення світлового потоку.

1.3. Аналіз ефективності використання природного освітлення для офісних приміщень

Найбільший розвиток наукових досліджень в області розробки та вдосконалення методик розрахунку та проектування освітлення приміщень будівель

припав на 50-80 рр. минулого століття і продовжується до теперішнього часу. Питаннями розроблення, вдосконалення і впровадження в практику методів розрахунку та проектування природного освітлення будинків займалися такі вчені як: Д. В. Бахарєв [23-25], О.О. Гершун [26], М.Т. Глікман [27-29], О. Л. Підгорний [30-32] Д.Д. Гордіца [33, 34], М.М. Гуссєв та М.М. Кіриєв [35-38], В.О. Єгорчєнков [39], В.Л. Земцов [40], Г.В. Казаков [41], R. Kittler [42], P. Manning [43], Е. Нойфєрт [44, 45] Є.В. Пугачов [46, 47], О.В. Сергєйчук [48, 49], Д.Д. Скать [50], І. Н. Скриль [51], О.К. Соловйов [52, 53], В.М. Сорокін [54] та ін., а також монографії – В.О. Єгорчєнков, Р.І. Кінаш, А.М. Югов і М.Б. Яців [55], Т. А. Галінська [56-60], колектив авторів під керівництвом Ю.Б. Айзенберга [3, 9, 61], колектив авторів під керівництвом О.Л. Підгорного [62].

СЗОК повинні мати площу не менше $1/8$ площі підлоги приміщення[20]. При великих вікнах інтер'єри кімнат будуть світлими, а зовнішній вигляд будинку сучасним і привітним. У той же час, ця особливість збільшує теплові втрати через СЗОК взимку. Тому максимальний їх розмір бажано приймати – не більше $2/3$ площі підлоги [20].

Площу СЗОК також можна визначити виходячи з рекомендованих співвідношень між їх площею і площею підлоги [63]. Наприклад, для цивільних будівель в кліматичних умовах середньої смуги на висоті, не вище 800 м над рівнем моря, при невеликому затіненні будівлями розташованими навпроти співвідношення площі засклення до площі підлоги наведено в табл. 1.1.

Таблиця 1.1

Рекомендовані значення світлового коефіцієнту (СК) [63]

№	Тип приміщення	СК	№	Тип приміщення	СК
1	Житлові кімнати	1/8-1/6	9	Адміністративні приміщення	1/10-1/6
2	Кухні і коридори	1/10-1/8	10	Спортивні гімнастичні зали	1/6-1/5
3	Сходові клітини	1/14-1/10	11	Тренажерні зали	1/5-1/4
4	Класи і аудиторії	1/4-1/3	12	Медичні кабінети	1/7-1/5
5	Гральні і столові кімнати в дитячих садах	1/4-1/3	13	Лікарняні палати	1/7-1/6
6	Готельні номери	1/8-1/6	14	Ресторанні зали	1/8-1/6
7	Читальні зали бібліотек	1/6-1/5	15	Торговельні зали магазинів	1/8-1/6
8	Кабінети і лабораторії НДІ	1/7-1/5	16		

Однак, це не єдині орієнтири для проведення розрахунків розмірів СЗОК. Є й інші цілком робочі методи визначення площі світлових прорізів за спеціальними формулами, в яких одним з найважливіших параметрів також є площа підлоги приміщення [63].

Відповідно до досліджень П. Нойфєрта [45] оптимальну площу СЗОК можна визначити з схеми (рис. 1.18).

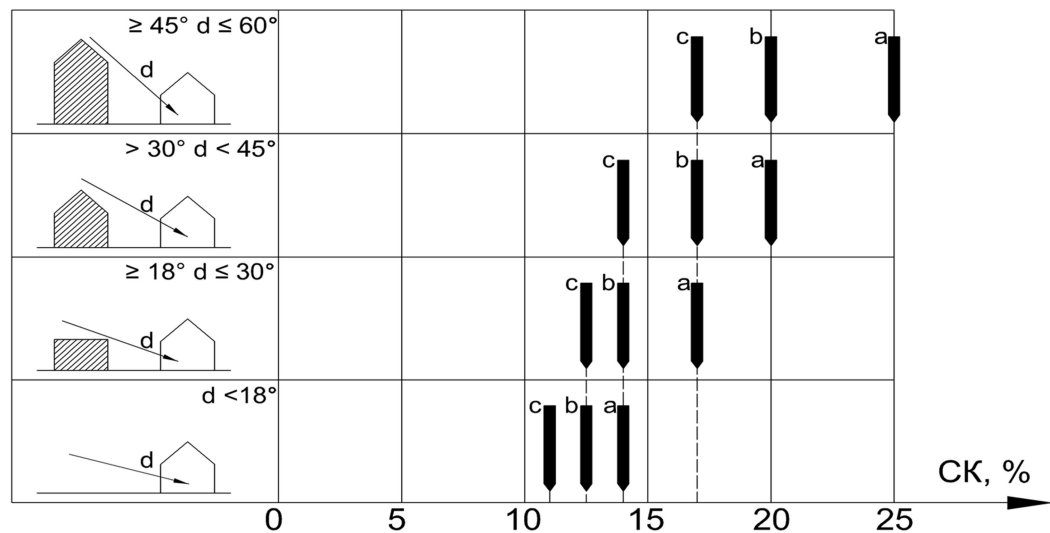


Рис. 1.18. Схема для визначення необхідної площі застклення в житловому приміщенні в залежності від площі підлоги (СК) для: а – житлової кімнати; б – кухні; с – інших приміщень; d – кут падіння сонячних променів [45].

Знайдені за таблицями або формулами значення площі застклення все ж є орієнтовними. Обов'язково повинен проводитися уточнюючий розрахунок природного освітлення приміщень.

Вагома роль у дослідженні розподілу світла на умовній РП у приміщенні проведена О.Л. Підгорним, Д.В. Єршовою, О.В. Кривенко, В.Л. Мартиновим, Є.В. Пугачовим, О.В. Сергейчуком та іншими науковцями, які вивчають питання щодо архітектурно-будівельного проектування. Розроблення і впровадження в практику вітчизняних норм із розрахунку та проектування природного освітлення й інсоляції приміщень (ДБН В.2.5-26-2018, ДСТУ-Н Б В.2.2-27:2010) було проведено під керівництвом українських науковців Ю.С. Громадського, О.Т. Дворецького, В.О. Єгорченкова, О.В. Сергейчука, О.Л. Підгорного, Є.В. Пугачова, Г.Г. Фарснюка, Т. А. Галінської [56] та ін.

Дослідження [64] присвячене визначенню впливу СЗОК на освітлення приміщень у житлових будинках та моделювання освітлення в комп'ютерних програмних пакетах: Windows Daylighting System та Autodesk Ecotect Analysis, в яких було проведено дослідження для СЗОК з різним дизайном та розташуванням. Встановлено, що на ефективність природного освітлення впливають не тільки розміри і дизайн СЗОК, але й їх розташування по висоті приміщення.

В результаті, автор [64] прийшов до висновку, що: а) високі СЗОК ефективні з точки зору пропускання денного світла в глибину приміщення; б) СЗОК з дуже низькими підвіконнями ефективні з точки зору кількості надходження сонячного випромінювання в приміщення; в) СЗОК з дуже високими підвіконнями обмежують візуальний комфорт.

В [65] F. Sulaiman описав техніку фізичного моделювання для дослідження характеристик природного освітлення для СЗОК з різними типами сонцезахисних пристроїв. Він довів, що: а) СЗОК з прозорими сонцезахисними пристроями забезпечують кращий розподіл КПО ніж без них; б) елементи сонцезахисних пристроїв повинні бути розташовані таким чином, щоб випромінювання видимого спектру проникало через СЗОК в глибину приміщення без інфрачервоної складової; в) світлові полиці (елементи сонцезахисту) необхідно розміщувати по центру СЗОК; г) поверхня світлової полиці повинна бути дифузною білою, щоб розсіювати світло, яке потрапляє на верхню частину СЗОК, в глибину приміщення; д) світлова полиця повинна мати таку ж глибину, що й підвіконня. Розрив у напрямку СЗОК не повинен перевищувати 100 мм; е) комбінація СЗОК з сонцезахисними пристроями забезпечує не тільки мінімальні надходження інфрачервоного випромінювання в приміщення, але й прекрасний візуальний контакт з навколишнім середовищем [65].

Дослідженнями впливу дизайну інтер'єру на природне освітлення в офісах відкритого планування займався С. F. Reinhart в [66]. Ця робота стала першим систематичним дослідженням динамічного моделювання природного освітлення в стандартних, оптимізованих для цього офісах, які є об'єктом проекту CORE. Передбачена система енергозбереження штучного освітлення описує вплив використання сонцезахисних пристроїв з регулярною системою освіт-

лення для різних параметрів дизайну інтер'єру. Це зменшення споживання ЕЕ може бути додатково підвищене за рахунок оптимізації фасаду для природного освітлення, проте такі конструктивні варіанти не були досліджені, оскільки COPE концентрується на реконструкції приміщень.

L. Janesckova та D. Bosova в [67] навели результати досліджень впливу зовнішніх та внутрішніх факторів на природне освітлення приміщень. В роботі розглянуто вплив теплоізоляції і товщини фасаду на зміну величини КПО. Авторами доведено, що значення КПО можуть зменшуватися з 1,1% до 0,7% для приміщення огороженого теплоізоляцією товщиною до 150 мм. Реконструкція зовнішньої оболонки будівлі призводить до численних зовнішніх змін, які впливають на якість освітлення приміщення. Заміна СЗОК або вплив товщини віконного профілю на природне освітлення представлено в отриманих результатах. Значення КПО коливається від 0,7% до 1,2%. Після збільшення граничної площі віконного профілю на 35% до світлового коефіцієнту (СК), площа засклення стає незадовільною з точки зору вимог до нормованого природного освітлення.

Аналіз досліджень та публікацій [68-75] показав, що як оптимальна глибина приміщення, так і відносна площа СЗОК, в розглянутих дослідженнях не були конкретними, а задавалися діапазоном значень. При цьому глибина приміщення не була однаковою для всіх досліджень, а відносна площа СЗОК знаходилася у великому проміжку значень. Саме тому необхідно визначити величину, при якій будуть забезпечені однакові значення КПО в приміщеннях різних розмірів з різною площею засклення.

1.4. Аналіз методів теплотехнічного розрахунку параметрів СЗОК

Дослідження енергоефективності СЗОК проводились українськими науковцями: В. Л. Мартиновим [76, 77], Т. А. Галінською [78-81], О. М. Білоусом та Є. С. Колесником [82], А. М. Сопільняком [83] та іноземними: J. L. Williamson [84], Т. Г. Коржневою [5, 14, 85, 86], О. К. Соловйовим [52, 53], E. Ghisi і J. Tinker [87, 88] та ін. Зокрема В. Л. Мартинов в [77] описав

комп'ютеризований спосіб оптимізації орієнтації гранних енергоефективних будівель (з урахуванням особливостей геометричної форми будівлі, площі та розташування СЗОК) за критерієм мінімізації теплового балансу огорожувальних конструкцій будівлі з навколишнім середовищем протягом опалювального періоду з дотриманням норм освітленості та інсоляції.

А. М. Сопільняк в [83] проводив дослідження методів підвищення термічного опору СЗОК з метою запобігання конденсації вологи на їх поверхні. Він встановив, що при збільшенні повітряного прошарку між рамами вікон температурні ізополя вирівнюються подібно до ізополів несучої стіни.

Т. Г. Коржнева в [86] досліджувала можливість розробки концептуального підходу до вирішення задачі оптимізації енергетичних витрат, пов'язаних з установкою штучного і природного освітлення. В результаті дослідження було отримано аналітичні вирази, які враховують фактори, що складають середовище життєдіяльності людини – тепловий, світловий та повітряний режими. В основу системи природного освітлення закладені бічні СЗОК оптимальних розмірів і порожнисті трубчасті світловоди для верхнього освітлення.

Е. Ghisi та J. Tinker в [87, 88] досліджували можливість використання великих СЗОК для забезпечення значних надходжень денного світла з урахуванням впливу значних теплонадходжень і тепловтрат на енергоспоживання будівлі.

Аналіз енергетичного впливу був проведений з використанням динамічного теплового моделювання, а максимальні розміри СЗОК, отримані в результаті цього аналізу, порівнювалися з мінімальною площею СЗОК, необхідною для забезпечення достатнього візуального комфорту, наведеними в британському стандарті BS 8206-2 (1992). Площі СЗОК були визначені для приміщень різного співвідношення кімнат і розмірів у будівлях, розташованих у восьми різних містах. Аналіз показав, що площі СЗОК рекомендовані для забезпечення візуального комфорту, як правило, були більшими, ніж рекомендовані для забезпечення максимальної енергоефективності. Це означає, що мінімальна площа СЗОК для візуального комфорту, з точки зору енергоефективності будівлі, не є оптимальною, тобто призводить до надлишкового енергоспоживання.

В [89] Є. С. Колесник розглянув основні вимоги нормативних документів щодо енергоефективності цивільних будинків зі світлопрозорими фасадними конструкціями. В даній роботі проведено аналіз факторів, що впливають на тепловий режим будівлі. У ході досліджень було виконано комплексний підхід щодо питання забезпечення енергоефективності цивільних будинків з СЗОК. Було встановлено основні вимоги та показники для забезпечення їх енергоефективності.

С. Е. Очоа в статті [90] розглянув різноманітні заходи щодо валоризації енергоспоживання та забезпечення візуального комфорту при використанні СЗОК. Вибрано низку енергетичних та візуальних критеріїв, що визначають пороги прийняття для динамічних оцінок. Автором встановлено, що розміри СЗОК повинені бути оптимізовані за декількома параметрами через їх вплив, не тільки на енергоспоживання, але й на візуальний комфорт. Запропоновано використовувати відблиски та рівномірність освітленості в якості критеріїв оцінки візуального комфорту, враховуючи споживання енергії та освітленість, які необхідні для забезпечення виконання вимог законодавства та сертифікації.

У роботах [91, 92] М. Mason з співавторами описали методику розрахунку для більш точного обчислення надходження тепла через СЗОК та забезпечення візуального комфорту мешканців. Вони отримали відповідні формули, що використовуються промисловістю в технологіях виготовлення скла. Увагу акцентовано на труднощах які виникають при застосуванні точних методів розрахунку на етапі проектування, коли тип скла і профілю СЗОК невідомі. У зв'язку з цим введено деякі емпіричні коригувальні коефіцієнти, які знаходяться у відкритому доступі в Centre of Glass.

В результаті аналізу вищезгаданої літератури встановлено, що при розрахунку теплотехнічних характеристик СЗОК виникає проблема з урахуванням площ та характеристик рами та запінення СЗОК. Зазвичай приймається, що застакління становить всю площу СЗОК, а термічний опір приймається однаковим для всієї площі СЗОК. Тому необхідно встановити математичні залежності між площею, розмірами СЗОК та значенням площі окремих її складових.

1.5. Аналіз методів оцінки енергоефективності СЗОК

Дослідження енергоефективності використання природного освітлення з точки зору витрат енергії на компенсацію втрат тепла через СЗОК та на витрати ЕЕ для видалення надлишкового тепла, яке через них надійшло проводились як в Україні, так і за кордоном. В Україні це питання досліджували: О.Л. Підгорний та О. В. Сергійчук [93], В.Л. Мартинов [77], О.І. Філоненко [94, 95] та ін. За кордоном – С.І. Самойлов і О. К. Соловйов [53], D.K. Arasteh [96-98], R. Hart [97], H. Goudey [97, 98], A. S. Muhaisen [99], К.Н. Клевец [100], І.А. Колесник [101], D. Zekraoui [102], H. Bülow-Hübe [103], J. M. A. Melendo [104], S. Dira [105] та ін.

Питання раціональної орієнтації СЗОК енергоефективних будівель розглядалось в [77, 99]. Проте авторами не було враховано надходження тепла від сонячної радіації під час опалювального та охолоджувального періодів. До уваги було взято тільки одне значення термічного опору, що не дозволяє стверджувати про однозначність отриманих результатів для інших значень. Відповідно не встановлений і вплив сонячної радіації, яка проникає в приміщення, на енергоефективність будівель. У [100] розглянуто питання щодо надходження тепла від сонячної радіації через СЗОК південного фасаду в зимовий і літній періоди року, при використанні і відсутності сонцезахисних пристроїв. Автором встановлено, що правильно спроектовані сонцезахисні пристрої взимку не повинні перешкоджати надходженням тепла від сонячної радіації, а влітку – вони повинні в разі зменшувати її проникнення. В той же час в статті не розглянуті питання щодо впливу орієнтації та коефіцієнту відносного проникнення сонячної радіації через СЗОК на величину теплонадходжень в будівлю.

В [101] проведено аналіз впливу теплотехнічних характеристик СЗОК на стан мікроклімату приміщень в опалювальний період. Автори визначили вплив інтегрального термічного опору СЗОК на величину втрат тепла в опалювальний період, але не акцентували увагу на пори року та орієнтацію СЗОК. У [94] розглянуті питання щодо впливу орієнтації і площі засклення СЗОК на тепловтрати і теплонадходження в офісні приміщення з певними значеннями термічного

опору зовнішніх огорожувальних конструкцій (ЗОК). Але знехтувано надходженнями тепла від сонячної радіації в опалювальний період. В [103-105] досліджено вплив орієнтації та розмірів СЗОК на споживання ЕЕ для опалення та охолодження приміщень. Встановлено, що їх орієнтація має помітний вплив на витрати ЕЕ як на опалення, так і на охолодження. Проте вплив термічного опору та коефіцієнта відносного проникнення сонячної радіації в приміщення не було взято до уваги.

В дослідженні [106] показано, що реалізація нових вимог стандарту EN-17037 є важливою, тому що в ньому розглядаються питання природного освітлення. Авторами акцентовано увагу на необхідності використання програмного моделювання, яке дозволяє розрахувати критерії з даного стандарту. Також в статті співставлено вимоги цього стандарту з практичними завданнями, що виникають в процесі будівництва. На практиці є побоювання, що тільки приміщення, розташовані в дуже відкритому середовищі (верхні поверхи), можуть бути добре оцінені. Крім того, автори стурбовані тим, що цей стандарт може бути кращим для будівель з повністю зашкеленими фасадами, що є контпродуктивним, якщо ми прагнемо до досягнення загальної продуктивності, особливо по відношенню до потреб в охолодженні.

В дослідженнях [107-109] розглянуто способи збільшення енергоефективності систем штучного освітлення адміністративних приміщень. Дослідження [107] показує на необхідність оптимізації систем штучного освітлення адміністративних будівель у зв'язку зі значним їх споживанням на штучне освітлення. В [108] розглянуто доцільність впровадження системи керування штучним освітленням. Також наведено аргументи щодо доцільності використання систем суміщеного освітлення в [109]. Загалом, дані дослідження вказують на необхідність впровадження систем природного освітлення в адміністративних приміщеннях для забезпечення максимальної енергоефективності систем штучного освітлення будівлі.

Н.Т. Аль-Ашвал в дослідженні [110] встановив, що в умовах жаркого клімату офісні приміщення з системою штучного освітлення споживають значну частку ЕЕ. Автором доведено, що за рахунок інтеграції природного та штучно-

го освітлення споживання ЕЕ штучним освітленням може бути зменшено приблизно на 13-35% від загального споживання штучним освітленням. Автором досліджено вплив різних типів застосування на споживання ЕЕ штучним освітленням при інтеграції його з природним. Доведено, що значна різниця споживання ЕЕ спостерігається між однокамерною СЗОК та іншими типами, особливо при малій відносній площі застосування ЗОК. Найбільше зниження споживання ЕЕ штучним освітленням спостерігається для СЗОК з більш високим коефіцієнтом відносного проникнення сонячної радіації (КВПСР). З іншого боку, зменшення загального споживання ЕЕ, що включає в себе ЕЕ спожиту для охолодження, значною мірою залежить від КВПСР, який визначає приріст теплонадходжень від сонячного випромінювання. Тому зменшення споживання ЕЕ можна досягти шляхом зменшення його значення.

З вищесказаного випливає доцільність проведення подальших досліджень енергоефективності використання СЗОК для природного освітлення приміщення. Також необхідним є розроблення спрощеного методу розрахунку, який би дозволяв визначати ті розміри СЗОК, при яких забезпечується достатній рівень природної освітленості та мінімальне енергоспоживання. Ще одним аспектом, на який варто звернути увагу є те, що дослідження вказують на високий рівень точності розрахунків освітленості за допомогою існуючого програмного забезпечення. Тобто на основі програмного моделювання необхідно розробити методи для визначення площі СЗОК, яка дозволить забезпечити не тільки нормоване значення КПО, але й мінімальні витрати ЕЕ для видалення тепло надходжень та компенсації тепловтрат.

1.6. Економічна ефективність застосування систем природного освітлення

Аналіз тенденції оцінок енергоефективності освітлення показує, що в розвинених країнах витрати ЕЕ на освітлення становлять 5-15%, а в країнах, що розвиваються – можуть досягати до 86% [2, 111]. В ЄС на освітлення будівель припадає понад 40% від споживаної енергії [3].

Витрати на штучне і природне освітлення залежать від того, які ОУ використовуються. В [2] встановлено, що найбільш енергоефективними є люмінесцентне та світлодіодне освітлення, а світлові колодязі або світловоди – це економічно недоцільний варіант.

Авторами статті [112] розрахована питома вартість одиниці світлової енергії, виробленої джерелом світла за середню тривалість світіння ($\text{грн}\cdot\text{Вт}/(\text{Млм}\cdot\text{год})$) при її генеруванні лампами розжарення (ЛР), компактними люмінесцентними лампами (КЛЛ) та світлодіодними (СДЛ) лампами.

У [113] більш детально розглянуто всю гаму існуючих джерел світла (ДС). Для кожного типу ДС вибиралися лампи з мінімальними і максимальними номінальними світловими віддачами. Оцінювання енергоефективності за питомою вартістю одиниці світлової енергії, виробленої ДС за середню тривалість світіння (СТС) показала, що лампи розжарення загального призначення є найгіршими, трохи кращими є кварцово-галогенна лампа розжарення (КГЛР). Найкращими виявилися світлодіодні лампи прямої заміни (СДЛПЗ), КЛЛ і люмінесцентна лампа (ЛЛ). Серед розрядних ламп високого тиску – ДНаТ і металогалогенні лампи з кварцовим пальником. Це вказує на те, що як для внутрішнього, так і для зовнішнього освітлення потрібно використовувати ДС з найменшою вартістю одиниці питомої світлової енергії, виробленої за середню тривалість світіння. На даний момент часу як для внутрішнього, так і для зовнішнього освітлення це СДЛ.

Слід зазначити, що існуюча економічна оцінка систем освітлення не враховує того, що через світлопрозорі отвори в приміщення проникає значно більше світла, ніж зазначено в нормативних документах. Крім того воно характеризується більш високою якістю спектра, що служить регулятором циркадної та ендокринної систем і викликає нейроповедінкову реакцію людини [114]. У зв'язку з цим, було б правильніше враховувати не тільки кількість, але й якість природного світла, що проникає через СЗОК.

Порівняння різних систем природного освітлення ускладняється тим, що вони по-різному здатні виводити і розподіляти світло всередині приміщення. Ліхтарі верхнього світла поширюють світловий потік зверху, при якому і рівні

освітленості зменшуються зі збільшенням відстані. Максимальні значення освітленості характерні для зон поблизу СЗОК, а в міру віддалення від них освітленість різко знижується, так само різко змінюються і кути падіння випромінювання на робочу поверхню. Конструктивні рішення повинні ґрунтуватися на економічності введення світла в приміщення.

Світловодні системи корисні для введення світла в приміщення, що знаходяться в глибині будівлі. Але починаючи з певних відстаней від оболонки будівель, економічно доцільними стають СДЛ, що живляться від фотоелектричних панелей. В іншому досліджуваному в [115] випадку в будівлях використовувалося штучне освітлення з використанням світильників з ЛЛ, які керувались з урахуванням кількості природного світла що надходить всередину приміщення (рис. 1.19).

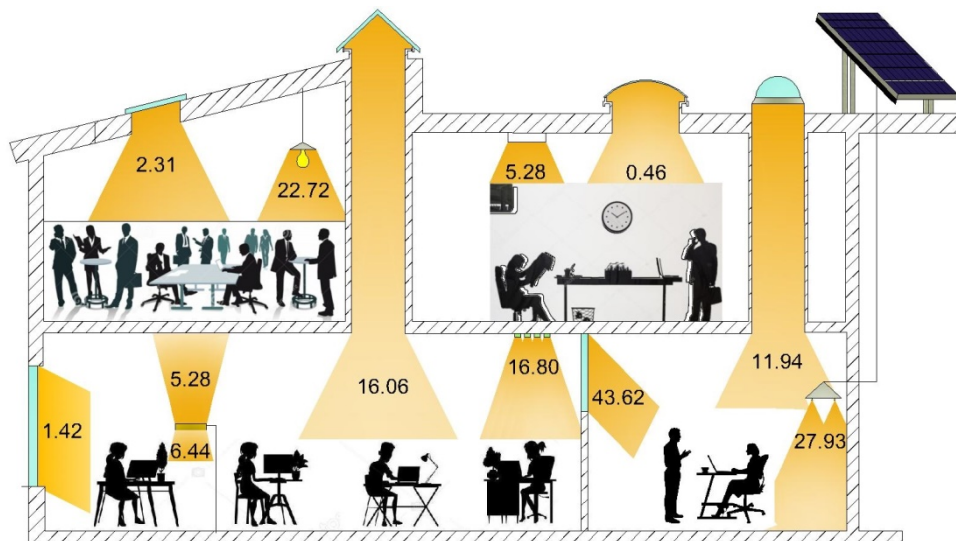


Рис. 1.19. Економічні показники різних систем штучного і природного освітлення та їх (в євро) [115]

Аналіз рис. 1.19 свідчить про те, що найдешевшим є природне освітлення при використанні зенітних ліхтарів та мансардних СЗОК, але при умові їх встановлення на останніх поверхах приміщень [116]. В той час, як фасадні СЗОК можна встановлювати у всіх приміщеннях, які знаходяться над землею. З вищесказаного випливає, що СЗОК в фасаді будівель економічно доцільні, оскільки вони довговічні, не трудомісткі в обслуговуванні й універсальні з точки зору обмежень, щодо місця їх встановлення.

Системи природного освітлення, які вводять світло в глиб будівель, як

правило, економічно ефективні (крім випадків, коли в них використовуються стандартні промислові елементи з високими оптичними властивостями). Вони зручні в обслуговуванні, збирають світло безпосередньо у оболонки будівель. ОУ з ЛР при безперервній експлуатації обходяться дуже дорого і потребують заміни на установки з ЛЛ або СДЛ [115].

1.7. Енергоефективність використання систем керування штучним освітленням для багатоквартирних будинків

Ще один пріоритетний напрямок розвитку в будівельній галузі – це зведення будівель зі зниженими експлуатаційними витратами. В рамках цього напрямку особливо важливим є завдання зниження витрат на освітлення будівель. Рішення даного завдання забезпечується впровадженням систем природного освітлення, коли будинок зведений таким чином, що вдень для освітлення приміщень, включаючи і коридори, максимально використовуються сонячне світло. І тільки в разі необхідності (ввечері та вночі), коли в зоні під'їзду або будь-якій іншій зоні всередині приміщення з'являється людина, автоматично включається штучне освітлення.

Дослідження впливу типології будівель міста Ербіль на якість і кількість денного світла, яке надходить в багатоповерхові житлові будинки (квартири) було проведено в [117]. Дослідження проведено в п'яти багатоповерхових будинках. В процесі досліджень були використані три типи симуляції: рівня освітленості, LEED і автономності природного освітлення. Встановлено, що типологія плану будівель має помітний вплив на енергоефективність природного освітлення приміщень багатоповерхових житлових будинків. Результати показали, що типологія з розміщенням квартир навколо коридору – це найкращий варіант планування серед усіх розглянутих, з точки зору забезпечення оптимального використання денного світла. А типологія з розміщенням квартир по обидві сторони коридору є гіршою. Автори прийшли до висновку, що типологія плану має очевидний вплив на ефективність природного освітлення в багатоповерхових житлових будинках.

Яскравим прикладом енергоефективної забудови цілих мікрорайонів є діагональне проектування малоповерхового будівництва. Житлові та виробничі комплекси при такому способі забудови нагадують фрактальні природні утворення (рис. 1.20), властивості яких залежать від їх розмірів. Розробка й оснащення систем штучного освітлення автоматикою, яка реагує не тільки на присутність людини, але й на стан погоди однозначно сприяє економії ЕЕ при експлуатації будівель.

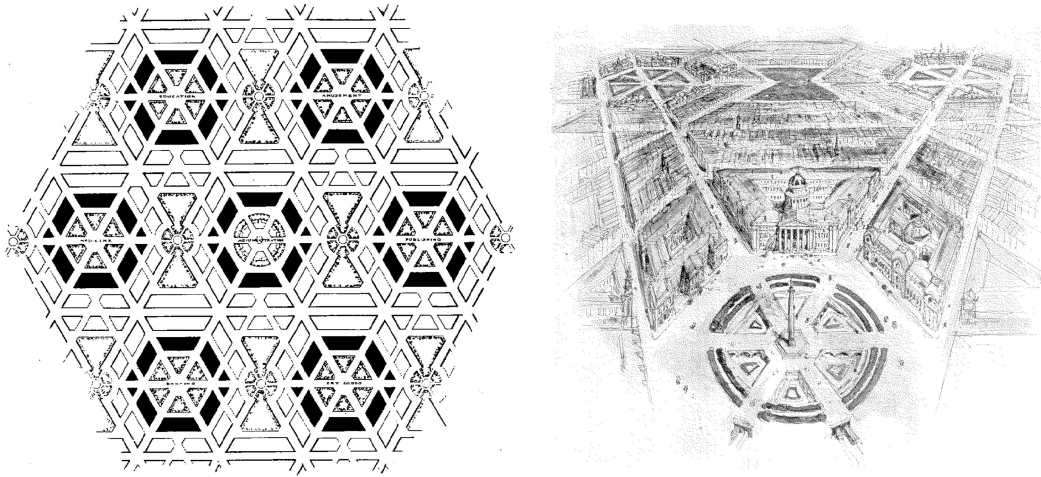


Рис. 1.20. Приклад діагонального планування міста [118]

Питання енергоефективності керування системою світлодіодного освітлення в коридорах адміністративних приміщень розглядалось в [119]. Автором спроектовано та впроваджено освітлювальну установку з динамічним регулюванням світлового потоку світлодіодних ламп. Експлуатація досліджуваної освітлювальної установки протягом двох років довела перспективність такого підходу. Економія електроенергії за цей період склала 57%. Проте автор не досліджував питання енергоефективності використання різних типів джерела світла для освітлення сходів та поверхових коридорів. Дослідження енергоефективності використання природного світла для освітлення багатоповерхових будинків проводили в [120]. В цій статті представлено розрахунок економії теплової енергії, а також зменшення витрат на штучне освітлення за рахунок природного освітлення для будівлі SODHA BERS COMPLEX, розташованої в Варанасі, Індія. Потенціали енергозбереження і відповідно зниження викидів CO₂ були визначені для різних термінів експлуатації будівлі. Проте досліджень впливу природного освітлення на економію ЕЕ при освітленні сходів та поверхових кори-

дорів не було проведено.

В огляді літератури в [121] показано світлову ефективність різних компонентів і світлопроводів для всієї системи освітлення. Додатковий світловий потік денного світла, для різних погодних умов і сезонів протягом усього року також був врахований в розглянутих дослідженнях відповідно до вимог щодо освітлення офісів. На цій підставі були зроблені висновки. Оскільки дослідження проводилися в основному архітекторами, інженерами-будівельниками або фізиками, вимоги до освітлення не були жорсткими. Авторами встановлено, що система управління освітленням повинна підлаштовуватись під умови переважно денного світла. Це обумовлено тим, що найбільша економія енергії виникає тоді, коли природне світло поєднано з керуванням штучним (вмиканням-вимкненням), а розсіяне – із димеруванням штучних ДС.

Дослідження споживання електроенергії в багатоповерхових будинках для освітлення місць загального користування протягом 2009-2010 р.р. наведено в [122, 123]. Авторами розглянуто енергоспоживання системою штучного освітлення 89 багатоквартирних будинків м. Тернопіль, Україна. В результаті дослідження встановлено, що найбільша витрата електроенергії спостерігається в період від 01.11 по 01.03, оскільки тривалість роботи системи освітлення в цей період досягає 18 год/добу. З 01.03 по 01.06 середня тривалість роботи системи штучного освітлення становить 14 год/добу, з 01.06 по 01.09 – 8 год/добу і з 01.09 по 01.11 – 14 год/добу. Виходячи з отриманих результатів встановлено, що найбільша витрата електроенергії спостерігається в осінньо-зимовий період, а найменша – в літній. Виходячи з цього, запропоновано спосіб ефективного використання електроенергії для освітлення сходів і під'їздів будинків за рахунок встановлення вимикачів освітлення з датчиками руху.

Керування системою штучного освітлення на основі використання датчиків присутності може привести до 40% економії ЕЕ при умові використання комбінації сучасних стратегій управління, таких як: 1 – використання денного світла; 2 – визначення режиму зайнятості мешканців; 3 – планування і відключення зайвого навантаження [124]. Не зважаючи на концептуальні переваги підходів до управління будівлями, які враховують присутності мешканців, їх до-

цільність повинна бути підтверджена реальними дослідженнями.

Огляд літератури з управління освітленням на основі використання датчиків руху, які дозволяють створювати сенсорну мережу для управління будівлею проведено в [125]. Сучасні системи використовують окремі точки вимірювання для визначення присутності, що призводить до невизначеності, яка пов'язана з виявленням присутності людини. Тривала затримка і висока чутливість датчиків компенсують цю невизначеність, але призводять до зменшення економії електроенергії. Більш ефективне управління можна забезпечити за рахунок ширшого зондування, використання мережі датчиків присутності і аналізу отриманих даних в реальному часі. Представлені результати вказують на доцільність дослідження ефективності сенсорних мереж для управління штучним освітленням.

В роботі [126] представлений огляд літератури на тему енергоефективної модернізації систем штучного і денного освітлення в будівлях. В огляді, що охоплює близько 160 наукових статей, розглядаються наступні теми: а) модернізація штучного освітлення в будівлях; б) використання електроенергії і потенціалу з енергозбереження; в) стратегія модернізації освітлення. Стратегії модернізації, описані в огляді: заміна лампи, баласту або світильника; використання заданого дизайну освітлення навколишнього середовища; поліпшення обслуговування; зниження підтримуваних рівнів освітленості; поліпшення кольоропередачі джерел світла; поліпшення самопочуття мешканців; використання систем управління і систем денного світла. Огляд вказує на те, що існуючі загальні знання про модернізацію освітлення в даний час дуже обмежені і є брак інформації щодо фактичних енергетичних характеристик систем освітлення, встановлених в існуючому будівельному фонді.

Дослідження [127] показує, що системи управління освітленням можуть забезпечити значну економію енергії і привести до зниження витрат на електроенергію. Зниження попиту на електроенергію також має позитивний вплив на навколишнє середовище в результаті скорочення викидів вуглекислого газу. Але кожна з технологій керування має різні властивості, які впливають на їх продуктивність. Як видно з обговорень в цій статті, характер поведінки мешканців, геометричні властивості приміщення або будівлі, надходження сонячного

світла, тип виконуваної роботи тощо. мають великий вплив на системи керування освітленням. Тільки при належному вивченні цих факторів можна виконати відповідне впровадження технологій, яке може призвести до значної економії енергії, а також до забезпечення комфорту мешканців.

У статті [128] представлено дослідження систем керування освітленням, принцип роботи яких залежав від режиму роботи мешканців, в 12-тижневому експерименті в реальних умовах в шести офісах з десятима учасниками. В результаті з'ясувалося в цілому задоволення користувачів результатами, за винятком тих, які вважають автоматичне керування освітленням не важливим. Дія «Вмикання освітлення» практично ніколи не скасовувалась, в той час як дія «Вимкнення» була коректною більш ніж в 75% випадків. В результаті встановлено середнє споживання електроенергії на 13,4% без істотного впливу на комфорт мешканців.

Доцільність даного дослідження зумовлена тим, що на даний час важко оцінити необхідність встановлення системи керування штучним освітленням. Зазвичай здається достатнім лише замінити існуючі ДС на більш енергоефективні, довірити мешканцям самим керувати їх роботою і стежити за їх вимкненням тоді, коли освітлення не є необхідним.

З вище викладеного випливає, що питання економічної та енергетичної ефективності систем керування штучним освітленням сходів багатоповерхових житлових будинків в існуючих публікаціях висвітлені недостатньо повно. Саме це і вказує на необхідність проведення досліджень щодо визначення економічної та енергетичної ефективності використання систем керування штучним освітленням за допомогою астрономічного реле та датчиків руху з різними типами джерел світла для сходів (майданчиків та маршів) багатоповерхових житлових будинків.

Висновки до розділу 1

1. В результаті проведеного огляду наукових публікацій в сфері суміщеного освітлення встановлено, що результати досліджень в основній масі можна

використати тільки в обмежених умовах, які мають співпадати з тими, які були при проведенні відповідних досліджень.

2. Дослідження енергоефективності використання СЗОК вказують на те, що в теперішній час для визначення їх площ, при яких буде забезпечуватись нормоване значення КПО і мінімальні витрати ЕЕ на штучне освітлення, опалення та охолодження необхідно проводити розрахунки в спеціалізованому програмному забезпеченні для кожного конкретного випадку. Тому необхідно розробити спрощену методику визначення площі СЗОК, яка відповідатиме необхідним вимогам.

3. Встановлено, що в розглянутих методах та рекомендаціях не враховуються, а ні площі непрозорих частин СЗОК, а ні розміри приміщення в плані, що може призвести до значної похибки при визначенні розрахункової площі СЗОК.

4. Використання вертикальних зенітних ліхтарів та фасадних і мансардних СЗОК є економічно найефективнішими варіантами природного освітлення приміщень. Фасадні СЗОК є економічно найвигіднішим варіантом для приміщень, в яких немає доступу до даху будівлі.

5. На основі розглянутих матеріалів визначені основні напрямки подальших досліджень:

- визначення параметра, який би дозволяв уніфікувати результати досліджень природного освітлення приміщень різного розміру. З практичної точки зору, отриманий результат дозволить визначати ту площу СЗОК, при якій забезпечуватиметься нормована величина КПО виходячи тільки з розмірів приміщення;

- розроблення методики для визначення сумарного впливу параметрів СЗОК на енергетичний баланс приміщення;

- визначення енергоефективності використання систем керування штучним освітленням для сходів (маршів та майданчиків) багатоквартирних житлових будинків.

РОЗДІЛ 2

ЗАЛЕЖНОСТІ ВІДНОСНОЇ ТА АБСОЛЮТНОЇ ПЛОЩІ ЗАСКЛЕННЯ ВІД КОНФІГУРАЦІЇ ТА ЗАГАЛЬНОЇ ПЛОЩІ СВІТЛОПРОЗОРИХ ЗОВНІШНІХ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ

Оптимальне використання денного світла дозволяє суттєво зменшити витрати електроенергії на штучне освітлення. Для цього необхідно правильно підібрати розміри та теплотехнічні характеристики світлопрозорих зовнішніх огороджувальних конструкцій (СЗОК). До недавнього часу саме СЗОК були найслабкішою ланкою зовнішніх огороджувальних конструкцій (ЗОК) будівель за цим параметром.

Враховуючи те, що теплотехнічні характеристики сучасних СЗОК суттєво зросли, з'явилася можливість збільшення площі застеклення фасадів. Застосування тільки одного виду освітлення у більшості випадків є не тільки нераціональним, але й не відповідає потребам людини у збереженні її здоров'я. Так, повна відсутність природного світла, у відповідності з нормативами з охорони праці, віднесена до шкідливих факторів. Тому концентрація зусиль виключно на розробці джерел світла (ДС) з високою світловою віддачею не вирішує проблему високої ефективності системи освітлення.

Враховуючи значний вплив СЗОК на якість візуального клімату інтер'єру можна з упевненістю вказати на актуальність питання щодо збільшення частки природного світла на основі застосування сучасних конструкцій СЗОК в приміщеннях будь-якого призначення. Аналіз відомих результатів досліджень показав [53, 61, 129-138], що в теперішній час особливо актуальною стала задача щодо визначення серед існуючої множини приміщень з фіксованою загальною площею таких, які для підтримання в них комфортних умов потребують мінімальних енергетичних ресурсів. Саме тому метою першого етапу даної роботи і стало встановлення залежностей відносних та абсолютних площ застеклення від загальної площі СЗОК найпоширеніших конфігурацій.

2.1. Особливості проектування світлопрозорих зовнішніх огорожувальних конструкцій

Розміри СЗОК і їх форма залежать від вибору проектного рішення фасаду будинку і необхідної освітленості кімнат. При визначенні розмірів СЗОК потрібно враховувати, що вони повинні забезпечувати нормовану освітленість кімнат будинку природним світлом.

Нестандартні СЗОК найчастіше стають єдино можливим рішенням, коли мова заходить про приміщення зі складною геометрією стін, наприклад, мансарди, горища, напівпідвальні приміщення тощо.

Однак не варто забувати, що при всій широті форм і можливостей існують будівельні норми зі своїми рекомендаціями і вимогами. Відповідно до них, сумарна площа всіх скляних поверхонь повинна становити не менше 0-12,5% загальної площі поверхні приміщення [139]. Виходячи з середньостатистичних фізіологічних показників, оптимальні умови освітлення досягаються при ширині СЗОК, рівній 55% ширини житлової кімнати [139].

У якості СЗОК розглянуто сучасні металопластикові вікна (МПВ). Конструктивні особливості профілю МПВ дозволяють зменшити енерговитрати для підтримання комфортних умов перебування людей.

Одним з найважливіших параметрів будь-якого МПВ є віконний профіль. Саме від його якості залежить міцність конструкції і тривалість подальшої експлуатації. З профілю виготовляються стулки і рама. Основні матеріали для його виготовлення: дерево, алюміній, які часто використовувались до масового використання пластика у сучасних МПВ. Найчастіше використовуються саме пластикові профілі, але з металевими вставками для зміцнення.

Для території з помірним кліматом, стандартна ширина профілю для житлових приміщень складає 58-70 мм. Також можна використати профілі шириною і 90 мм, але їх встановлюють для населених пунктів з суворим кліматом.

Склопакет (засклення) – елемент СЗОК, що складається з декількох пластин скла герметично з'єднаних одне з одним [191] (рис. 2.1).

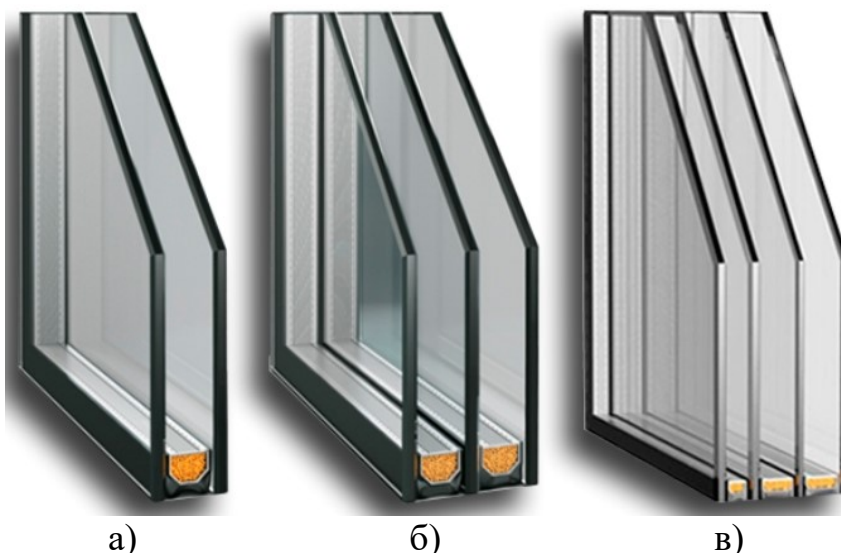


Рис. 2.1. Зовнішній вигляд: а) однокамерного; б) двокамерного та в) трикамерного склопакету МПВ [140]

При використанні монтажної піни (запінення) необхідно враховувати її особливості, оскільки правильне її використання під час встановлення СЗОК забезпечує необхідну теплоізоляцію, захист від шуму і погодних умов. Герметизація низької якості приводить до зменшення терміну експлуатації МПВ через можливість перекосів і провисань [141].

2.2. Відносна площа засклення глухих односекційних світлопрозорих зовнішніх огорожувальних конструкцій різної конфігурації

Для визначення параметрів, які впливають на світлову ефективність бокового освітлення приміщень були проаналізовані наступні конфігурації СЗОК з однаковою площею: кругла, квадратна, прямокутна з пропорціями золотого січення (співвідношення сторін 1,618:1) та трикутна також за пропорціями золотого січення (співвідношення висоти до основи 3:2) (рис. 2.2).

Розміри і розташування СЗОК проектуються, виходячи з існуючих будівельних норм і правил (СНиП, ДСТУ та ДБН).

Для розрахунку теплоізоляційних властивостей СЗОК та радіаційних теплонадходжень через їх прозору частину необхідно знати, яку частину займають засклення, профіль та запінення.

Залежність відносної площі засклення ($\bar{s}_{зс}$) від сумарної площі СЗОК при заданих: площі СЗОК ($S_{СЗОК}$), ширині профілю ($l_{ПРОФ}$) і запінення ($l_{зп}$) для різних конфігурацій СЗОК мають різний вигляд (рис. 2.2, 2.4-2.6).

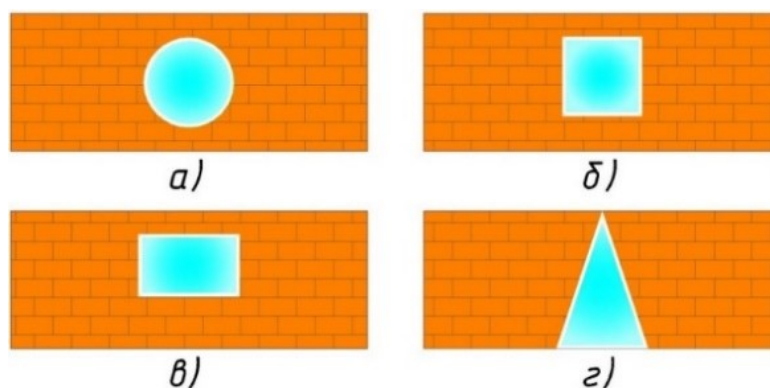


Рис. 2.2. Зовнішній вигляд ЗОК з СЗОК: а) круглої; б) квадратної; в) прямокутної та г) трикутної конфігурації з однаковою площею [142]

На практиці трикутні вікна завжди призначалися для використання в мансардах і горищах. Якщо спочатку вони використовувались для провітрювання горищ, тепер це повноцінна конструкція, що виконує ряд додаткових функцій. В теперішній час роль горищ і мансард в житлових будинках кардинально змінюється, а, відповідно, змінюється і ставлення до вікон, що встановлюються в них. Нестандартні СЗОК дають можливість змінити дизайн будинку та офісу, підкреслити індивідуальність.

2.2.1. Відносна площа засклення трикутної світлопрозорої зовнішньої огорожувальної конструкції

У сучасних заміських будинках трикутні СЗОК встановлюють для вентиляції та освітлення горищ. Їх розташовують на даху або фронтоні. В оригінальних дизайнерських рішеннях СЗОК в формі трикутника використовується як головний елемент фасаду. Сучасні конструктори можуть виготовляти великі трикутні СЗОК для таких цілей.

Трикутник, як геометрична фігура, буває різний. У зв'язку з цим і форма СЗОК з трьома кутами може бути різною. Виділяють два основні види:

- з прямим кутом, тобто у вигляді прямокутного трикутника;

- з однаковими сторонами – у формі рівнобедреного трикутника (рис. 2.3).

СЗОК з прямим кутом рекомендують встановлювати по краях скатних дахів. Використовуючи дві такі конструкції та одну прямокутну, можна отримати трапецеїдальну СЗОК. Її можна виготовити і у вигляді єдиного виробу. Трикутні з прямим кутом можна розміщувати і над звичайними СЗОК.

СЗОК трикутної форми – це СЗОК, яка може бути цілісною або ж розділеним імпостом на дві частини (в деяких випадках – і на більше число елементів). Її, як правило, виготовляють в глухому компонуванні або фрамужному (з відкриванням на провітрювання).

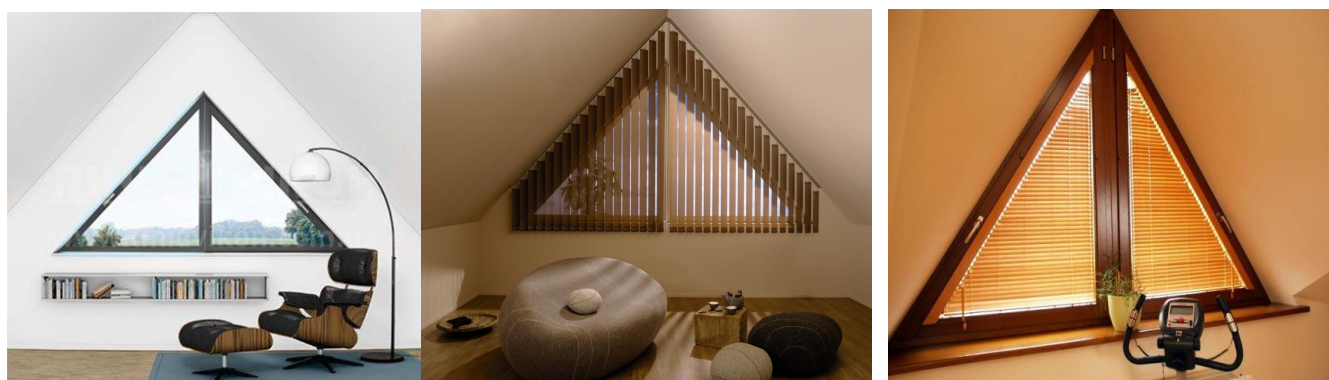


Рис. 2.3. Приклади використання СЗОК трикутної конфігурації [143-145]

Як відомо, площа СЗОК трикутної конфігурації (рис. 2.4) визначається за формулою (2.1)

$$S_{\text{СЗОК}} = 1/2 \cdot BC \cdot AP, \text{ м.} \quad (2.1)$$

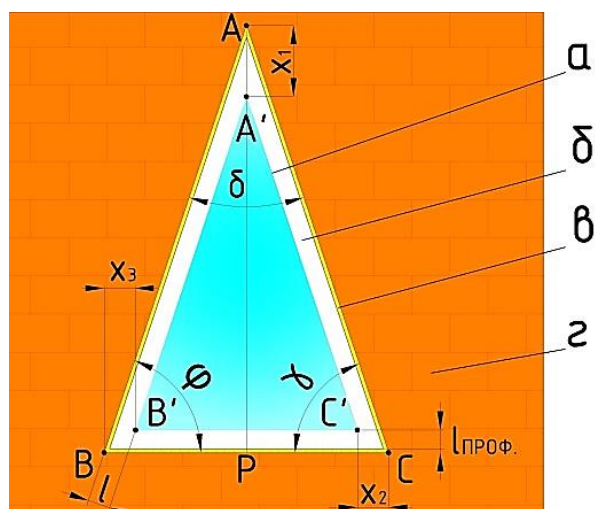


Рис. 2.4. Схематичне зображення ЗОК з СЗОК трикутної конфігурації: *а* – за-
склення; *б* – профіль; *в* – запінення; *г* – ЗОК будівлі [146]

Оскільки профіль СЗОК має зі всіх сторін однакову ширину, то СЗОК і за-
склення у трикутної конфігурації утворюють подібні трикутники. Тому, за теоре-
мою подібності, величини цих відрізків будуть змінюватись прямопропорційно до
ширини профілю і запінення [146]. Це дає можливість визначити довжини відріз-
ків, які утворюють периметр засклення, при заданій площі СЗОК і кутах при ос-
нові трикутної СЗОК. Для будь якого трикутника довільних розмірів, кути при
його вершинах (δ , γ , φ) визначаються за формулами (2.2-2.4)

$$\delta = \arctg \frac{BP}{AP} + \arctg \frac{PC}{AP}, \text{ град}; \quad (2.2)$$

$$\gamma = \arctg \frac{AP}{PC}, \text{ град}; \quad (2.3)$$

$$\varphi = \arctg \frac{AP}{BP}, \text{ град}; \quad (2.4)$$

де BC, AP, AB і AC – основа, висота та бічні сторони СЗОК (рис. 2.4) відповідно, м

Визначивши кути при вершинах СЗОК трикутної конфігурації, можна ви-
значити наступні параметри:

– відстань від вершини СЗОК (A) до вершини засклення (A') (рис. 2.4) за
формулою (2.5) [146]

$$x_1 = l / [\sin(\delta / 2)], \text{ м}; \quad (2.5)$$

– довжину проекції відрізка від вершини СЗОК (C) до вершини засклення
(C') на основу BC (рис. 2.4) за формулою (2.6) [146]

$$x_2 = l / [\tg(\gamma / 2)], \text{ м}; \quad (2.6)$$

– довжину проекції відрізка від вершини СЗОК (B) до вершини засклення
(B') на основу BC (рис. 2.4) [146]

$$x_3 = l / [\operatorname{tg}(\varphi / 2)], \quad (2.7)$$

Ширину непрозорої частини СЗОК (l), яку займають профіль ($l_{\text{ПРОФ}}$) і запінення ($l_{\text{ЗП}}$) можна визначити за формулою (2.8)

$$l = l_{\text{ПРОФ}} + l_{\text{ЗП}}, \text{ м} \quad (2.8)$$

де $l_{\text{ПРОФ}}$ – ширина профілю, м [147];

$l_{\text{ЗП}}$ – ширина запінення (див. рис. 2.4), яка згідно норм [148] визначається відповідно до розмірів СЗОК.

Виходячи з нормативних розмірів монтажного зазору, ширину запінення для прямокутних СЗОК, приймаємо рівною: 10-15 мм – для СЗОК із стороною менше 2500 мм; 15-30 мм – для СЗОК із стороною від 2500 мм до 4500 мм і 30 мм – для СЗОК із стороною більше 4500 мм. Або ж можна скористатись виразами (2.9), отриманими нами в результаті апроксимації нормативних розмірів [148]

$$\begin{cases} \text{якщо } l_{\text{СЗОК}} > h_{\text{СЗОК}}, \text{ то } l_{\text{ЗП}} = (125 \cdot l_{\text{СЗОК}}^2 - 123 \cdot l_{\text{СЗОК}} + 1050) \cdot 10^{-2} \text{ мм,} \\ \text{якщо } l_{\text{СЗОК}} < h_{\text{СЗОК}}, \text{ то } l_{\text{ЗП}} = (125 \cdot h_{\text{СЗОК}}^2 - 123 \cdot h_{\text{СЗОК}} + 1050) \cdot 10^{-2} \text{ мм,} \\ \text{якщо } l_{\text{СЗОК}} \text{ або } h_{\text{СЗОК}} \geq 4,5 \text{ м, то приймаємо } l_{\text{ЗП}} = 30 \text{ мм.} \end{cases} \quad (2.9)$$

Відносну площу засклення СЗОК у формі трикутника з відомими: довжиною основи (BC) і висотою (AP), шириною профілю і товщиною запінення можна визначити за формулою (2.10) [146].

$$\bar{s}_{\text{ЗС}} = \frac{S_{\text{ЗС}}}{S_{\text{СЗОК}}} = \frac{1/2 \cdot (BC - x_2 - x_3) \cdot (AP - x_1 - l)}{1/2 \cdot BC \cdot AP}, \text{ відн. од.} \quad (2.10)$$

Для довільної СЗОК трикутної конфігурації заданої площі і відомими шириною профілю і товщиною запінення, відносна площа засклення визначається за формулою (2.11) [146]

$$\bar{s}_{3C} = 1 - \frac{x_1 + l}{\sqrt{2 \cdot i_{K.C3OK} \cdot S_{C3OK}}} - (x_2 + x_3) \cdot \frac{\sqrt{2 \cdot i_{K.C3OK} \cdot S_{C3OK}} - (x_1 + l)}{2 \cdot S_{C3OK}}, \text{ відн. од,} \quad (2.11)$$

де $i_{K.C3OK}$ – індекс координації СЗОК, визначається за формулою (2.12) [146].

$$i_{K.C3OK} = \frac{AP}{BC}, \text{ відн. од.} \quad (2.12)$$

2.2.2. Відносна площа засклення круглої світлопрозорії зовнішньої огорожувальної конструкції

Ще одним видом нестандартної форми є кругла СЗОК. На даний час СЗОК круглої форми нерідко використовують при склінні балконів і лоджій. Все частіше їх можна зустріти в котеджах і замських будинках.

Схематичне зображення ЗОК з круглої СЗОК з позначенням розрахункових величин представлено на рис. 2.5.

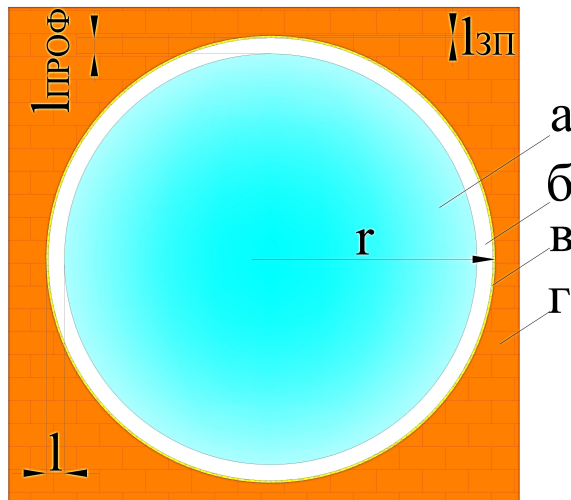


Рис. 2.5. Схематичне зображення ЗОК з круглою СЗОК:

a – засклення; b – профіль; c – запінення; d – ЗОК будівлі

Площу засклення круглої СЗОК можна визначити за формулою (2.13)

$$S_{3C} = S_{C3OK} - 2 \cdot \sqrt{\pi \cdot S_{C3OK}} \cdot l + l^2, \text{ м}^2. \quad (2.13)$$

Відносну площу засклення круглої СЗОК (\bar{s}_{3C}) з площею (S_{C3OK}), шириною профілю ($l_{ПРОФ}$) і товщиною запінення ($l_{ЗП}$) можна визначити за формулою (2.14)

$$\bar{s}_{3C} = \frac{S_{3C}}{S_{C3OK}} = 1 - \frac{2\sqrt{\pi \cdot l}}{\sqrt{S_{C3OK}}} + \frac{\pi \cdot l^2}{S_{C3OK}}, \text{ відн. од.} \quad (2.14)$$

2.2.3. Відносна площа засклення прямокутної світлопрозорої зовнішньої огорожувальної конструкції

Відомо, що площа прямокутної СЗОК визначається за формулою (2.15)

$$S_{C3OK} = l_{C3OK} \cdot h_{C3OK}, \text{ м}^2, \quad (2.15)$$

де l_{C3OK} , h_{C3OK} – ширина і висота прямокутної СЗОК (рис. 2.6), відповідно, м.

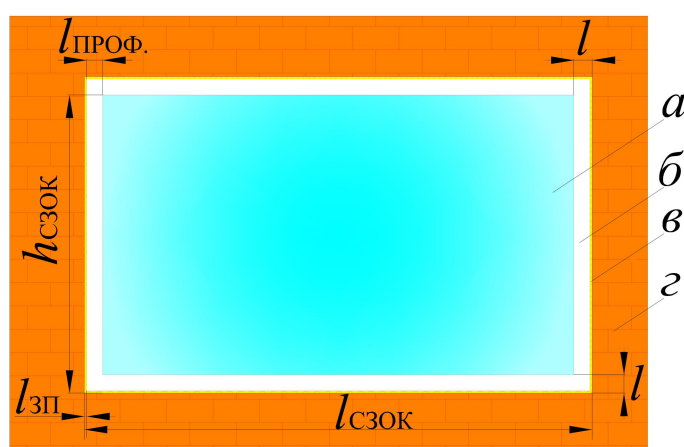


Рис. 2.6. Схематичне зображення ЗОК з прямокутною СЗОК: а) засклення; б) профіль; в) запінення; г) непрозора частина ЗОК [149]

В подальших розрахунках використовувались розміри профільної металопластикової конструкції Veka SOFT-LINE 82 (рис. 2.7)

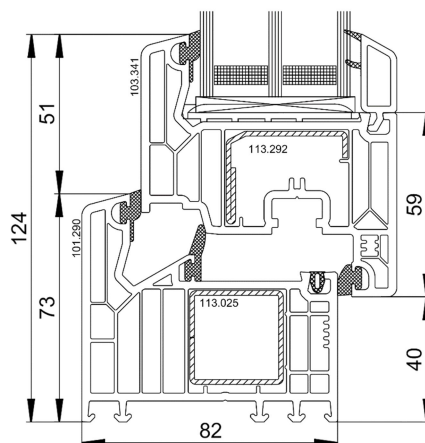


Рис. 2.7. Схема профільної системи МПВ Veka SOFT-LINE 82 [147]

Для визначення висоти і ширини прямокутних СЗОК довільних розмірів з виразу (2.15), скористаємося поняттям індексу координації СЗОК ($i_{\text{к.СЗОК}}$), який визначається за формулою (2.16) [142]

$$i_{\text{к.СЗОК}} = l_{\text{СЗОК}} / h_{\text{СЗОК}}, \text{ відн. од.} \quad (2.16)$$

Рівняння (2.15) приймає вигляд (2.17) [142].

$$S_{\text{СЗОК}} = i_{\text{к.СЗОК}} \cdot h_{\text{СЗОК}}^2, \text{ м}^2, \quad (2.17)$$

де висота СЗОК ($h_{\text{СЗОК}}$), при відомій її площі ($S_{\text{СЗОК}}$) визначається за виразом (2.18) [142].

$$h_{\text{СЗОК}} = \sqrt{S_{\text{СЗОК}} / i_{\text{к.СЗОК}}}, \text{ м}, \quad (2.18)$$

а ширина СЗОК ($l_{\text{СЗОК}}$) визначається за виразом (2.19) [142].

$$l_{\text{СЗОК}} = \sqrt{S_{\text{СЗОК}} \cdot i_{\text{к.СЗОК}}}, \quad (2.19)$$

В результаті, встановлено, що відносна площа засклення СЗОК прямокутної конфігурації визначається за формулою (2.20) [142].

$$\bar{s}_{\text{ЗС}} = 1 - (i_{\text{к.СЗОК}} + 1) / \sqrt{i_{\text{к.СЗОК}}} \cdot 2 \cdot l / \sqrt{S_{\text{СЗОК}}} + 4 \cdot l^2 / S_{\text{СЗОК}}, \text{ відн. од.} \quad (2.20)$$

2.3. Вплив конфігурації глухих односекційних світлопрозорих зовнішніх огорожувальних конструкцій на площу засклення

Розрахунки, як і очікувалося, показали (табл. 2.1), що найбільша площа засклення притаманна круглим вікнам, за ними йдуть квадратні, потім прямокутні і трикутні з співвідношенням сторін золотого січення.

Таблиця 2.1

Відносна площа засклення СЗОК різної конфігурації площею 3 м²

Параметр СЗОК	Конфігурація вікна			
	Кругла	Квадратна	Прямокутна	Трикутна
Відносна площа засклення СЗОК, $\bar{s}_{\text{ЗС}}$, відн. од.	0,832	0,814	0,804	0,764

Не зважаючи на те, що круглі СЗОК за параметром засклення є найкращими, виготовлення їх досить складне і тому вони найдорожчі. У трикутних СЗОК площа засклення найменша і вони не підходять для застосування в тілі несучих огорожувальних конструкцій. Найкраще круглі та трикутні СЗОК застосовувати під дахом будинку. Тому, в дослідженні [142] для встановлення залежностей відносної площі засклення ($\bar{S}_{ЗС}$) від загальної площі СЗОК при заданих: площі СЗОК ($S_{СЗОК}$), ширині профілю ($l_{ПРОФ}$) і ширині запінення ($l_{ЗП}$) (рис. 2.9), було обрано прямокутну СЗОК. Для розрахунків використано розміри та характеристики профільної системи Veka SOFT-LINE 82 (рис. 2.10).

Розміри СЗОК з обраними пропорціями для відповідної площі віконного профілю наведено в табл. 2.2.

Таблиця 2.2

Розміри СЗОК площею 6 м^2 , для різних значень індексу координації СЗОК

Індекс координації СЗОК ($i_{СЗОК}$), відн. од.	1/1	2/1	3/1	4/1	6/1	8/1	12/1	18/1	24/1
Ширина, $l_{СЗОК}$, м	2,45	3,46	4,24	4,90	6,00	6,93	8,49	10,39	12,0
Висота, $h_{СЗОК}$, м	2,45	1,73	1,41	1,22	1,00	0,87	0,71	0,58	0,50

Таблиця 2.3

Ширина непрозорої частини СЗОК при її площі 6 м^2 , з різним індексом координації СЗОК

Індекс координації СЗОК ($i_{К.СЗОК}$), відн. од.	1/1	2/1	3/1	4/1	6/1	8/1	12/1	18/1	24/1
Ширина непрозорої частини СЗОК (l), м	0,086	0,096	0,096	0,103	0,103	0,103	0,103	0,103	0,103

Отже, при ширині віконного профілю для глухого вікна 0,073 м, ширина непрозорої частини СЗОК (l), яку займають профіль і запінення, дорівнює згідно (2.8) значенням наведеним в табл. 2.3.

Отримані залежності дають можливість, після нескладних перетворень, отримати формули для визначення абсолютних (формули 2.21-2.23) площ засклення ($S_{ЗС}$), запінення ($S_{ЗП}$) і профілю ($S_{ПРОФ}$) прямокутної СЗОК з заданими розмірами [142].

$$S_{3C} = l_{C3OK} \cdot h_{C3OK} - 2 \cdot l \cdot (l_{C3OK} + h_{C3OK} - 2 \cdot l), \text{ м}^2, \quad (2.21)$$

$$S_{\text{ПРОФ}} = 2 \cdot l_{\text{ПРОФ}} \cdot (l_{C3OK} + h_{C3OK} - 2 \cdot l - 2 \cdot l_{3П}), \text{ м}^2, \quad (2.22)$$

$$S_{3П} = 2 \cdot l_{3П} \cdot (l_{C3OK} + h_{C3OK} - 2 \cdot l_{3П}) \text{ м}^2 \quad (2.23)$$

За формулами (2.21-2.23), в [142], були також розраховані й залежності абсолютних площ засклення, профілю та запінення від індексу координації для СЗОК прямокутної конфігурації площею 1 м² та 6 м² (табл. 2.4, 2.5).

Таблиця 2.4

Площа профілю, запінення і засклення для СЗОК прямокутної конфігурації площею 6 м², з різним індексом координації СЗОК [142]

Індекс координації СЗОК ($i_{K.C3OK}$), відн. од.	1/1	2/1	3/1	4/1	6/1	8/1	12/1	18/1	24/1
$S_{3C}, \text{ м}^2$	5,187	5,04	4,95	4,78	4,60	4,44	4,15	3,78	3,47
$S_{\text{ПРОФ}}, \text{ м}^2$	0,69	0,72	0,71	0,86	0,98	1,10	1,30	1,56	1,79
$S_{3П}, \text{ м}^2$	0,13	0,24	0,34	0,36	0,42	0,46	0,55	0,65	0,75

$$\bar{S}_{3П} = \frac{i_{K.C3OK} + 1}{\sqrt{i_{K.C3OK}}} \cdot \frac{2 \cdot l_{3П}}{\sqrt{S_{C3OK}}} - 4 \frac{l_{3П}^2}{S_{C3OK}}, \text{ відн. од.} \quad (2.24)$$

$$\bar{S}_{\text{ПРОФ}} = \frac{2 \cdot l - 2 \cdot l_{3П}}{\sqrt{S_{C3OK}}} \cdot \frac{i_{K.C3OK} + 1}{\sqrt{i_{K.C3OK}}} + \frac{4 \cdot l_{3П}^2 - 4 \cdot l^2}{S_{C3OK}}, \text{ відн. од.} \quad (2.25)$$

Крім цього отримані залежності і для визначення відносних (формули 2.20, 2.24, 2.25) площ засклення (\bar{S}_{3C}), запінення ($\bar{S}_{3П}$) і профіля ($\bar{S}_{\text{ПРОФ}}$) прямокутних СЗОК з заданими розмірами.

Таблиця 2.5

Площа засклення, профілю і запінення для СЗОК прямокутної конфігурації з площею 1 м², з різним індексом координації СЗОК [142]

Індекс координації СЗОК ($i_{K.C3OK}$), відн. од.	1/1	2/1	3/1	4/1	6/1	8/1	12/1	18/1	24/1
$S_{3C}, \text{ м}^2$	0,695	0,67	0,64	0,60	0,53	0,46	0,33	0,14	0,00
$S_{\text{ПРОФ}}, \text{ м}^2$	0,26	0,28	0,31	0,34	0,39	0,43	0,51	0,62	0,71
$S_{3П}, \text{ м}^2$	0,04	0,05	0,05	0,06	0,08	0,11	0,16	0,24	0,30

За формулами (2.20, 2.24, 2.25) були також розраховані й залежності відносних площ засклення, профілю та запінення від індексу координації для СЗОК прямокутної конфігурації площею 1 м^2 та 6 м^2 (табл. 2.6, 2.7).

Таблиця 2.6

Відносні площа засклення, профілю і запінення для СЗОК прямокутної конфігурації з площею 6 м^2 , і різним співвідношенням сторін [142]

Індекс координації СЗОК ($i_{\text{СЗОК}}$), відн. од.	1/1	2/1	3/1	4/1	6/1	8/1	12/1	18/1	24/1
$\bar{s}_{\text{ЗС}}$, відн. од.	0,864	0,840	0,825	0,797	0,767	0,739	0,691	0,630	0,578
$\bar{s}_{\text{ПРОФ}}$, відн. од.	0,114	0,121	0,119	0,143	0,164	0,183	0,217	0,260	0,298
$\bar{s}_{\text{ЗП}}$, відн. од.	0,021	0,039	0,056	0,061	0,069	0,077	0,091	0,109	0,124

Таблиця 2.7

Відносні площа засклення, профілю і запінення для прямокутної СЗОК з площею 1 м^2 , і різним співвідношенням сторін [142]

Індекс координації СЗОК ($i_{\text{СЗОК}}$), відн. од.	1/1	2/1	3/1	4/1	6/1	8/1	12/1	18/1	24/1
$\bar{s}_{\text{ЗС}}$, відн. од.	0,695	0,672	0,637	0,600	0,529	0,461	0,330	0,140	0,00
$\bar{s}_{\text{ПРОФ}}$, відн. од.	0,265	0,282	0,309	0,336	0,387	0,433	0,514	0,616	0,706
$\bar{s}_{\text{ЗП}}$, відн. од.	0,041	0,046	0,054	0,063	0,083	0,106	0,156	0,243	0,303

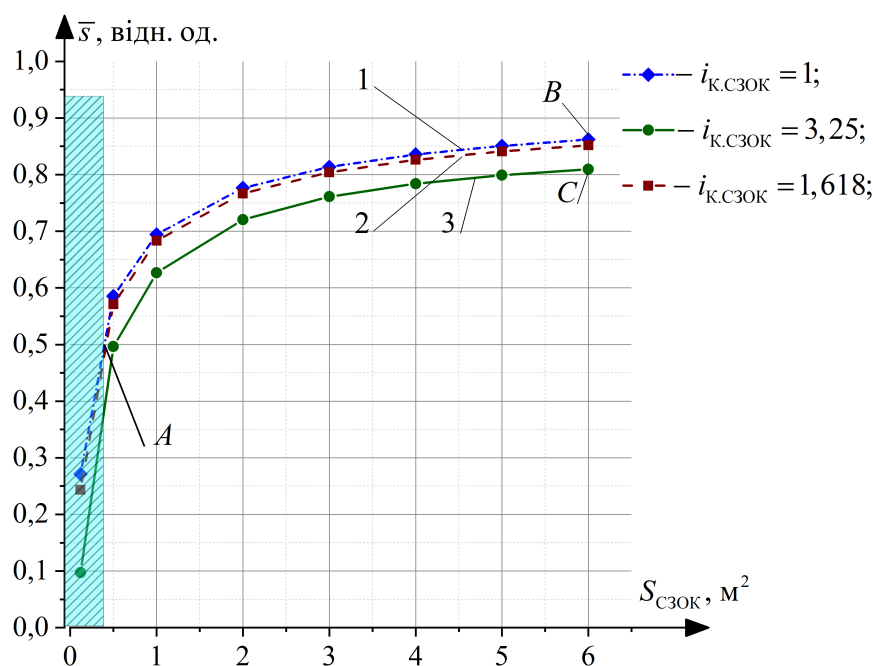


Рис. 2.8. Залежність відносної площі засклення глухої СЗОК від площі СЗОК прямокутної конфігурації для певних значень його індексу координації: 1 – $i_{\text{К.СЗОК}}=1$; 2 – $i_{\text{К.СЗОК}}=3,25$; 3 – $i_{\text{К.СЗОК}}=1,618$ (золоте січення) [142]

За формулою (2.20) були визначенні залежності відносної площі засклення від площі СЗОК для певних значень її індексу координації. За даними розрахунків були побудовані відповідні графіки (рис. 2.8).

Аналіз графіків показав, що залежності площі засклення глухих МПВ від площі СЗОК добре описуються логарифмічними функціями типу $y = a \cdot \ln(x) + b$ незалежно від величини $i_{\text{К.СЗОК}}$. Особливо інтенсивне зростання відносної площі засклення відбувається на початковій ділянці (0-А). Саме тому МПВ на ділянці А-В можна вважати найбільш прийнятними з практичної точки зору для використання. Застосовувати МПВ з площею СЗОК менше $0,75 \text{ м}^2$ для будь-яких значень $i_{\text{К.СЗОК}}$ нераціонально тому, що відносна площа засклення стає меншою за 0,5. З естетичної точки зору СЗОК, в основу побудови яких покладена симетрія золотого січення слід віддавати перевагу тому, що вони за показником заскленості займають середнє значення між мінімальним і максимальним значеннями (рис. 2.8, крива 3.).

За формулою (3.21) було розраховано залежності абсолютної площі засклення від абсолютної площі СЗОК для прямокутної конфігурації (рис. 2.9).

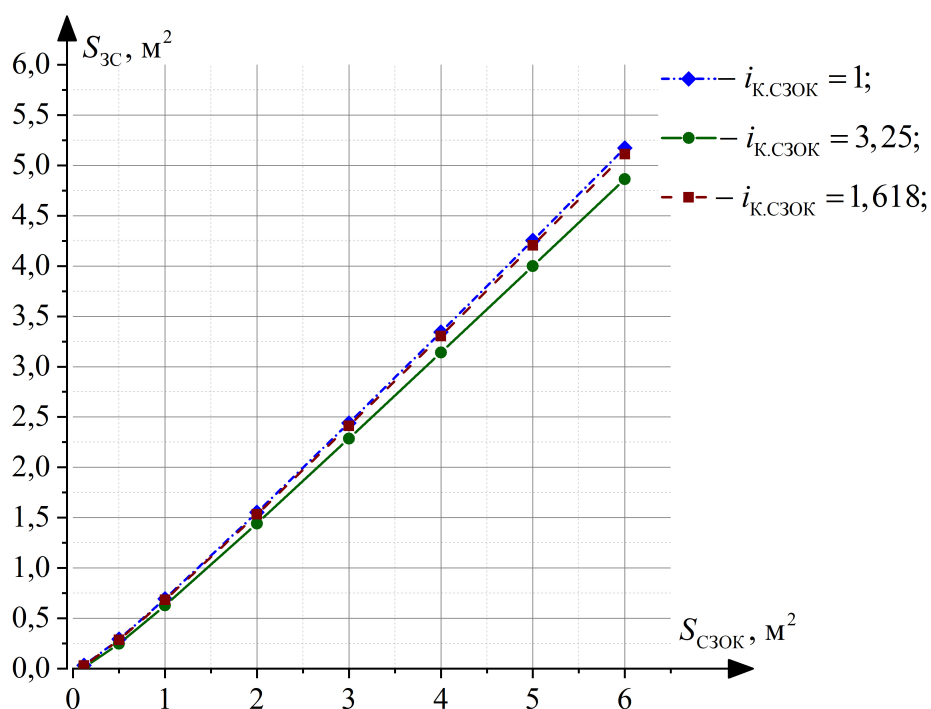


Рис. 2.9. Залежність абсолютної площі засклення СЗОК від абсолютної площі СЗОК прямокутної конфігурації і певних значень індексу координації: 1 — $i_{\text{К.СЗОК}}=1$; 2 — $i_{\text{К.СЗОК}}=3,25$; 3 — $i_{\text{К.СЗОК}}=1,618$ (золоте січення)

За даними табл. 2.6 і 2.7 були побудовані відповідні графічні залежності, представлені на рис. 2.10.

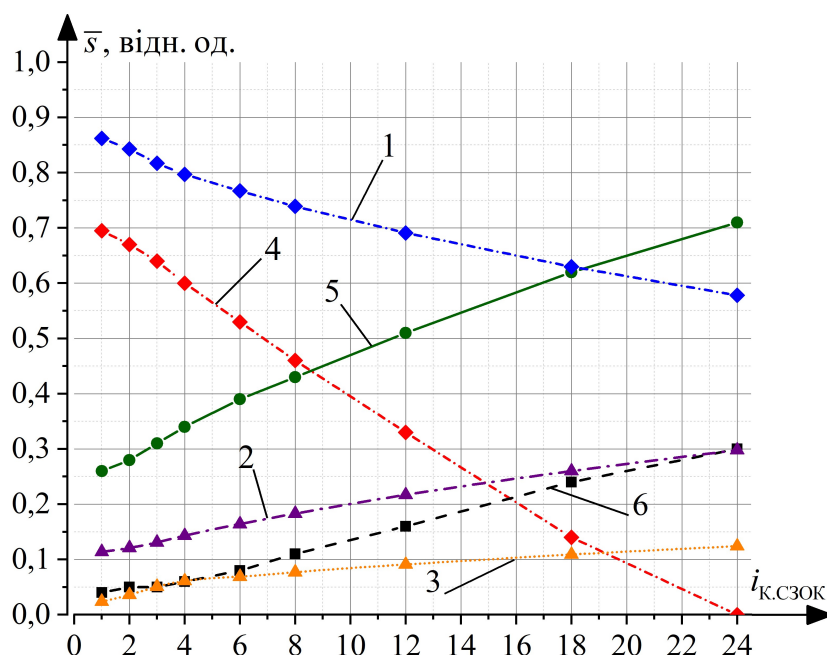


Рис. 2.10. Залежності відносних площ застосування (криві 1 і 4), профілю (криві 2 і 5) та заповнення (криві 3 і 6) глухої СЗОК від індексу координації прямокутної СЗОК площею: а) 6 м² – криві 1, 2, 3; б) 1 м² – криві 4, 5, 6 відповідно [142]

З рис. 2.10 видно, що при збільшенні індексу координації прямокутного СЗОК площі застосування зменшуються (криві 1 і 4), а площі профілю (криві 2 і 5) і заповнення (криві 3 і 6) збільшуються. При цьому кривизна зменшення площ застосування зростає при зменшенні площі прямокутної СЗОК. Для СЗОК площею 1 м² з $i_{к.СЗОК} = 24$ її площа застосування дорівнює нулю.

2.4. Визначення відносної площі застосування багатосекційної прямокутної світлопрозорої зовнішньої огорожувальної конструкції

Якщо ширина СЗОК становить 2 м і більше, то часто використовують тристулкову конфігурацію. Тому крім глухих СЗОК були розглянуті і багатосекційні (трьох секційні, у яких крайні секції нерухомі, а середня рухома), загальний вигляд яких представлений на рис. 2.11.

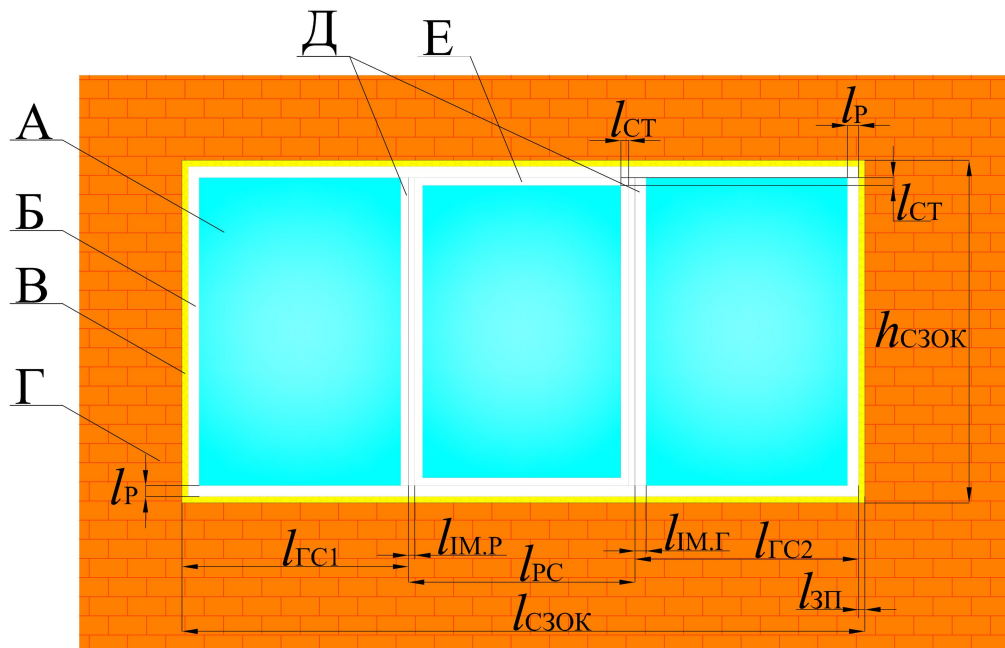


Рис. 2.11. Загальний вигляд трьох секційної СЗОК прямокутної конфігурації.
Умовні позначення: А – засклення; Б – рама; В – запінення; Г – огорожувальна конструкція; Д – імпост; Е – стулка [142]

Відносну площу засклення багатосекційної СЗОК визначено за формулою (2.26) [142]

$$\bar{s}_{3C} = 1 - \frac{i_{K.C3OK} + 1}{\sqrt{i_{K.C3OK}}} \cdot \frac{2 \cdot l}{\sqrt{S_{C3OK}}} - \frac{(h_{C3OK} - 2 \cdot l) \cdot (l_{IM_2} \cdot (2 \cdot n_{ГC} - 1) + n_{PC} \cdot (l_{IM_2} - l_{CT})) + 2 \cdot l_{CT} \cdot \sum_{j=1}^{j=n_{PC}} (l_{PCi} - l_{IMp} - 2 \cdot l_{CT} + h_{C3OK} - 2 \cdot l) - 4 \cdot l^2}{S_{C3OK}} \quad \text{відн. од.,} \quad (2.26)$$

де l_{IM_2} – товщина імпосту глухої секції МПВ, м (рис. 2.11);

l_{IMp} – додаткова товщина імпосту, зумовлена встановленням рухомої секції, м (рис. 2.11);

l_{CT} – товщина стулки МПВ, м (рис. 2.11);

$l_{ГCn}, l_{PCi}$ – ширина n-ї глухої та i-ї рухомої секцій МПВ, м (рис. 2.11).

Результати розрахунків відносних площ застелення, профілю і заповнення трисекційних СЗОК прямокутної конфігурації з різним значенням $i_{К.СЗОК}$ наведено в табл. 2.8.

Таблиця 2.8

Відносні площі компонентів прямокутної СЗОК для трисекційних МПВ з різними площею та пропорціями: $i_{К.СЗОК}=1; 1,618; 3,25$ відн. од. [142]

Розрахункова величина	Площа СЗОК, м ²								
	1	2	3	5	7	9	11	12	13
$i_{К.СЗОК}=3,25/1$									
$\bar{s}_{ЗС}$, відн. од.	0,448	0,581	0,642	0,704	0,740	0,768	0,789	0,798	0,805
$\bar{s}_{ПРОФ}$, відн. од.	0,495	0,369	0,308	0,243	0,207	0,185	0,168	0,162	0,156
$\bar{s}_{ЗП}$, відн. од.	0,057	0,050	0,050	0,053	0,053	0,047	0,042	0,041	0,039
$i_{К.СЗОК}=1,618/1$									
$\bar{s}_{ЗС}$, відн. од.	0,441	0,581	0,648	0,716	0,753	0,776	0,792	0,799	0,805
$\bar{s}_{ПРОФ}$, відн. од.	0,515	0,384	0,320	0,253	0,216	0,192	0,174	0,167	0,161
$\bar{s}_{ЗП}$, відн. од.	0,044	0,035	0,032	0,031	0,031	0,032	0,034	0,034	0,034
$i_{К.СЗОК}=1/1$									
$\bar{s}_{ЗС}$, відн. од.	0,388	0,545	0,620	0,697	0,738	0,765	0,784	0,792	0,799
$\bar{s}_{ПРОФ}$, відн. од.	0,571	0,424	0,353	0,279	0,238	0,211	0,192	0,184	0,177
$\bar{s}_{ЗП}$, відн. од.	0,041	0,031	0,027	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024

За результатами табл. 2.8 були побудовані графічні залежності, представлені на рис. 2.12.

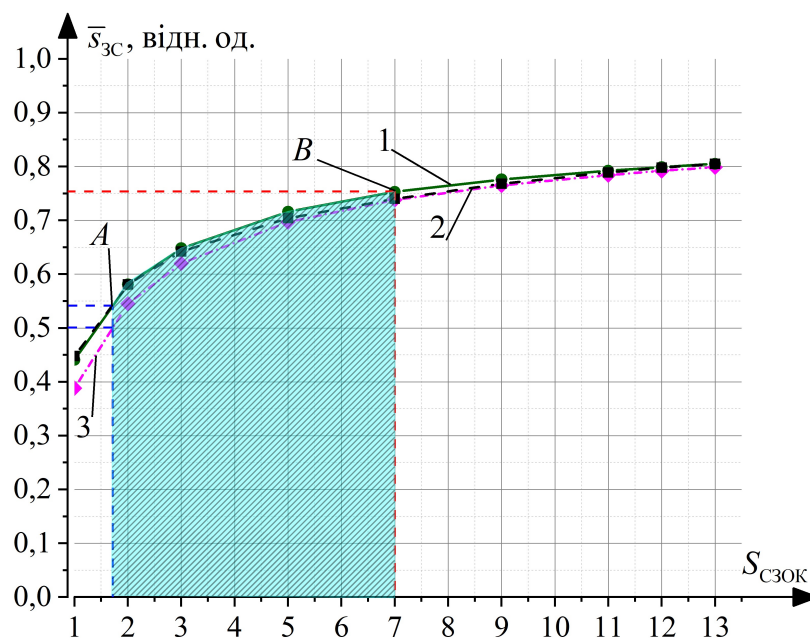


Рис. 2.12. Залежність відносних площ застелення прямокутних СЗОК при використанні трисекційних МПВ різних розмірів з $i_{К.СЗОК} = 1; 1,618; 3,25$ відн. од [142]

З рис. 2.12 видно, що у багатосекційних МПВ ділянка площ найбільш прийнятна, з практичної точки зору для використання, змістилася в сторону більших значень – від (рис. 2.8, А-В) для глухих СЗОК до (рис. 2.12, А-В). Крім того вікна вказаного діапазону стали більш привабливими не тільки з естетичної точки зору, але й з точки зору заскленості.

Висновки до розділу 2

1. Встановлено, що для різних конфігурацій СЗОК відносна площа засклення значною мірою не відрізняється (для СЗОК площею 3 м² різниця в відносній площі засклення між круглою та трикутною СЗОК становить 6,8%), проте враховуючи складність в монтажі та високу вартість, найкращим варіантом є прямокутні СЗОК.

2. Отримано аналітичні вирази для визначення відносних і абсолютних значень площ засклення, профілю та заповнення СЗОК прямокутної конфігурації з будь-яким наперед заданим індексом координації, що дає можливість визначити інтегральний термічний опір СЗОК та встановити доцільність встановлення СЗОК в приміщенні малих розмірів.

3. Доведено, що тільки з залежностей відносних площ засклення від площ СЗОК можна визначитися з прийнятним діапазоном розмірів МПВ з точки зору забезпечення високої природної освітленості приміщень.

4. Встановлено, що у багатосекційних МПВ площа засклення завжди менша ніж у глухих (див. рис. 2.10 та 2.14) за рахунок доповнення їх рухомими секціями, що вказує на доцільність відмови від традиційних кватирок і необхідність обмеження їх числом, достатнім для підтримання високої частки засклення СЗОК.

РОЗДІЛ 3

ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ БОКОВОГО ПРИРОДНОГО ОСВІТЛЕННЯ В ОФІСНИХ ПРИМІЩЕННЯХ

Природна освітленість на робочому місці піддається значним коливанням в залежності від багатьох причин: зовнішньої освітленості, відстані робочого місця від СЗОК і їх стану, системи освітлення (через СЗОК або світлові ліхтарі), затінення від будинків розташованих поруч і від ряду інших чинників. Інтенсивність природного освітлення виробничих приміщень залежить також від світлового клімату місцевості, орієнтації СЗОК за сторонами світу, їх розміру, розташування; забарвлення робочих приміщень.

3.1. Доцільність природного освітлення приміщень

Міністерство енергетики США оприлюднило статистичні дані, в яких йдеться про те, що 35 % існуючих будівель в Сполучених Штатах мають достатню кількість скляних фасадів, щоб отримувати вигоду від природного освітлення. Якби всі ці будівлі були оснащені фотоелементами, які керують системою електричного освітлення, США щорічно економили б 8112 МВт·год електроенергії.

Денне світло не обов'язково передбачає наявність скляних фасадів по всіх будівлях. У скляному будинку без елементів управління денним освітленням може виникнути більше проблем, ніж користі у вигляді надмірного сонячного тепла, перегріву і сильних відблисків. Природне освітлення – це розумний кількісний і якісний контроль денного світла всередині будівлі. Природне освітлення – це ретельне вивчення розташування будівлі на певній ділянці, її форми, мікроклімату, орієнтації і затінення таким чином щоб можна було задовольнити чимало вимог, які часом здаються суперечливими, а саме:

- збільшення кількості природного світла в основній частині будівлі;
- наявність достатньої кількості природного світла в межах певних проміжків часу;
- захист людей від надмірно яскравого світла;

- забезпечення привабливого зовнішнього вигляду;
- мінімізація кількості сонячного тепла, яке проникає в приміщення, влітку і максимізація в зимовий період.

Проектування природного освітлення це не просто виконання нормативних вимог. Питання спектрального складу, яскравості контрастів, інтенсивності світла і кольору нерозривно пов'язані з визначенням зовнішнього вигляду об'єкта або кімнати. Ці вимоги не завжди виконуються шляхом застосування технічних концепцій або математичних алгоритмів.

3.2. Економічні переваги природного освітлення

Економічні переваги природного освітлення часто розглядаються з точки зору енергозбереження, без врахування зростання продуктивності праці, яка може бути вагомішою за економію енергії. За даними Управління США з загальних послуг, агентства федерального уряду США, яке управляє всіма федеральними будівлями США за 40-річний термін експлуатації офісної будівлі, витрати на заробітну плату становили близько 92 % загальних витрат коштів, в той час як витрати на будівництво і технічне обслуговування – тільки 2 % і 6 %, відповідно. Інвестиції, спрямовані на поліпшення об'єкта за допомогою кращих систем освітлення, опалення та охолодження, можуть бути легко компенсовані підвищенням продуктивності праці. У типових офісних будівлях витрати на електроенергію складають в середньому 2,54 USD/м² (2013 р.), а щорічні оклади співробітників і пільги – 1400 USD/ м². Підвищення продуктивності, навіть якщо воно невелике, може мати серйозні економічні переваги, окрім економії енергії. Підвищення продуктивності на 5 % може компенсувати більш 40 % усіх витрат на будівництво, експлуатацію та обслуговування протягом терміну експлуатації офісної будівлі відповідно до дослідження General Services Administration (GSA).

Статистика та дослідження, такі як дослідження GSA, викликали інтерес до вивчення причинно-наслідкового зв'язку між фізичним середовищем і роботою. Продуктивність праці, не завжди піддається кількісному визначенню. Продуктив-

ність може мати різні значення і вимірюється по-різному в залежності від типу виконуваної роботи. Незважаючи на те, що причинно-наслідковий зв'язок між задоволеністю та успішністю в офісах важко встановити, великий обсяг досліджень, вказує на те, що офісні працівники сприймають своє особисте задоволення робочим середовищем як тісно пов'язане з їх роботою.

3.3. Особливості проектування природного освітлення

Природна освітленість виробничих приміщень нормується за величиною КПО. Для приміщень з верхнім або комбінованим освітленням нормується середнє значення КПО на робочій поверхні (РП), а для приміщень з боковим освітленням – мінімальний. Це пояснюється тим, що бічне освітлення характеризується помітною нерівномірністю і тому середнє значення КПО не може гарантувати дотримання умови необхідної нормованої освітленості. При верхньому освітленні рівномірність розповсюдження світлового потоку виходить досить високою і тому середнє значення КПО його цілком характеризує.

Крім розрахунку КПО, для характеристики природного освітлення визначають світловий коефіцієнт (СК), кут падіння і кут отвору. СК визначається, як відношення площі СЗОК до площі підлоги приміщення. Кут падіння – це кут, під яким світлові промені падають через СЗОК на робочу поверхню. Кут отвору – розмір ділянки небосхилу, світло від якої падає на робоче місце і безпосередньо освітлює робочу поверхню.

Визначальну роль у формоутворенні будівель з метою максимального використання позитивної і нейтралізації негативної дії зовнішнього клімату належить заскленню. Врахування цих обставин дозволяє знизити витрати теплової енергії на опалення на 10-15 %, а на охолодження приміщень на 20-25 % [150].

Останнім часом запропоновано нові підходи до засклення як до елементу системи кліматизації будівель (опалення та вентиляції). Давно існує ідея щодо конструкції СЗОК з мобільним теплозахистом для нічного періоду часу, за рахунок заповнення простору склопакету теплозахисним екраном. Для зменшення лі-

тнього перегріву приміщень рекомендується мінімізувати площу засклення будинків і орієнтувати їх на захід.

Ступінь чистоти скління також впливає на освітленість. Так, через брудне, запилене скло не проходить близько 50% світлових променів. Поверхня засклення СЗОК повинна бути рівною, тому що не тільки брудне скло, але й хвилясте поглинає та відбиває більше випромінювання у видимому спектрі. Штори на вікнах можуть поглинати до 40% світла. Освітленість приміщень залежить від кольору стін, стелі і меблів. Темні кольори більше поглинають світлових променів і тим самим знижують ступінь передачі світала [150].

На початку проведення досліджень щодо впливу розмірів приміщення та СЗОК на величину КПО, необхідно було визначитись з вимогами та правилами його розрахунку. Відповідно до діючого нормативного документу [152] є два варіанти вибору РТ: 1 – по найвіддаленішій точці РП від середини СЗОК; 2 – по середині приміщення на відстані 1 м від стіни протилежної до СЗОК. 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 СЗОК. З врахуванням вищевказаних зауважень для бокового освітлення, в [151] запропоновано наступне визначення. Характерний розріз приміщення – це розріз А-А (рис. 3.1), площина якого перпендикулярна до площини СЗОК та проходить через найвіддаленішу точку робочої поверхні (т. С рис. 3.1) від центру СЗОК.

На рис. 3.1 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; $l_{РТ}$ – відстань від осі симетрії СЗОК до розрахункової точки, м.

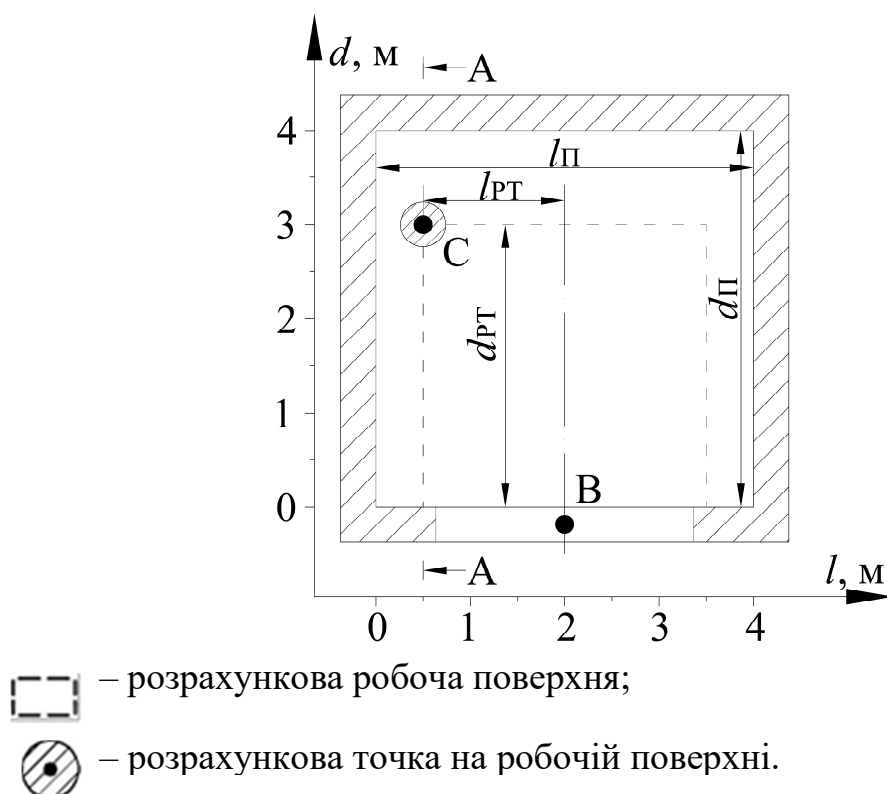


Рис. 3.1. Схема приміщення з розмірами 4×4 м та СЗОК площею 6 м² [151]

3.4. Аналіз впливу розмірів приміщень, площі та пропорцій світлопрозорих зовнішніх огорожувальних конструкцій на величину коефіцієнту природного освітлення в розрахунковій точці

Відповідно до будівельних норм України [152], які відповідають європейським стандартам [155], 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 СЗОК.

Для досліджень [151] 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 $h_{\text{РП}} = 0,8$ м.

Місце розташування СЗОК впливає на величину КПО, у зв'язку з різною яскравістю ділянок хмарного неба, згідно з [152, 155]. Тому центри ваг обраних

СЗОК були зафіксовані в одній точці W, яка розміщена в центрі ділянки ЗОК, що знаходиться над рівнем РП ($h_{\text{РП}}$) (рис. 3.2).

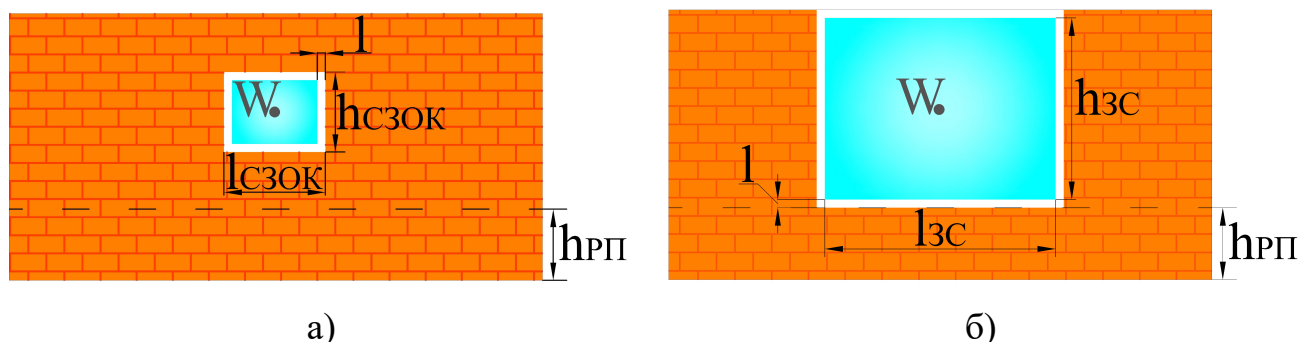


Рис. 3.2. Зовнішній вигляд огорожувальної конструкції з СЗОК прямокутної конфігурації площею: а – 1 м²; б – 6 м² [151]

Площа всіх СЗОК, які розглядалися, змінювалася від мінімально можливої, рекомендованої в [153, 156] $S_{\text{СЗОКmin}} = 0,12 \text{ м}^2$, до максимально допустимої $S_{\text{СЗОКmax}} = 6 \text{ м}^2$, для односекційної глухої СЗОК. Пропорції СЗОК 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 $l_{\text{СЗОК}} = S_{\text{СЗОКmax}} / (h_{\text{П}} - h_{\text{РП}}) = 6 / (3 - 0,8) = 2,73 \text{ м}$; висота $h_{\text{СЗОК}} = S_{\text{СЗОКmax}} / l_{\text{СЗОК}} = 6 / 2,73 = 2,2 \text{ м}$. Таким чином усі СЗОК, які розглядались в, мали пропорції $(l_{\text{СЗОК}} / h_{\text{СЗОК}}) : 2,73 / 2,2$ [151].

3.4.1. Вплив геометричних розмірів приміщень та світлопрозорих зовнішніх огорожувальних конструкцій на величину коефіцієнту природного освітлення в розрахунковій точці

Варто також зауважити те, що ще у 2006 році наукова спільнота прийшла до висновку, що методики визначення величини КПО, які наведені в [152], є застарілими [25, 158]. На даний час розроблено велика кількість безкоштовних, високоточних програм для розрахунку природного освітлення, достовірність яких перевірена реальними вимірюваннями в [159, 160].

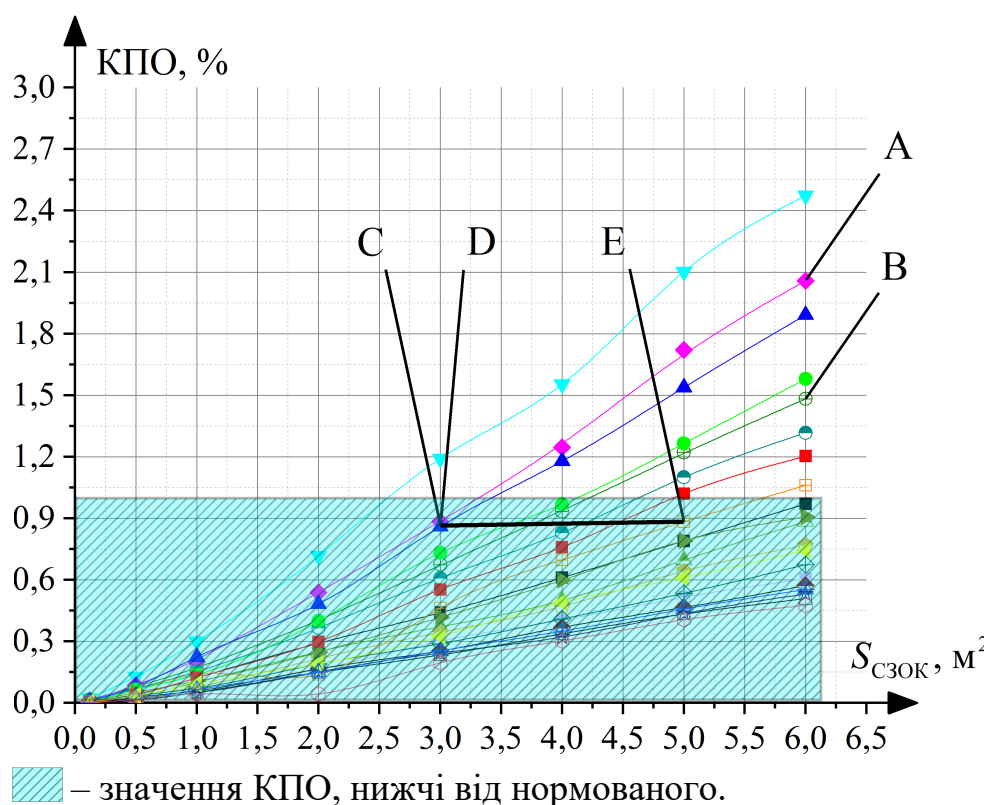
Площі засклення, профілю та запінення розраховано для СЗОК різної площі, прямокутної конфігурації, при однаковому значенні індексу координації СЗОК ($i_{\text{К.СЗОК}} = 2,73 / 2,2$). Розрахунки проводились для приміщень, параметри яких від-

повідують вимогам чинних нормативних документів України [152-154] та європейських аналогів [155-157]. Відповідно до них вибрані значення висоти приміщення, товщини його стін та коефіцієнти відбиття внутрішніх поверхонь огорожувальних конструкцій (табл. 3.1).

Таблиця 3.1

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



Розміри приміщення (м):

- ▼— 4×4; —◆— 5×4; —▲— 6×4; —●— 7×4; —■— 8×4;
 —⊕— 4×5; —●— 5×5; —⊞— 6×5; —▶— 7×5; —◀— 8×5;
 —■— 4×6; —▲— 5×6; —⊞— 6×6; —⊕— 7×6; —▲— 8×6;
 —■— 4×7; —◆— 5×7; —☆— 6×7; —⊞— 7×7; —⊕— 8×7.

Рис. 3.3. Залежність КПО від площі СЗОК для приміщень різних розмірів [151]

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, наведе-

ними у табл. 3.1. Розглядались СЗОК площею 0,12-6 м², товщина непрозорої частини яких розраховувалась за формулою (2.8). Розрахунки проведено в програмі Relux за алгоритмом глобальної освітленості (Radiosity). Похибка не перевищила 7% [161]. Згідно з [162] похибка розрахунків в програмі Relux не перевищує $\pm 10\%$. Цього цілком достатньо для проведення різного роду світлотехнічних розрахунків. За результатами розрахунків були побудовані відповідні графічні залежності, представлені на рис. 3.3.

З рис. 3.3 видно, що при однаковій площі приміщень 20 м² (4×5 і 5×4) з СЗОК площею 6 м² значення КПО відрізняються в 1,387 раз (рис. 3.3, т. А, В). Зі збільшенням ширини приміщення з СЗОК площею 3 м², на 1 м (від 5×4 (20 м²) до 6×4 (24 м²)) значення КПО зменшується в 1,03 раз (рис. 3.3, 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 СЗОК на 2 м² (рис. 3.3, 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.

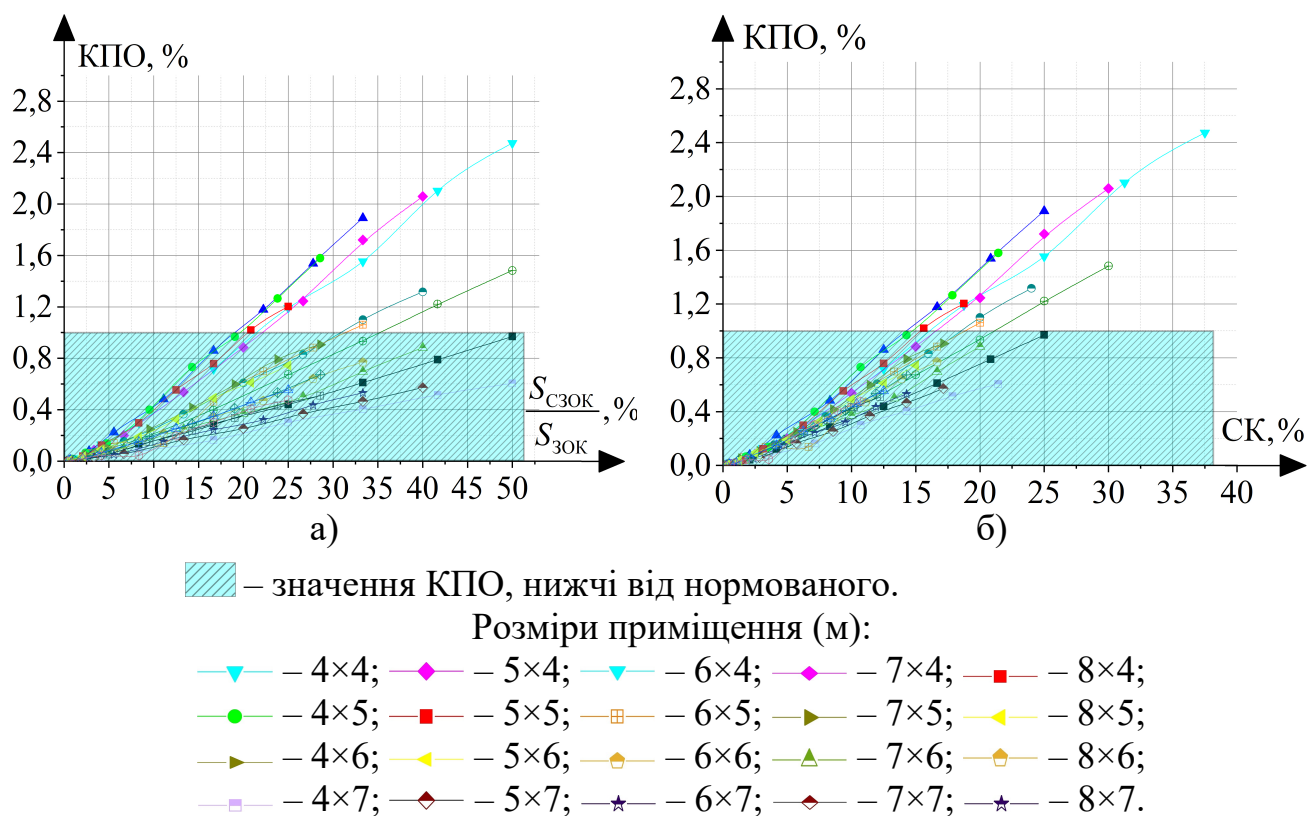


Рис. 3.4. Залежність величини КПО від: а – WWR ($S_{\text{СЗОК}}/S_{\text{ЗОК}}$); б – СК ($S_{\text{СЗОК}}/S_{\text{П}}$) [151]

У дослідженнях [53, 69-76, 163-165], для узагальнення отриманих результатів було використано window-to-wall ratio (WWR), тобто відношення площі СЗОК ($S_{\text{СЗОК}}$) до внутрішньої площі огорожувальної конструкції $S_{\text{ОК}}$, в якій він встановлений. Як видно з рис. 3.4, 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 засклення чи СЗОК. У східноєвропейських країнах, таких, як Україна, Білорусь, Росія та ін. для цього використовується СК, який визначається як відношення площі СЗОК до площі підлоги приміщення ($S_{\text{П}}$). В англійській літературі СК згадується як window-to-floor ratio (WFR).

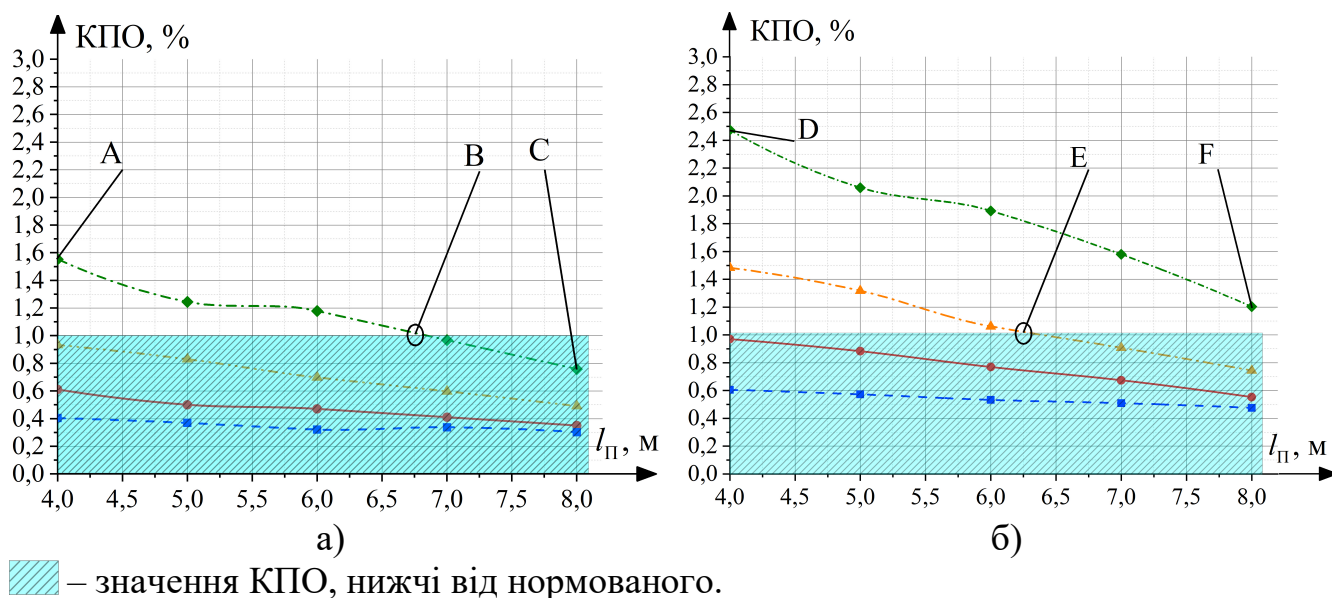
Для побудови графічних залежностей (рис. 3.4), використані дані, отримані при визначенні залежності КПО в РТ від площі СЗОК в ЗОК (рис. 3.3).

Як видно з рис. 3.4, в обох випадках графіки подібні. Проте СК (рис. 3.4, б) доцільніше використовувати для порівняння ефективності природного освітлення, оскільки він враховує не тільки площу СЗОК, але й площу приміщення. В свою чергу, WWR доцільніше використовувати для порівняння теплоізоляційних властивостей СЗОК, оскільки він враховує тільки відносну площу СЗОК в ЗОК. При порівнянні значень КПО при однакових значеннях СК, 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.

Розглянемо більш детально питання щодо впливу ширини та глибини приміщення на величину КПО в РТ. При розрахунках величини КПО в розмірах СЗОК були враховані і такі параметри, як товщина профілю і запінення, які визначались за рівняннями (2.8, 2.9, 2.16, 2.21-2.23) [166].

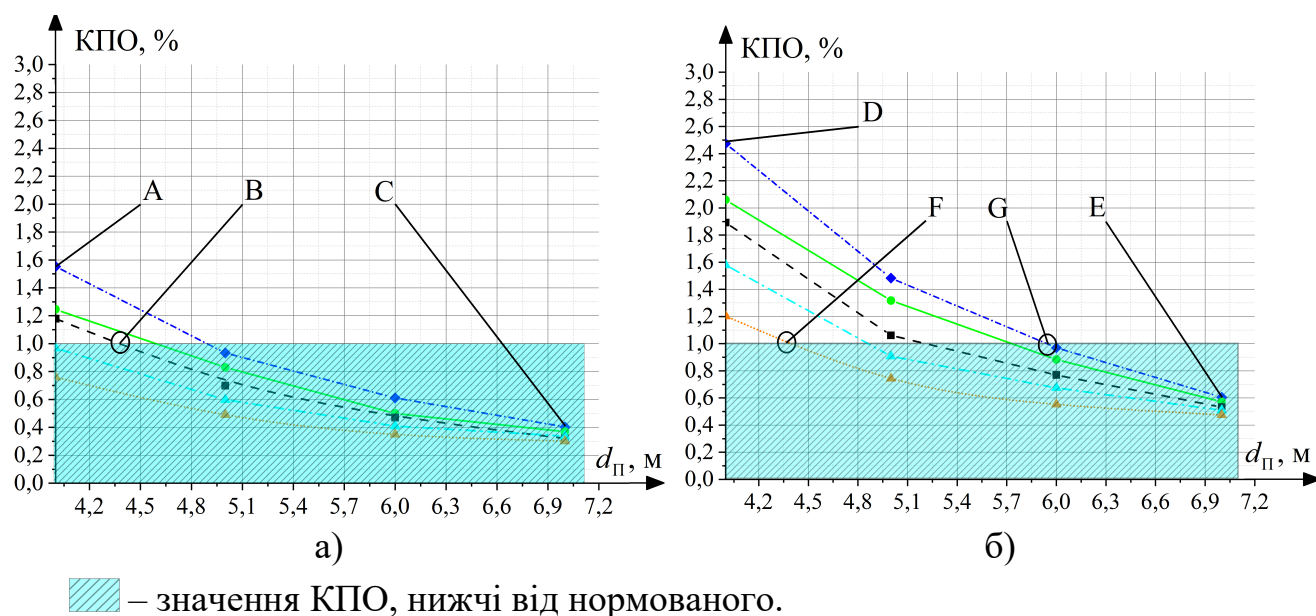
Відповідно до рис. 3.5 ширина приміщення 6,5 м є максимальною, при якій забезпечується нормований КПО при односторонньому боковому освітленні через СЗОК площею 4 м², при глибині приміщення від 4 м включно (верхня крива на рис. 3.5, а). При збільшенні площі СЗОК, КПО змінюється за залежністю близь-

кою до лінійної (ділянка AC на рис. 3.5, а). При збільшенні ширини вдвічі (з 4 м (рис. 3.5, б, т. D) до 8 м (рис. 3.5, б, т. F)) КПО також зменшується майже вдвічі (з 2,47% до 1,20%). При збільшенні глибини приміщення динаміка падіння КПО у разі зміни ширини приміщення зменшується.



Глибина приміщення (м):
 -♦-♦-♦- $d_{\Pi} = 4$; —▲—▲— $d_{\Pi} = 5$; —●—●— $d_{\Pi} = 7$; —■—■— $d_{\Pi} = 7$.

Рис. 3.5. Графіки залежності КПО в РТ для СЗОК площею: а) 4 м² і б) 6 м² від ширини приміщення [166]



Ширина приміщення (м):
 -♦-♦-♦- $l_{\Pi}=4$; —●—●— $l_{\Pi}=5$; —■—■— $l_{\Pi}=6$; —▲—▲— $l_{\Pi}=7$; —▲—▲— $l_{\Pi}=8$;

Рис. 3.6. Графіки залежності КПО в розрахунковій точці для СЗОК площею: а) 4 м² і б) 6 м² від глибини приміщення [166]

Як видно з рис. 3.5 і 3.6, глибина приміщення має більший вплив на величину КПО, а ніж його ширина. При збільшенні ширини приміщення у $7/4 = 1,75$ раз від 4 м (рис. 3.5, б, т. D) до 7 м (рис. 3.5, б, т. E) КПО зменшується з 2,47% до 0,61% (у $2,47\%/0,61\% = 4,05$ раз) (див. рис. 3.5, б). В той час як при збільшенні ширини приміщення вдвічі (з 4 до 8 м) КПО зменшується у $(2,47\% / 1,20\% = 2,06$ раз).

3.4.2. Вплив пропорцій світлопрозорих зовнішніх огорожувальних конструкцій на величину коефіцієнту природного освітлення в розрахунковій точці

На величину КПО в РТ також впливають і пропорції СЗОК. Для визначення інтенсивності їх впливу було обрано приміщення з розмірами (ш×г) 4×5 м. Коефіцієнт пропускання світла металопластиковою конструкцією становив 80%. На рис. 3.7 наведено графіки залежності КПО в РТ від відношення ширини СЗОК ($l_{\text{СЗОК}}$) до його висоти ($h_{\text{СЗОК}}$). Розрахунки КПО проводились в програмі Relux. Відповідно до рис. 3.5, при однаковій площі і пропорціях СЗОК, КПО змінюється по-різному в приміщеннях різних розмірів.

Таким чином, окрім площі засклення СЗОК на величину КПО впливає і місце розташування розрахункової точки в приміщенні. Зміна її координат буде впливати на оптимальні розміри СЗОК, при яких буде забезпечено нормовану величину КПО в РТ.

Для визначення впливу пропорцій і площ СЗОК на величину КПО в приміщенні з розмірами (ширина × глибина × висота) 6×5×3 м були вибрані СЗОК з площами 1 м², 1,5 м² та 2 м². Площі СЗОК були вибрані таким чином, щоб при відношенні ширини до висоти 1/4, СЗОК в приміщенні висотою 3 м можна було розмістити вертикально. Оскільки коефіцієнт, який враховує нерівномірну яскравість ділянки хмарного неба, відповідно до МКО, залежить від кутової висоти середнього променя ділянки небосхилу, яку видно з розрахункової точки через СЗОК в розрізі приміщення. В [167] було розглянуто приміщення шириною 6 м і глибиною 5 м з розміщенням розрахункової точки на підлозі на відстані 1 м від стіни навпроти СЗОК і 0,5 м від стіни перпендикулярної до СЗОК. Це дало можливість розраховувати КПО для найвіддаленішої від СЗОК точки робочої поверхні.

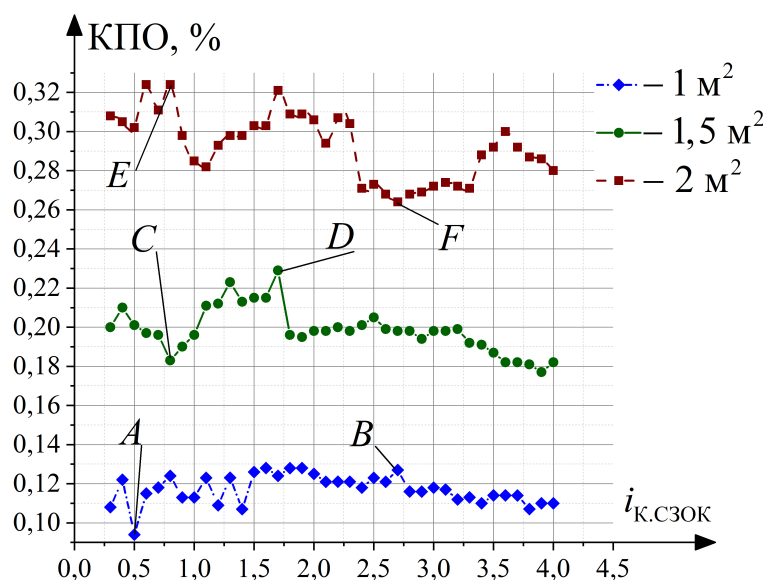


Рис. 3.7. Залежність КПО в розрахунковій точці на підлозі приміщення від зміни індексу координації СЗОК ($i_{к.СЗОК}$) при різних її площі [167]

Як видно з рис. 3.7, геометричні параметри СЗОК суттєво впливають на величину КПО в розрахунковій точці. В залежності від пропорцій СЗОК значення КПО коливається від 0,094 до 0,128% для СЗОК площею 1 м^2 (рис. 3.7, т. A і B); від 0,177 до 0,229% (рис. 3.7, т. C і D) для СЗОК площею $1,5 \text{ м}^2$; від 0,264 до 0,324% (рис. 3.7, т. E і F) для СЗОК площею 2 м^2 .

3.4.3. Вплив розміщення світлопрозорої зовнішньої огорожувальної конструкції в зовнішній огорожувальній конструкції та розмірів приміщення на величину КПО в розрахунковій точці

Ще одним параметром, який впливає на значення КПО в розрахунковій точці є розміщення СЗОК в ЗОК. Оскільки освітленість від бокових СЗОК розподіляється майже симетрично по підлозі приміщення, то зміщувати СЗОК по горизонталі немає змісту, оскільки тоді зміщуватиметься точка з мінімальною освітленістю. Тому, для визначення впливу розміщення СЗОК в ЗОК [167] змінювалась тільки висота СЗОК. Для дослідження впливу висоти розміщення СЗОК на КПО в розрахунковій точці [167] обрано СЗОК площею 1 м^2 ; $1,5 \text{ м}^2$; 2 м^2 , з відношенням ширини до висоти $1/2$, результати розрахунку наведено в табл. 3.2.

Таблиця 3.2

Залежність КПО в розрахунковій точці приміщення від висоти СЗОК над нею

Площа СЗОК, м ²	Висота СЗОК над розрахунковою точкою, м				
	0	0,5	1	1,5	2
1	0,090	0,143	0,136	0,112	0,177
1,5	0,149	0,197	0,196	0,230	0,284
2	0,228	0,286	0,300	0,355	0,431

Як видно з табл. 3.2 при збільшенні площі СЗОК КПО збільшується з кратністю, яка як правило, перевищує кратність збільшення його площі ($0,149/0,090 = 1,65$; $0,228/0,090 = 2,53$). При збільшенні висоти СЗОК над підлогою КПО збільшується тільки для СЗОК площею більшою за 1,5 м². Для СЗОК площею $S_{\text{СЗОК}} \leq 1 \text{ м}^2$ такої закономірності не спостерігається.

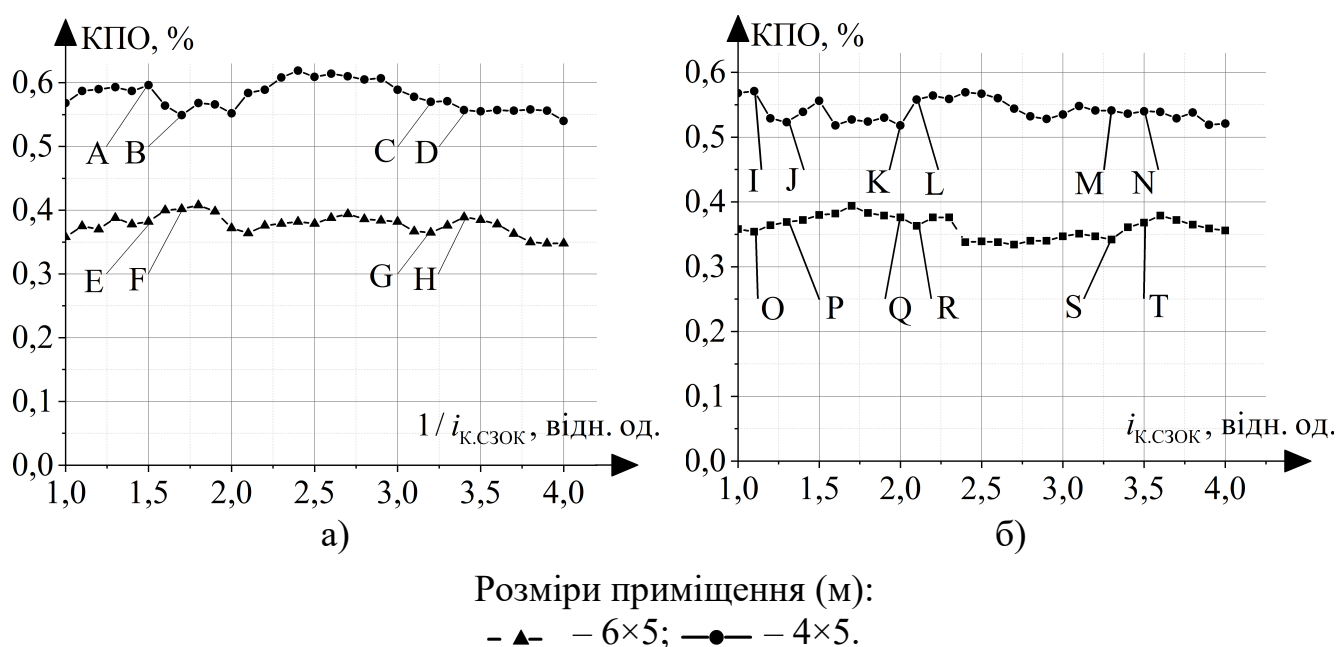


Рис. 3.8. Залежність величини КПО від відношення: а) індексу координації СЗОК; б) ширини СЗОК до її висоти для приміщень різних розмірів, при площі СЗОК 2 м² [151]

Як бачимо з рис. 3.8, б пропорції СЗОК впливають на значення КПО в РТ, тому було перевірено, чи однаково змінюється КПО в залежності від пропорцій СЗОК в приміщеннях різних розмірів. Для цього досліджувались приміщення розмірами 6×5 м та 4×5 м, з площею СЗОК 2 м² і з параметрами (табл. 3.1). Відношення висоти до ширини СЗОК (рис. 3.8, а) та ширини до висоти СЗОК (рис. 3.8, б) змінювались від 1 до 4, з кроком 0,1. Оскільки, у випадку з вертика-

льним вікном ($h_{\text{СЗОК}} > l_{\text{СЗОК}}$) всі значення знаходитимуться на відрізку від 0 до 1, залежності КПО для вертикального і горизонтального ($(l_{\text{СЗОК}} > h_{\text{СЗОК}})$) СЗОК представлено двома рисунками.

При зміні пропорцій СЗОК величина КПО для приміщення розміром 4×5 м спадає (рис. 3.8, *а*, ділянка *A-B*), а для приміщення 6×5 м, в тому ж діапазоні пропорцій, – зростає (рис. 3.8, *а*, ділянки *E-F*). На рис. 3.8, *а, б* на ділянках *C-D*, *I-J*, *M-N*, *Q-R*, *S-T* КПО спадає, а на ділянках *G-H*, *O-P*, *K-L*, *S-T* зростає. Це свідчить про те, що при різних розмірах приміщення характер зміни КПО відносно пропорцій не є синхронним. Це обумовлено тим, що при зміні розмірів зміщується і місце розташування РТ відносно СЗОК.

3.4.4. Вплив товщини зовнішньої огорожувальної конструкції на величину КПО в розрахунковій точці

Наступним було розглянуто питання щодо впливу товщини зовнішньої огорожувальної конструкції на величину КПО в розрахунковій точці [168].

Для розрахунків були прийняті наступні вихідні дані: розміщення – м. Тернопіль; розміри приміщень в плані – 4×6 м; 6×4 м. Висота приміщень 3 м. Товщина ЗОК (z) змінювалась від 0,2 м до 1 м. Площа СЗОК – 3 м². В СЗОК враховувались розміри запінення, профілю та засклення.

В дослідженні [168] також розглянуто декілька варіантів пропорцій СЗОК, оскільки вони мають вплив на величину КПО в РТ. Розглянуто пропорції золотого січення (вертикальну і горизонтальну), які найкраще сприймаються з візуальної точки зору.

Як видно з рис. 3.9, *а*, для трьох випадків величина КПО значно відрізняється при ширині ЗОК 0,5 м для пропорцій 1,613/1 і 1/1 (0,295% і 0,296%) (рис. 3.9, *а, т. Е і Н*) у порівнянні з 1/1,613 (0,350%) (рис. 3.9, *а, т. В*). Проте при збільшенні товщини ЗОК більше 0,5 м значення КПО у трьох випадках мало відрізняються (до 0,015%). А при збільшенні товщини ЗОК з 0,2 м до 1 м значення КПО зменшилось з 0,372% (рис. 3.9, *а, т. D*) до 0,268% (рис. 3.9, *а, т. F*) для пропорцій 1,613/1 (в 1,39 раз), з 0,349% (рис. 3.9, *а, т. G*) до 0,265% (рис. 3.9, *а, т. I*) для 1/1 (в 1,32 раз) і з 0,387% (рис. 3.9, *а, т. A*) до 0,257% (рис. 3.9, *а, т. C*) для 1/1,613 (в 1,51

раз). В цьому випадку для різних пропорцій зменшення значення КПО зі збільшенням товщини стіни з 0,2 м до 1 м є близьким для пропорцій 1,613/1 та 1/1.

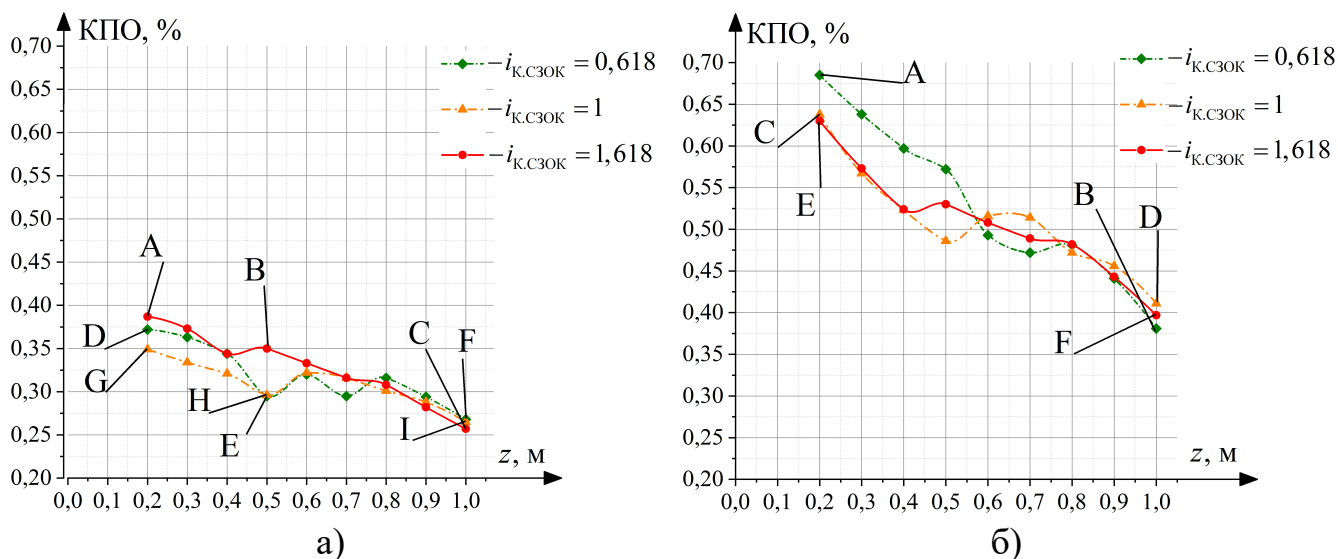


Рис. 3.9. Залежність КПО в РТ від товщини ЗОК з СЗОК площею 3 м² для приміщень розмірами: а) 4×6 м; б) 6×4 м [168]

Відповідно до рис. 3.9, б як і у випадку з приміщенням 4×6 м, при товщинах ЗОК більше 0,5 м, величина КПО слабо змінюється при зміні пропорцій СЗОК. Проте при збільшенні товщини на 0,8 м значення КПО зменшується з 0,685% (рис. 3.9, б, т. А) до 0,381% (рис. 3.9, б, т. В) для пропорцій 1,613/1 (в 1,80 раз), з 0,638% (рис. 3.9, б, т. С) до 0,411% (рис. 3.9, б, т. D) для пропорцій 1/1 (в 1,55 раз) і з 0,630% (рис. 3.9, б, т. E) до 0,397% (рис. 3.9, б, т. F) для пропорцій 1/1,613 (в 1,59 раз). В цьому випадку однакове зменшення значення КПО спостерігається для пропорцій 1/1 та 1/1,613. Отже, при збільшенні товщини ЗОК від 0,2 м до 1 м величина КПО зменшується у 1,32-1,80 раз, в залежності від пропорцій СЗОК та приміщення. Найменший вплив товщини ЗОК на величину КПО (зменшення в 1,32-1,51 раз) характерний для глибоких приміщень (4×6 м), тоді як для широких приміщень (6×4 м) цей вплив більш суттєвий (зростання в 1,87-1,92 раз).

3.5. Визначення зведеного індексу засклення приміщення

Як видно з рис. 3.4, використання СК 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 СЗОК є засклення, то замість площі СЗОК коректніше враховувати площу засклення СЗОК $S_{ЗС}$ (2.21). Нормоване значення КПО необхідно забезпечити на РП, а не на всій площі приміщення (рис. 3.1). 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 [169]. З вищевикладеного можна зробити висновок, що розподіл КПО на РП по ширині приміщення є симетричним відносно осі симетрії СЗОК. Тому площу РП можна визначити як подвійний добуток глибини РТ ($d_{РТ}$) на відстань від осі симетрії СЗОК до РТ ($l_{РТ}$) ($S_{РП} = 2 \cdot d_{РТ} \cdot l_{РТ}$) (рис. 3.1).

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 СЗОК, буде більший КПО, а ніж в РТ. Тому при аналізі потрібно враховувати найвіддаленішу точку робочої поверхні (рис. 3.1, т. С) від центру СЗОК (рис. 3.1, т. В).

З вищезгаданих тверджень випливає доцільність використання відношення $S_{ЗС}/S_{РП}$ замість СК. Для зменшення похибки розрахунків необхідно враховувати не тільки площі засклення та РП, але й розміри РП. Для цього відношення $S_{ЗС}/S_{РП}$ помножмо на функцію індексу координації РП (3.2)

$$f(i_{к.РП}) = f(2 \cdot l_{РТ} / d_{РТ}). \quad (3.2)$$

При пошуку функції рівняння (3.2), яка могла б забезпечити необхідну точність розрахунків, було проведено дослідження степеневої, показникові та логарифмічної функціональних залежностей $i_{к.РП}$. Оскільки площа РП та індекс коор-

динації РП при множенні призводять до скорочення її ширини ($i_{\text{К.РП}} \cdot S_{\text{ЗС}}/d_{\text{РТ}}^2$) або глибини ($i_{\text{К.РП}} \cdot S_{\text{ЗС}}/(4 \cdot l_{\text{РТ}}^2)$), лінійні та гіперболічні функції не розглядались.

Аналіз [151] показав, що степенева залежність $i_{\text{К.РП}}$ 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. 3.7, спільне значення степеню $i_{\text{К.РП}}(x)$ 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. 3.10, т. А₁, А₂, А₃).

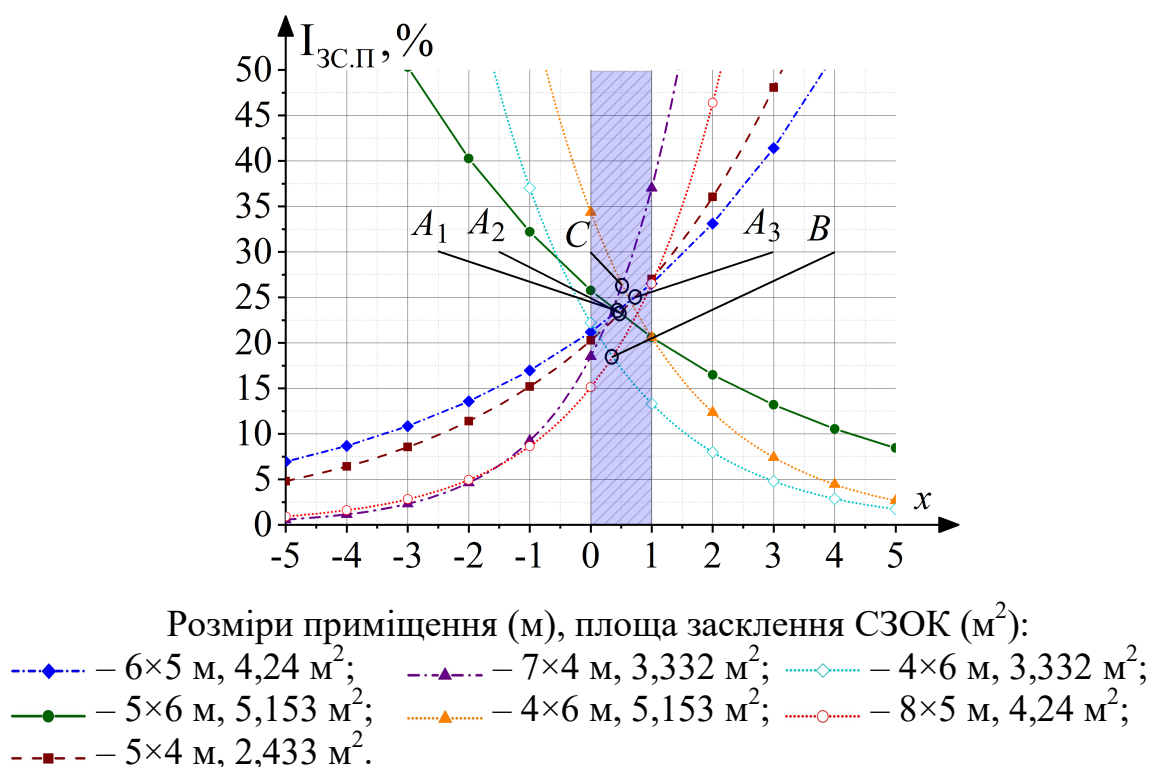


Рис. 3.10. Залежність зведеного індексу засклення приміщення (ЗІЗП) від степеню $i_{\text{К.РП}}(x)$ [151]

Для побудови графічних залежностей (рис. 3.10) були використані рівняння, які описують вплив величини площі засклення, робочої поверхні та розмірів приміщення в плані на величину КПО в РТ (зведений індекс засклення приміщення (ЗІЗП)) на x для вищезгаданих випадків. Загальний вигляд рівнянь:

$$I_{\text{ЗС.П}} = S_{\text{ЗС}}/S_{\text{РП}} \cdot i_{\text{К.РП}}^x \quad [151].$$

Для розглянутих варіантів з однаковою величиною КПО спільне значення x знаходиться в межах від 0 до 1 (рис 3.10, 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 [151], 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. 3.11, т. А і В).

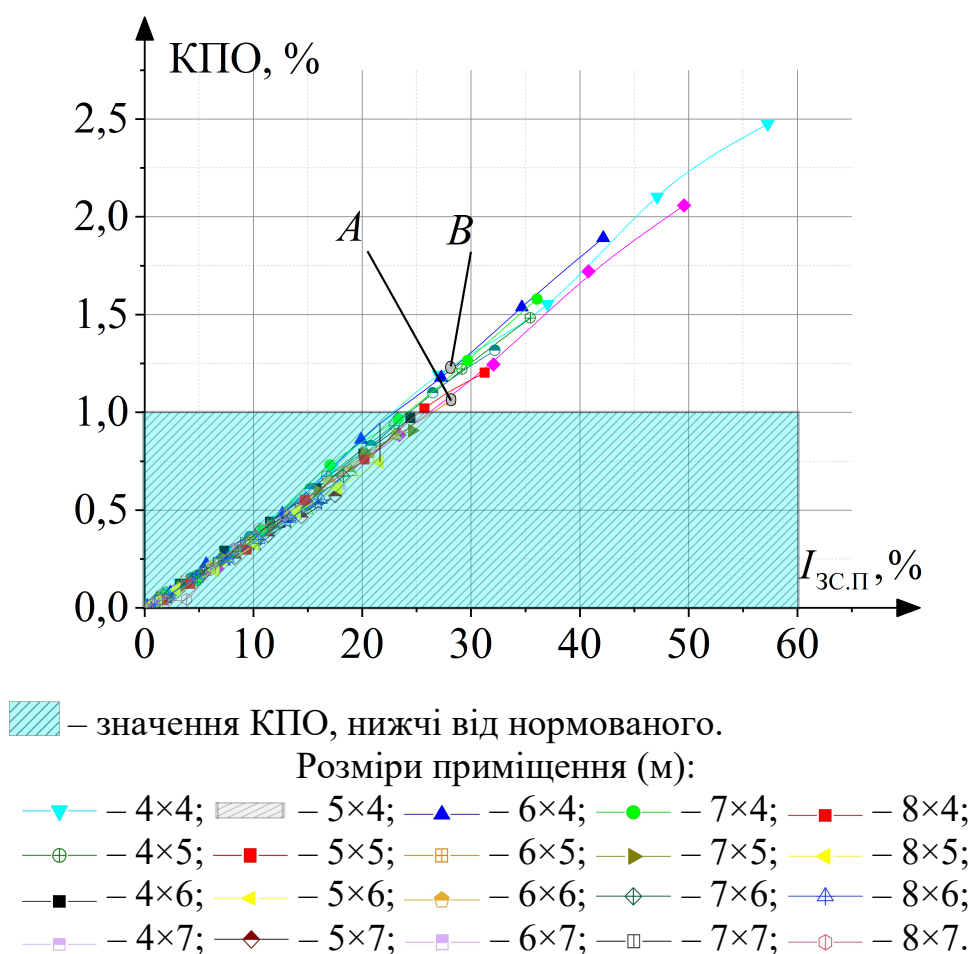


Рис. 3.11. Залежність величини КПО від ЗІЗП [151]

Для побудови графічної залежності КПО від ЗІЗП (рис. 3.11), використано дані, отримані при визначенні залежності КПО в РТ від площі СЗОК в ЗОК (рис. 3.3).

В результаті врахування зауважень щодо СК і використання степеневої функції для виразу (3.2), показник степеню якої $1/l_{РТ}$, отримано вираз (3.3) для ЗІЗП

[151]. Отже, зведений індекс засклення приміщення – це індекс, який характеризує вплив площ засклення, робочої поверхні та розмірів приміщення в плані на величину КПО в РТ. Отримана залежність враховує не тільки вплив площ засклення СЗОК та РП, але й геометричних розмірів РП, на величину КПО в РТ.

$$I_{\text{ЗС.П}} = S_{\text{ЗС}} / S_{\text{РП}} \cdot \sqrt[4]{2 \cdot l_{\text{РТ}} / d_{\text{РТ}}} \cdot 100, \% \quad (3.3)$$

В результаті апроксимації отриманих точкових даних (рис. 3.11) методом найменших квадратів отримано вираз (3.4), 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.

$$I_{\text{ЗС.П}} = -2,148 \cdot \text{КПО}^2 + 27,087 \cdot \text{КПО} + 0,487, \% \quad (3.4)$$

Для компенсації відхилень значення КПО відносно ЗІЗП, які зумовлені не синхронним характером зміни КПО відносно пропорцій СЗОК (рис. 3.7, 3.8), вводимо коефіцієнту запасу (3.5).

$$I_{\text{ЗС.П}} = 1,1 \cdot (-2,148 \cdot \text{КПО}^2 + 27,087 \cdot \text{КПО} + 0,487), \% \quad (3.5)$$

де 1,1 – коефіцієнт запасу, відн. од.

При визначенні ЗІЗП в (3.5) не враховано вплив коефіцієнта відносного проникнення сонячної радіації (КВПСР) ($\varepsilon_{\text{ЗС}}$) на величину КПО. В даному дослідженні його величина прийнята рівною $\varepsilon_{\text{ЗС}} = 0,8$ відн. од. Відповідно до [170] величина КПО прямо пропорційна коефіцієнту пропускання світла. Тому, для його врахування, вираз (3.5) необхідно помножити на $0,8/\varepsilon_{\text{ЗС}}$. Тоді вираз (3.5) прийме наступний вигляд (3.6)

$$I_{\text{ЗС.П}} = 1,1 \cdot 0,8 / \varepsilon_{\text{ЗС}} \cdot (-2,148 \cdot \text{КПО}^2 + 27,087 \cdot \text{КПО} + 0,487), \% \quad (3.6)$$

де $\varepsilon_{\text{ЗС}}$ – коефіцієнт відносного проникнення сонячної радіації через засклення СЗОК, відн. од.

Варто зауважити, що зведений індекс засклення приміщення можна використовувати для приміщень з висотою до 3 м, що не є проблемою, оскільки, відповідно до [171], мінімальна висота 2,5 м для всієї території України, окрім кліматичної зони IVB, для якої вона становить 2,7 м. Також СЗОК повинен розміщуватись посередині ділянки ЗОК, що знаходиться над рівнем робочої поверхні (рис. 3.2).

Для порівняння точності результатів розрахунків залежностей величини ЗІЗП від значень КПО отриманих в програмі Relux [151] та за виразами (3.4) і (3.5) побудовано відповідні графіки (рис. 3.12). Аналіз отриманих графіків показав, що використання коефіцієнта запасу при розрахунку ЗІЗП спрощує визначення мінімальної площі засклення, оскільки можна знехтувати впливом зміщення РТ на РП на величину КПО.

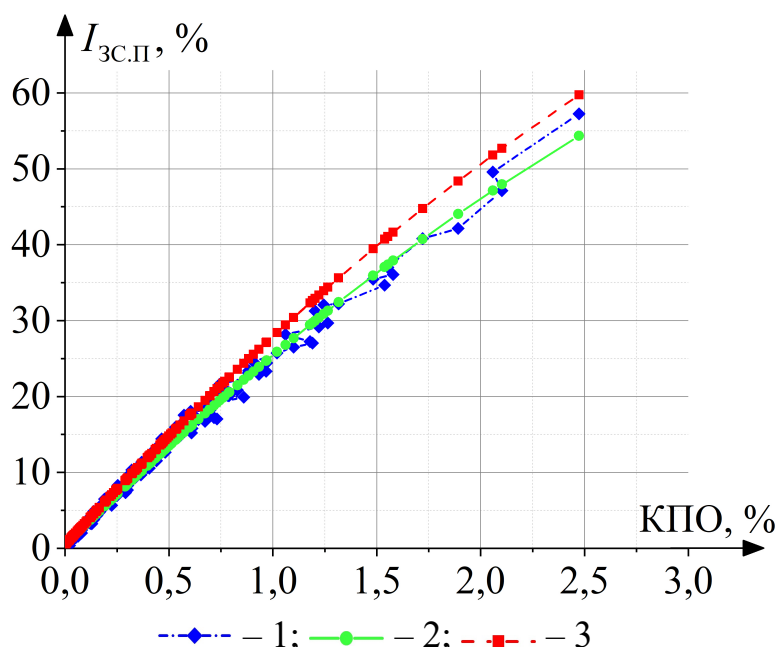


Рис. 3.12. Залежності ЗІЗП від значень КПО отриманих в результаті:

1 – розрахунків в програмі Relux; 2 – апроксимації (3.4); 3 – апроксимації з врахуванням коефіцієнта запасу (3.5) [151]

Тобто визначення площі засклення СЗОК, необхідної для забезпечення нормованого КПО на РП, зводиться до виразу (3.7) [151].

$$S_{\text{ЗС}} = I_{\text{ЗС.П}} \cdot S_{\text{РП}} \cdot \sqrt[4]{d_{\text{РТ}} / (2 \cdot I_{\text{РТ}})} / 100, \text{ м}^2. \quad (3.7)$$

Для визначення площі СЗОК з отриманого значення ЗІЗП необхідно скористатися індексом координації СЗОК ($i_{\text{К.СЗОК}}$) (2.16)

Виходячи з обраних пропорцій, визначаємо ширину (3.8) та висоту (3.9) за-
склення СЗОК.

$$h_{3C} = \sqrt{S_{3C} / i_{K.C3OK}}, \text{ м}; \quad (3.8)$$

$$l_{3C} = \sqrt{S_{3C} \cdot i_{K.C3OK}}, \text{ м}. \quad (3.9)$$

Відповідно до отриманих значень (3.8) і (3.9), для обраних пропорцій та ширини профілю односекційної СЗОК, визначаємо його площу, при якій буде забезпечений нормований КПО (3.10) [151].

$$S_{C3OK} = S_{3C} + 2 \cdot l \cdot (l_{3C} + h_{3C} + 2 \cdot l), \text{ м}^2, \quad (3.10)$$

де l – ширина непрозорої частини СЗОК, визначається за виразом (2.8), м.

Для визначення площі СЗОК необхідні дані щодо її ширини профілю і за-
пінення. Для цього необхідно визначити висоту і ширину СЗОК. Виходячи з розмі-
рів засклення та товщини профілю їх можна визначити за виразами (3.11) і (3.12).

$$h_{C3OK} = h_{3C} + 2 \cdot l_{\text{ПРОФ}}, \text{ м}, \quad (3.11)$$

де $l_{\text{ПРОФ}}$ – товщина профілю, м [147];

$$l_{C3OK} = l_{3C} + 2 \cdot l_{\text{ПРОФ}}, \text{ м}. \quad (3.12)$$

Товщину запінення визначено за виразами (2.9)

3.6. Аналіз впливу кількості світлопрозорих зовнішніх огорожуваль- них конструкцій на величину КПО в обраних точках

З'ясуємо, чи можна використовувати отримані дані для будь-якого примі-
щення, шляхом поділу його на декілька комірок, які утворюють це приміщення.
Для цього порівняємо КПО в приміщеннях з розмірами 4×4; 4×6, з СЗОК площею
6 м² і приміщеннями з розмірами 8×4 і 8×6, які можна розділити на дві комірки з
розмірами 4×4 у першому випадку і 4×6 у другому, з аналогічно розташованим
СЗОК, таких самих розмірів [166], як і у вище описаних приміщеннях (рис. 3.13).

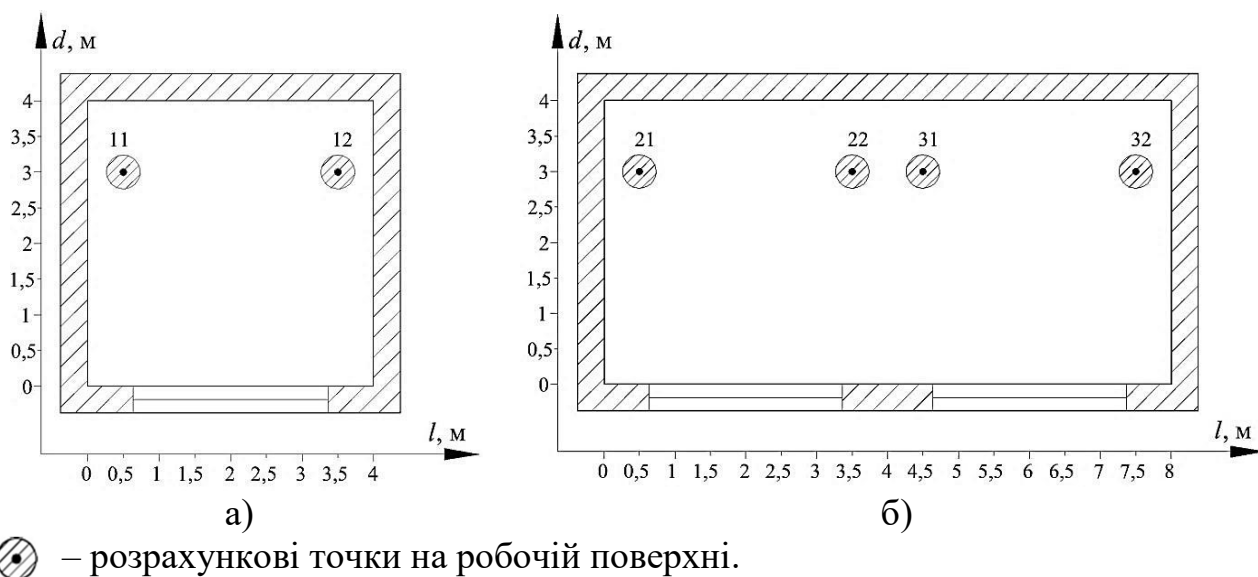


Рис. 3.13. Схематичне зображення приміщень глибиною 4 м, які були вибрані для аналізу: а) з однією СЗОК; б) з двома СЗОК [166]

В результаті проведених розрахунків [166], з вищевказаними параметрами, отримано значення КПО в РТ, які зведено в табл. 3.3.

Таблиця 3.3

Значення КПО в РТ приміщень з глибиною 4 і 6 м, %

Глибина приміщення, м	Номер розрахункової точки					
	11	12	21	22	31	32
$d_{\Pi} = 4$	2,44	2,47	2,97	3,83	3,80	2,96
$d_{\Pi} = 6$	0,99	0,97	1,30	1,73	1,68	1,27

Відповідно до отриманих результатів (табл. 3.3), можна стверджувати, що розділення приміщення на кімнатки з СЗОК у кожній допустиме, оскільки в РТ 21 і 32 (рис. 3.13), за якими нормується КПО, його величина зросла на 21% при глибині 4 м і на 30% при глибині 6 м. Тобто отримані вище дані, можна використовувати для приміщень різного розміру, розділивши його на кімнатки, в яких наявні СЗОК.

В результаті проведених досліджень [166] встановлено, що розміри приміщення мають значний вплив на величину КПО. Навіть при однаковій площі приміщень величини КПО можуть значно відрізнятись один від другого. Наприклад, відповідно до рис. 3.3, 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 СК є не коректним,

тому що при однакових значеннях СК величина КПО може відрізнятись в 1,388 раз.

3.7. Використання світлового коефіцієнту, window to wall ratio та зведеного індексу застелення приміщення для оцінки природного освітлення

На даний час для порівняння енергоефективності СЗОК використовується СК (WFR), які визначаються як відношення площі СЗОК до площі підлоги приміщення ($S_{\text{п}}$). Для того, щоб оцінити доцільність їх використання, в [171] визначено на скільки величина КПО буде відрізнятись при однаковому значенню СК, для приміщень різного розміру, результат наведено в табл. 3.6.

Таблиця 3.6

Значення СК, при яких забезпечується необхідна величину КПО для приміщень різних в плані розмірів, %

КПО, %	Розміри приміщення, м								
	4×2	4×3	4×4	4×5	5×3	5×4	5×5	6×3	6×4
1,9	14,5	26,7	37,4	47,0	25,9	34,2	41,2	26,0	33,2
2,0	15,0	27,7	38,8	48,9	26,9	35,6	42,9	27,0	34,6

Як видно з табл. 3.6, значення СК, при якому забезпечується величина КПО в 1,9% і 2%, для приміщень, які розглянуто, змінюються від 14,5% до 47,0% в першому випадку і від 15% до 48,9% – в другому. Тобто, в залежності від розмірів приміщення, значення СК можуть відрізнятись в 3,24-3,26 раз. З чого можна зробити висновок про недопустимість використання СК для оцінки природної освітленості приміщень.

У дослідженнях [53, 69-76, 163-165], для узагальнення отриманих результатів було використано WWR. Тому було вирішено перевірити доцільність використання цього критерію при оцінці величини КПО в приміщеннях з різними у плані розмірами. Висота досліджуваного приміщення 3 м.

Таблиця 3.7

Значення WWR, при яких забезпечується необхідна величина КПО для приміщень різного розміру, %

КПО, %	Розміри приміщення, м								
	4×2	4×3	4×4	4×5	5×3	5×4	5×5	6×3	6×4
1,9	9,6	26,7	49,8	78,3	25,9	45,6	68,7	26,0	44,3
2,0	10,0	27,7	51,8	81,5	26,9	47,4	71,5	27,0	46,1

Як видно з табл. 3.7, в залежності від розмірів приміщення значення WWR, при якому забезпечується величина КПО в 1,9% і 2,0% змінюється від 9,6% до 78,3% в першому випадку і від 10,0 до 81,5% – в другому. Тобто для приміщення з розмірами (ширина×глибина×висота) 4×2×3 м значення WWR буде в 8,15 раз меншим, а ніж для приміщення з розмірами 4×5×3 м. Це свідчить про недопустимість використання цього показника при дослідженні енергоефективності використання природного освітлення.

Як бачимо використання як СК, так і WWR для оцінки ефективності використання природного освітлення є недопустимим.

Для того, щоб визначити похибку, яка спостерігається при використанні ЗІЗП визначимо величину КПО в РТ, яка буде забезпечена в розглянутих приміщеннях з площею СЗОК, яка вказана в табл. 3.4.

Коефіцієнти забруднення та поглинання в дослідженні [171] прийняті рівними 0,9. Розрахунки проведено в програмі Relux. Результати розрахунку величини КПО в РТ в приміщеннях з СЗОК площею, вказаною в табл. 3.4, наведено в табл. 3.8. Аналіз даних табл. 3.4 показав, що для значень КПО 1,9% і 2,0%, в приміщеннях з розмірами 4×5; 5×5; і 6×5 площа СЗОК повинна становити 9,78 м², 10,72 м² і 12,19 м² відповідно. Оскільки висота приміщень прийнята на рівні 3 м, а відповідно до виразу (3.11), для даних випадків вона становитиме 3,13 м, 3,27 м і 3,49 м. Тобто їх висота перевищує висоту приміщення. Тому розрахунок відхилення КПО від заданого значення визначимо для значення КПО в 0,8% ($I_{зсп}=20,66$) та 1% ($I_{зсп}=26,89$).

Таблиця 3.8

Результати розрахунку КПО для досліджуваних приміщень різного розміру, в залежності від ЗІЗП, % [171]

ЗІЗП, %	Розміри приміщення, м									
	4×2	4×3	4×4	4×5	5×3	5×4	5×5	6×3	6×4	6×5
20,66	0,256	0,931	1,009	0,922	0,922	0,918	0,914	0,527	0,957	0,803
26,89	0,467	1,113	1,173	1,084	1,052	1,139	1,100	0,906	1,158	1,067

Як видно з табл. 3.8, для приміщень різного розміру, при однаковому значенні ЗІЗП відносна похибка КПО не перевищує 26,1% $((0,8-1,009)/0,8 \cdot 100)$, окрім випадків, коли ширина приміщення вдвічі перевищує глибину ($l_{п} \geq 2 \cdot d_{п}$). Така ве-

лика похибка пояснюється тим, що в (3.5) для компенсації несинхронності зміни КПО від пропорцій СЗОК для приміщень довільних розмірів використовується коефіцієнт запасу, який призводить до завищення значень КПО над нормованим.

В той час, як СК та WWR в залежності від розмірів приміщення можуть відрізнятися в декілька разів, використання ЗІЗП дозволяє розробити єдині критерії оцінки ефективності природного освітлення. Тому для вирішення даної проблеми ми пропонуємо використовувати ЗІЗП, оскільки він враховує розміри приміщення.

3.8. Ефективність використання бокового природного освітлення в офісних приміщеннях

У якості СЗОК використано металопластикове вікно з профілем Veka Softline 82 та склопакетом 4Solar-16Ar-4-12Ar-4i, з термічним опором $1 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$ та КВПСР 0,68 відн. од. (рис. 3.14).

Оскільки нормована освітленість офісних приміщень повинна становити 300 лк, то знаючи помісячну тривалість роботи, можна визначити залежність автономності природного освітлення, при нормованій величині освітленості 300 лк ($АПО_{300}$) від величини КПО.

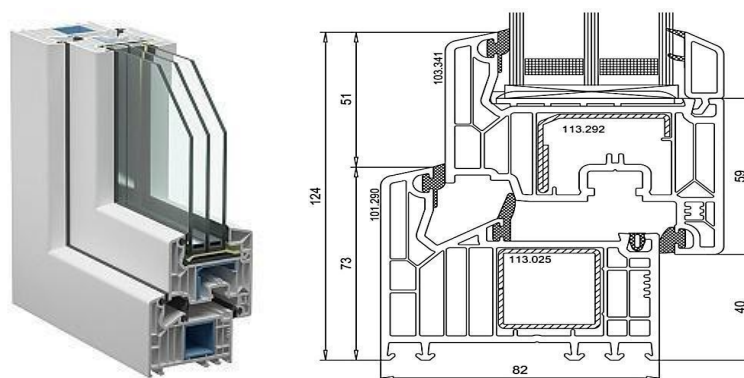


Рис. 3.14. Зовнішній вигляд та розміри профілю Veka Softline 82 з склопакетом 4Solar-16Ar-4-12Ar-4i [147]

3.8.1. Автономність природного освітлення офісних приміщень

Дослідження автономності природного освітлення (тривалості забезпечення нормованої освітленості на робочій поверхні) проведено нами в [171, 172]. На рис. 3.15 представлено графік залежності $АПО_{300}$ від величини КПО протягом ро-

ку для міст: Тернопіль ($49^{\circ}34'$ пн. ш. $25^{\circ}36'$ сх. д.), Київ ($50^{\circ}27'$ пн. ш. $30^{\circ}31'$ сх. д.), Париж ($48^{\circ}51'$ пн. ш. $2^{\circ}21'$ сх. д.) та Берлін ($52^{\circ}31'$ пн. ш., $13^{\circ}24'$ сх. д.).

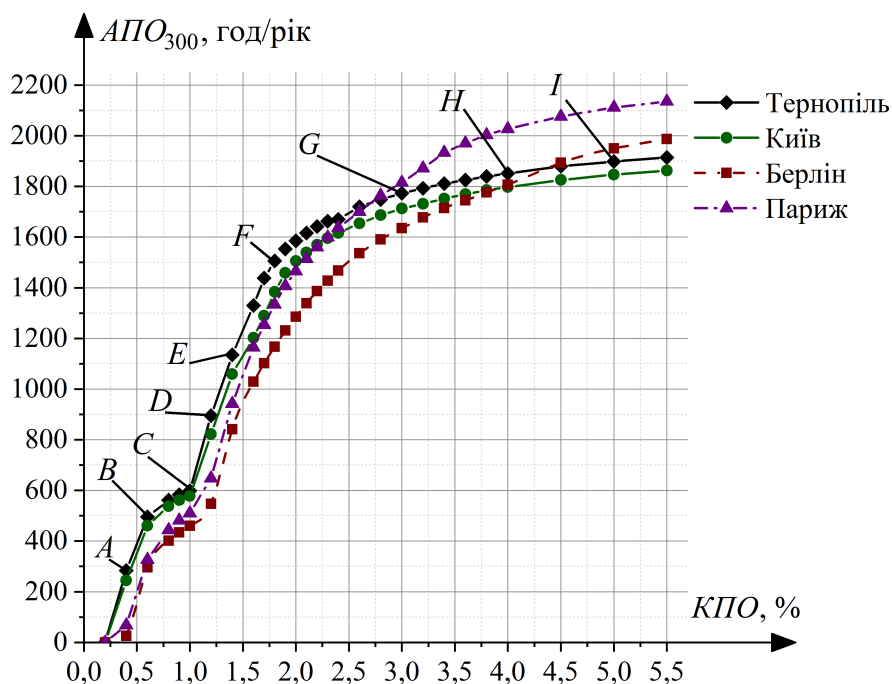


Рис. 3.15. Залежність автономності природного освітлення від величини КПО, при нормованій величині освітленості 300 лк для чотирьох міст [171]

Як видно з рис. 3.15, для м. Тернопіль, при зміні значення КПО від 0,4% (рис. 3.15, т. *A*) до 0,6% (рис. 3.15, т. *B*) і від 1,2% (рис. 3.15, т. *D*) до 1,4% (рис. 3.15, т. *E*) спостерігається стрибкоподібна зміна $АПО_{300}$. Тобто на даних ділянках збільшення величини КПО на 0,2% призводить до суттєвого зростання економії електроенергії на штучне освітлення. В загальному, при збільшенні величини КПО на 1%, отримаємо наступну різницю в $АПО_{300}$: при зміні від 0% до 1% (рис. 3.15, т. *C*) – 599,00 год; від 1% (рис. 3.15, т. *C*) до 2% (рис. 3.15, т. *F*) – 986,58 год; від 2% (рис. 3.15, т. *F*) до 3% (рис. 3.15, т. *G*) – 187,92 год; від 3% (рис. 3.15, т. *G*) до 4% (рис. 3.15, т. *H*) – 77,52 год; від 4% (рис. 3.15, т. *H*) до 5% (рис. 3.15, т. *I*) – 46,98 год. В той час, як різниця між 0,4-0,6% становить 211,41 год і між 1,2-1,4% – 239,60 год. Виходячи з отриманих результатів, можна стверджувати, що при зміні певних значень КПО (рис. 3.15, т. *A*, рис. 3.15, т. *D*) на 0,2% (рис. 3.15, т. *B*, рис. 3.15, т. *E*) можна досягти такого ж зростання $АПО_{300}$, як і при зміні інших (рис. 3.15, т. *F*, рис. 3.15, т. *G*) на 1% (рис. 3.15, т. *F*, рис. 3.15, т. *H*).

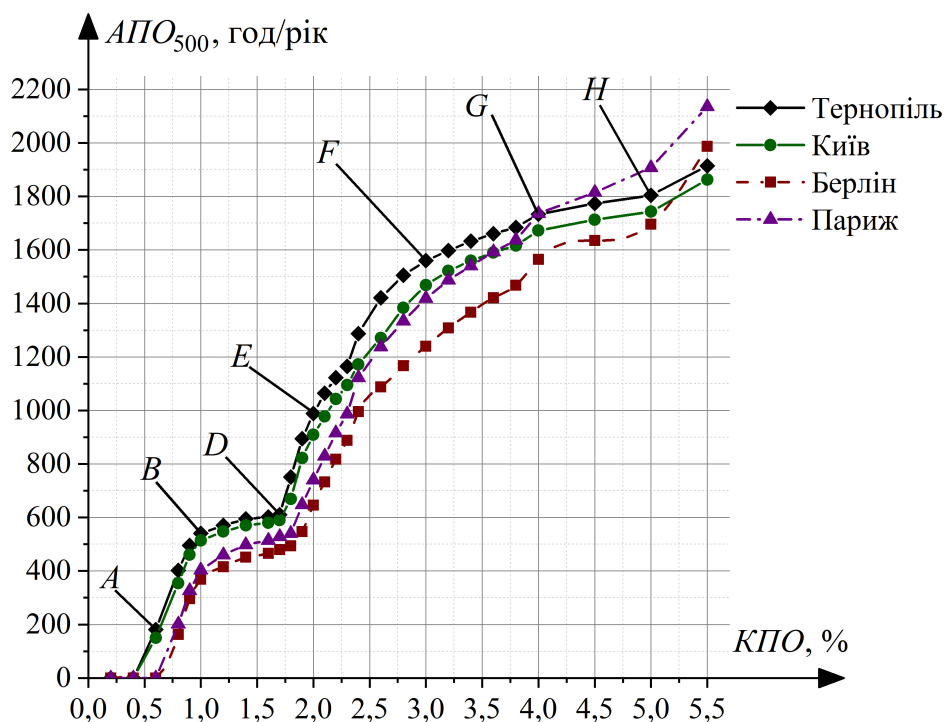


Рис. 3.16. Залежність автономності природного освітлення від величини КПО, при нормованій величині освітленості 500 лк для чотирьох міст [171]

Якщо ж порівнювати графіки залежності $АПО_{300}$ і $АПО_{500}$ від величини КПО (рис. 3.15 і рис. 3.16), то виявимо різні за значенням, але схожі за формою залежності. Також слід зауважити, що попри те, що по величині нормованої освітленості для $АПО_{500}$, вона має бути в 1,67 раз більшою, а ніж для $АПО_{300}$, значення цих величин відрізняються на: при величині КПО в 1% (рис. 3.15, т. C і рис. 3.16, т. B) – 17,25%, 2% (рис. 3.15, т. F і рис. 3.16, т. E) – 43,56%, 3% (рис. 3.15, т. G і рис. 3.16, т. F) – 15,10%, 4% (рис. 3.15, т. H і рис. 3.16, т. G) – 9,01%, 5% (рис. 3.15, т. I і рис. 3.16, т. H) – 6,56%.

Для встановлення аналітичних виразів для визначення $АПО_{300}$ з врахуванням розмірів приміщення та площі СЗОК побудуємо графічні залежності $АПО_{300}$ від ЗІЗП (рис. 3.17), для цього використаємо дані, отримані при визначенні залежності $АПО_{300}$ від величини КПО в РТ (рис. 3.15). Дані наведені для м. Тернопіль, Україна.

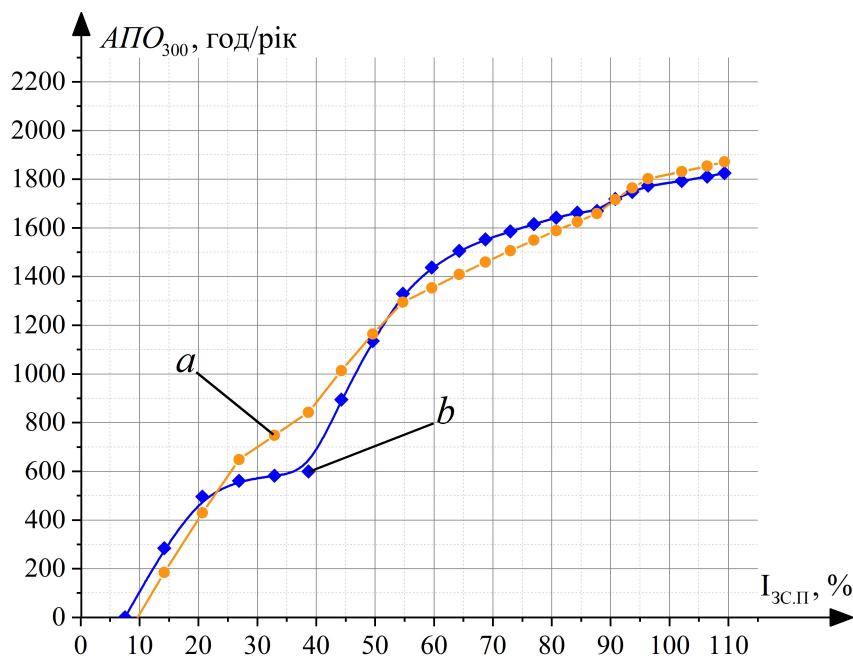


Рис. 3.17. Залежність $АПО_{300}$ від величини ЗІЗП для м. Тернопіль [171]

В результаті апроксимації отриманих точкових даних (рис. 3.17, крива *a*) методом найменших квадратів отримано вираз (3.15), який дозволяє визначити величину $АПО_{300}$ для довільних значень ЗІЗП для м. Тернопіль, а відповідно і розмірів приміщення та площі СЗОК з стандартним відхиленням 82,6 і коефіцієнтом детермінації 0,979 (рис. 3.17, крива *b*) [171]. Апроксимація проводилась за допомогою програми Advanced Grapher.

$$АПО_{300} = -0,227 \cdot I_{3C.II}^2 + 45,854 \cdot I_{3C.II} - 420,953, \text{ год/рік} \quad (3.15)$$

Для м. Київ $АПО_{300}$ з стандартним відхиленням 71,22 і коефіцієнтом детермінації 0,983 визначається за формулою (3.16) [171]

$$АПО_{300} = -0,203 \cdot I_{3C.II}^2 + 42,680 \cdot I_{3C.II} - 401,236, \quad (3.16)$$

Для м. Берлін $АПО_{300}$ з стандартним відхиленням 67,66 і коефіцієнтом детермінації 0,9872 визначається за формулою (3.17) [171]

$$АПО_{300} = -0,115 \cdot I_{3C.II}^2 + 34,564 \cdot I_{3C.II} - 414,578, \text{ год/рік} \quad (3.17)$$

Для м. Париж $АПО_{300}$ з стандартним відхиленням 76,73 і коефіцієнтом детермінації 0,987 визначається за формулою (3.18) [171]

$$АПО_{300} = -0,146 \cdot I_{3C.II}^2 + 40,248 \cdot I_{3C.II} - 581,275, \text{ год/рік} \quad (3.18)$$

3.8.2. Питома ефективність використання природного освітлення

Для того, щоб визначити значення КПО, при якому природне світло буде використовуватись максимально ефективно, необхідно побудувати графік зміни $АПО_{300}$ за рік, що припадає на 1% КПО від величини КПО (рис. 3.18).

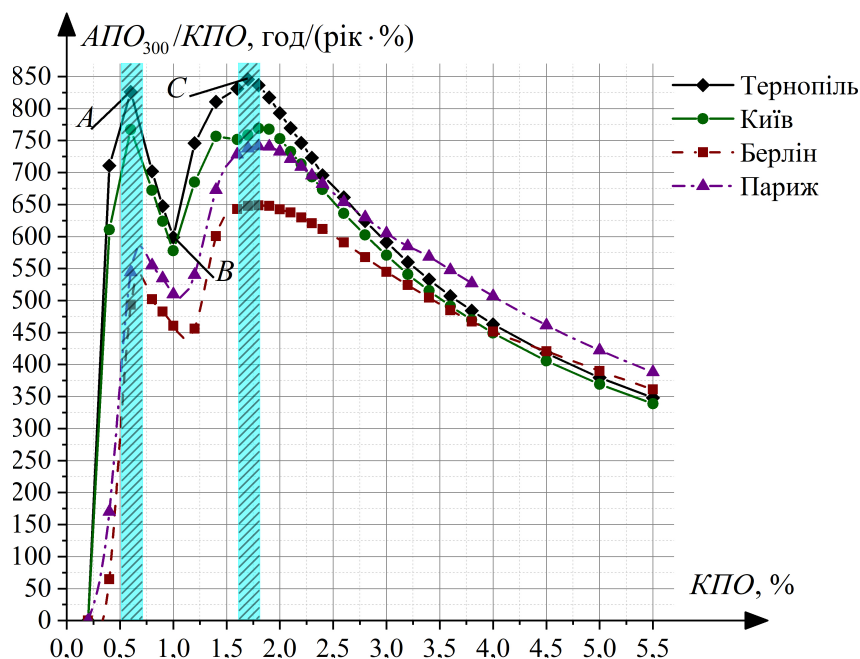


Рис. 3.18. Залежності річної тривалості забезпечення нормованої освітленості природним світлом, у розрахунку на 1% КПО від величини КПО [172]

Під максимальним використанням природного світла будемо мати на увазі максимальне значення АПО на 1% КПО. Як видно з рис. 3.18, незважаючи на те, що горизонтальна освітленість у вибраних нами містах різна, закон зміни ефективності використання природної освітленості є подібним.

Розглянемо залежність $АПО_{300}$ від величини КПО для м. Тернопіль. З рис. 3.18 випливає, що максимальне використання природного світла, при значеннях КПО $< 1\%$, характерно для величин КПО в 0,6% (рис. 3.18, т. А) – 826,07 год/(рік·%). При значеннях КПО $> 1\%$, найефективніше природне світло використовується при величинах КПО в 1,6-1,8%. Екстремум – при $і 1,7\%$ (рис. 3.18, т. С) – 845,64 год/(рік·%). Є і ділянки, на яких ефективність використання природного світла інтенсивно спадає. Мінімальне значення спостерігається при величині КПО в 1,0% (рис. 3.18, т. В) – 599,0 год/(рік·%). Такий спад обумовлений нелінійною залежністю $АПО_{300}$ від величини КПО в РТ.

Залежність $АПО_{500}$ від величини КПО (рис. 3.19) має інші піки та спади. Максимальні значення $АПО_{500}$ в 502,10 год/(рік·%) і 507,55 год/(рік·%) спостерігаються при величині КПО в 0,8% (рис. 3.19, т. А) та 2,8% (рис. 3.19, т. С) відповідно. Мінімальне – 353,73 год/(рік·%), при величині КПО в 1,7% (рис. 3.19, т. В).

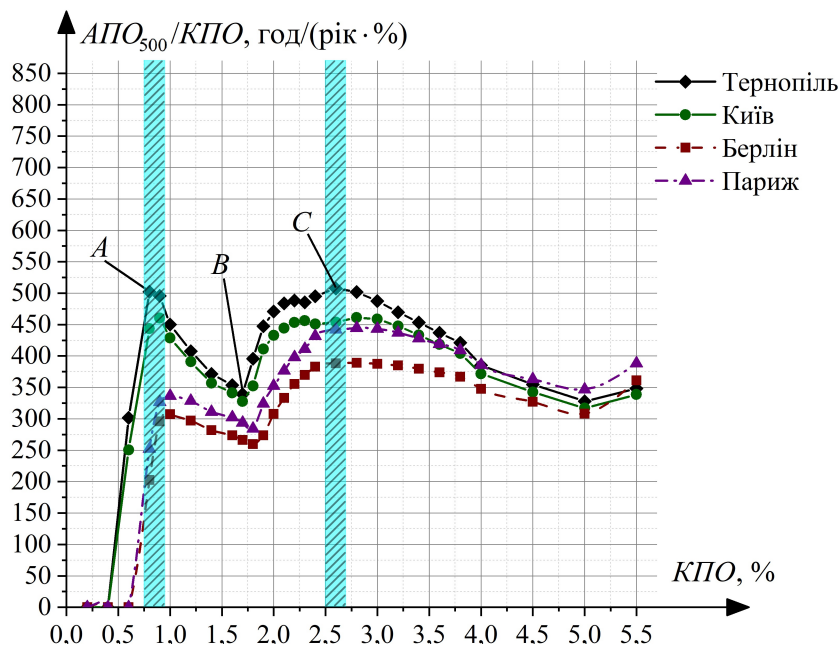


Рис. 3.19. Залежності річної автономності природного освітлення, у розрахунку на 1% КПО від величини КПО, при нормованій величині освітленості 500 лк

Як видно з рис. 3.18 та рис. 3.19, в обох випадках є ділянки з максимальними та мінімальними значеннями ефективності використання природного освітлення. Тому визначення цих значень може дозволити при правильному проектуванні значно знизити споживання електроенергії на штучне освітлення.

Розглянемо приклад визначення мінімальних параметрів СЗОК, при яких виникає економія електроенергії на штучне освітлення. Дослідження проводилось для приміщення з розмірами (ширина×глибина×висота) 6×4×3 м.

З (3.6) визначено значення ЗІЗП, яке відповідає необхідній величині КПО. Обраний склопакет (рис. 3.14), відповідно до даних виробника, має КВПСР 0,68 відн. од. і товщину профілю 0,073 м, для глухої СЗОК. Для значення КПО 0,6%, при КВПСР 0,68 ЗІЗП становить

$$I_{\text{ЗС.П}} = 1,1 \cdot 0,8 / 0,68 \cdot (-2,148 \cdot 0,6^2 + 27,087 \cdot 0,6 + 0,487) = 20,66.$$

Виходячи з отриманого значення КПО в РТ мінімальне значення площі за-

склення, визначене за (3.7), становить

$$S_{3C} = 20,66 \cdot 15 \cdot \sqrt[2,5]{3 / (2 \cdot 2,5)} / 100 = 2,53, \text{ м}^2.$$

Оскільки, відповідно до рис. 3.7 та рис. 3.8, при зміні розмірів приміщень залежність КПО від пропорцій СЗОК не є синхронною, для кожного конкретного випадку необхідно вибирати оптимальний варіант пропорцій СЗОК. Тому, для спрощення розрахунків, індекс координації СЗОК приймаємо рівним 1 ($i_{K.C3OK} = 1$).

Для отримання КПО 0,6% при КВПРС 0,68 з $i_{K.C3OK} = 1$, відповідно до (3.8) та (3.9), засклення СЗОК повинно мати наступні розміри: $h_{3C} = 1,59$ м, $l_{3C} = 1,59$ м.

Для визначення площі СЗОК необхідно визначити ширину профілю і запінення СЗОК. Відповідно до [147] товщина профілю для глухої СЗОК (рис. 3.14) становить 0,073 м.

Виходячи з розмірів засклення та товщини профілю за (3.13) і (3.14) висота і ширина СЗОК будуть мати наступні розміри: $h_{C3OK} = 1,736$ м, $l_{C3OK} = 1,736$ м.

При ширині СЗОК 1,736 м, за формулою (2.9), ширина запінення становить

$$l_{3П} = (125 \cdot 1,736^2 - 123 \cdot 1,736 + 1050) \cdot 10^{-5} = 0,012 \text{ м.}$$

Ширина непрозорої частини СЗОК, відповідно до (2.8) становить

$$l = 0,073 + 0,012 = 0,085, \text{ м.}$$

Для забезпечення значення КПО в 0,6%, відповідно до (3.10) площа СЗОК повинна становити

$$S_{C3OK} = 2,53 + 2 \cdot 0,085 \cdot (1,59 + 1,59 + 2 \cdot 0,085) = 3,097 \text{ м}^2.$$

Для визначення площі СЗОК при якій забезпечується максимальна ефективність СЗОК, необхідно розрахувати їх значення для приміщень різних розмірів. Для цього проведемо вищевказані розрахунки для приміщень з розмірами (ш×г): 4×2 м, 4×3 м, 4×4 м, 4×5 м, 5×3 м, 5×4 м, 5×5 м, 6×3 м, 6×4 м і 6×5 м. Результати розрахунків наведено в табл. 3.4.

Таблиця 3.4

Площа СЗОК, при якій забезпечується необхідне значення КПО, для приміщень з різними розмірами, для м. Тернопіль, м² [171]

КПО, %	Розміри приміщення, м									
	4×2	4×3	4×4	4×5	5×3	5×4	5×5	6×3	6×4	6×5
0,6	0,51	1,30	2,35	3,63	1,56	2,67	3,96	1,86	3,10	4,48
0,8	0,62	1,63	2,98	4,62	1,97	3,40	5,05	2,35	3,94	5,73
1,0	0,73	1,95	3,58	5,58	2,35	4,09	6,10	2,82	4,75	6,92
1,2	0,84	2,25	4,15	6,49	2,72	4,75	7,11	3,27	5,52	8,07
1,6	1,03	2,81	5,23	8,21	3,41	5,98	8,99	4,11	6,97	10,22
1,7	1,07	2,94	5,48	8,62	3,57	6,28	9,44	4,30	7,31	10,73
1,8	1,11	3,07	5,73	9,01	3,73	6,56	9,88	4,50	7,65	11,22
1,9	1,16	3,20	5,98	9,40	3,88	6,84	10,30	4,68	7,98	11,71
2,0	1,20	3,32	6,21	9,78	4,03	7,11	10,72	4,87	8,30	12,19
2,2	1,28	3,56	6,67	10,51	4,33	7,64	11,52	5,22	8,91	13,10
3,0	1,56	4,39	8,27	13,08	5,35	9,49	14,35	6,47	11,08	16,33
4,0	1,81	5,17	9,79	15,51	6,31	11,23	17,02	7,64	13,13	19,38

Питому автономність природного освітлення (apo) визначено за виразом (3.19) [171].

$$apo = APO / S_{\text{СЗОК}}, (\text{год/рік})/\text{м}^2. \quad (3.19)$$

В результаті розрахунків отримано дані, щодо ефективності використання площі СЗОК для м. Тернопіль, які представлено на рис. 3.20.

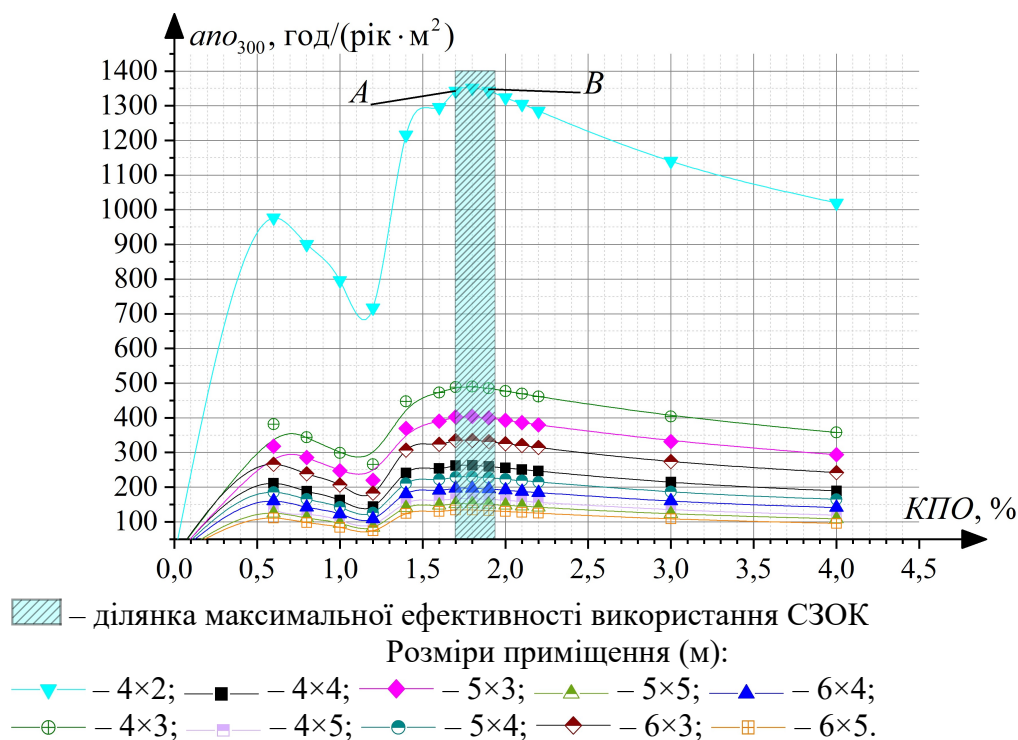


Рис. 3.20. Залежність питомої ефективності використання СЗОК від величини КПО, для приміщень різного розміру, при нормованій величині освітленості 300 лк розташованих в м. Тернопіль [171]

Як видно з рис. 3.20, максимальна ефективність використання СЗОК для забезпечення природного освітлення, при нормованій освітленості в 300 лк (від 1342,82 год/(рік·м²) до 1351,52 год/(рік·м²)) спостерігається при величині КПО від 1,7% (рис. 3.20, т. А) до 1,9% (рис. 3.20, т. В). Екстремум – при 1,8%.

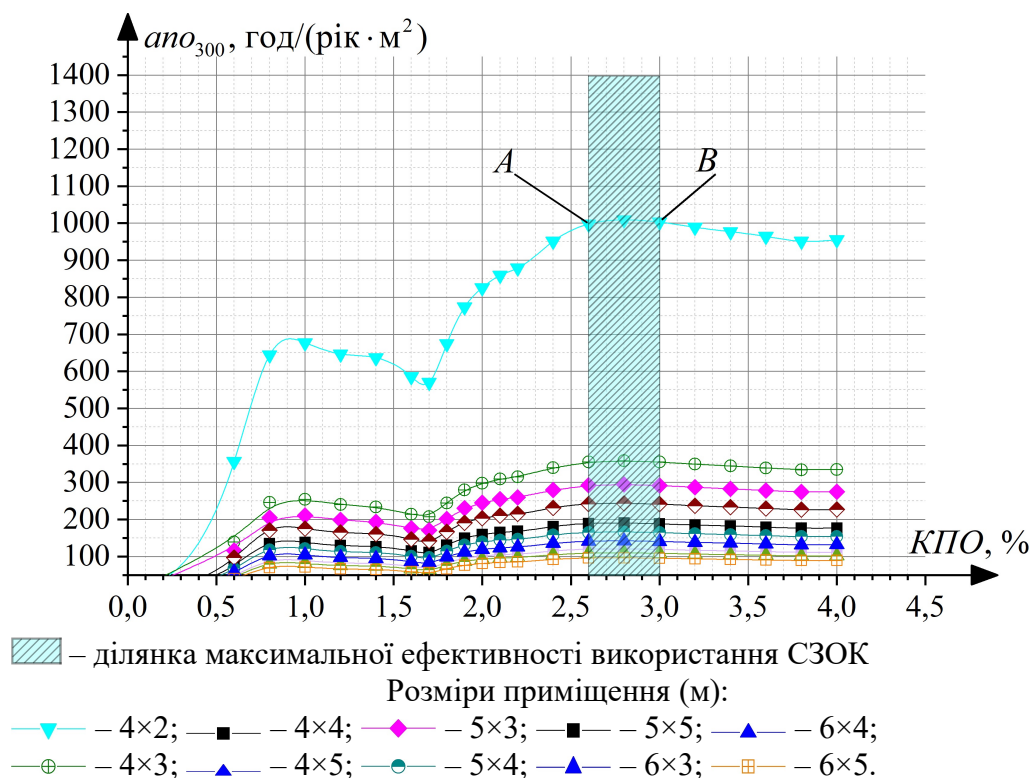


Рис. 3.21. Залежність питомої ефективності використання СЗОК від величини КПО, для приміщень різного розміру, при нормованій величині освітленості 500 лк, розташованих в м. Тернопіль [171]

Відповідно до рис. 3.21, при нормованій освітленості в 500 лк максимальна ефективність використання СЗОК для забезпечення природного освітлення (від 997,71 год/(рік·м²) до 1009,35 год/(рік·м²)) спостерігається при величині КПО від 2,6% (рис. 3.21, т. А) до 3,0% (рис. 3.21, т. В), з екстремумом – при 2,8%.

3.9. Результати дослідження впливу ширини і довжини приміщення та пропорцій світлопрозорих зовнішніх огорожувальних конструкцій на величину коефіцієнту природного освітлення в розрахунковій точці

В результаті проведених досліджень [151, 166, 167, 171] встановлено, що розміри приміщення мають значний вплив на величину КПО. Навіть при однако-

вій площі приміщень значення КПО можуть значно відрізнятись одне від одного. Наприклад, відповідно до рис. 3.3, т. А, , 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 СК є не коректним, тому що при однакових значеннях СК величина КПО може відрізнятись 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 СЗОК 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. 3.7) вказують на неоднозначний вплив пропорцій СЗОК 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.

Доведено, що ефективність використання площі СЗОК для забезпечення природної освітленості 300 лк в офісному приміщенні максимальна при величині КПО 1,8%. Для 500 лк – при КПО 2,8%. Встановлено, що для оцінки ефективності СЗОК для освітлення приміщення доцільно використовувати ЗІЗП. При використанні СК або WWR зміна розміру приміщень призводить до суттєвого зростання похибки розрахунків – в 3,24 раз для СК і в 8,15 раз для WWR. В той час як при використанні ЗІЗП похибка не перевищує 26,1%.

Для встановлення оптимальних параметрів СЗОК в подальших дослідженнях необхідно розглянути вплив СЗОК на енергетичний баланс приміщення. Для цього потрібно врахувати не тільки економію електроенергії за рахунок використання природного світла, але й зростання втрат тепла в наслідок теплопередачі та теплонадходжень від сонячного випромінювання в опалювальний період, а також теплонадходжень в охолоджувальний період

Висновки до розділу 3

1. Доведено що зміна розмірів сталої площі приміщення призводить до коливань значень КПО в робочій точці в межах від 1 до 1,388 (див. рис. 3.3). Це свідчить про те, що зміна розмірів сталої площі приміщень не синхронна зі зміною значень КПО і вказує на некоректність використання СК для нормування мінімальної площі застосування СЗОК для приміщень сталої площі, але різних за розмірами. Це добре видно з рис. 3.7 де при одних і тих самих відношеннях ширини СЗОК до його висоти ($l_{\text{СЗОК}} / h_{\text{СЗОК}}$) характер зміни КПО є унікальним для кожної площі СЗОК.

2. Встановлено, що використання WWR 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. Значення СК, при яких забезпечується величина КПО в 1,9% і 2%, для приміщень, які розглянуто, змінюються від 14,5% до 47,0% в першому випадку і від 15% до 48,9% – в другому. Тобто, в залежності від розмірів приміщення, значення СК можуть відрізнятись в 3,24-3,26 раз

3. Отримано вираз для визначення зведеного індексу застосування приміщення, що враховує не тільки вплив площ застосування СЗОК та РП, але й геометричних розмірів РП на величину КПО в РТ. Для компенсації відхилень значення КПО відносно ЗІЗП, які зумовлені не синхронним характером зміни КПО відносно пропорцій СЗОК, введено коефіцієнту запасу. Аналіз отриманих графіків показав, що

використання коефіцієнта запасу при розрахунку ЗІЗП спрощує визначення мінімальної площі засклення, оскільки можна знехтувати впливом зміщення РТ на РП на величину КПО. Використання ЗІЗП дозволяє визначати мінімальну площу СЗОК для забезпечення нормованої освітленості в РТ РП.

4. Розроблено алгоритм розрахунку площі СЗОК для забезпечення нормованого значення КПО в незатінених приміщеннях довільних розмірів. Даний алгоритм дозволяє визначати площу односекційних СЗОК, при якій забезпечується нормоване значення КПО в РТ, а відповідно і на всій РП.

5. Доведено, що нормування мінімальної площі СЗОК для приміщень певних розмірів можна використовувати для великих приміщень, розбитих на кімнатки, які відповідають розміру приміщення, для якого розроблені норми (рис. 3.13), що дозволяє розробити рекомендації не тільки для приміщень, але і для ділянок приміщень з СЗОК у кожній.

6. Встановлено, що найбільша ефективність використання природного світла для освітлення приміщень, при нормованій освітленості 300 лк характерна для значень КПО в межах від 1,7% до 1,9%. Для значення 1,8% – вона максимальна при нормованій освітленості в 500 лк максимальна ефективність використання СЗОК спостерігається при величині КПО від 2,6% до 3,0% з екстремумом при 2,8%.

7. Доведено, що в межах значень КПО від 0,8% до 1,2% для $АПО_{300}$ і від 1,2% до 1,7% для $АПО_{500}$ спостерігається різкий спад ефективності використання природного світла для забезпечення нормованої освітленості.

9. Доведено, що перехід від коефіцієнта природного освітлення до зведеного індексу засклення приміщення дає можливість адекватно оцінювати енергоефективність використання природного світла в приміщеннях різних розмірів, окрім випадків, коли $l_{\Pi} \geq 2 \cdot d_{\Pi}$.

10. Отримано вираз для визначення тривалості забезпечення нормованої освітленості для приміщень різних розмірів з різною площею СЗОК.

РОЗДІЛ 4

УМОВИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕНЕРГООЩАДНОГО ВИКОРИСТАННЯ СВІТЛОПРОЗОРИХ ЗОВНІШНІХ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ

Зменшення об'ємів використання електричної енергії на освітлення приміщень призводить не тільки до зменшення теповиділень в приміщеннях, але й до зменшення витрат на їх кондионування. Існують і інші економічні стимули щодо доцільності впровадження природного освітлення. В першу чергу це зменшення пікового попиту в комерційних і офісних будівлях, які працюють в денний час, і для яких піковий попит виникає в період достатку денного світла.

Розсіяні і рівномірні світлові промені природного походження найбільш комфортні для очей людини і забезпечують неспотворене сприйняття кольору. У той же час прямі промені сонця мають сліпучу яскравість, неприпустиму на робочих місцях і в побуті. Зниження рівня освітленості в умовах похмурого неба або у вечірній період, не дає можливості обмежитися тільки природним джерелом світла. У період, коли тривалість світлового дня досить велика, можна отримати значну економію електроенергії, але при цьому може виникнути перегрів приміщення.

Для забезпечення високої ефективності освітлення через засклення будівлі необхідно орієнтувати певним чином. Найбільш прийнятною є орієнтація вікон на південь і північ. Хоча на північну сторону сонячні промені не попадають, але вона завжди отримує денне світло однакової якості. При південній орієнтації сонячні промені більш інтенсивні і ними можна легко керувати. При західній і східній орієнтації вікон сонце знаходиться більше у горизонтальному напрямку і його променями керувати важче. Для зменшення сумарних енергетичних затрат будівель за рахунок використання природного освітлення потрібно використовувати «інтелектуальні» системи засклення [173]

4.1. Залежність витрат електроенергії на опалення приміщення від термічного опору, орієнтації та площі світлопрозорих зовнішніх огороджувальних конструкцій

Сучасні металопластикові конструкції з склопакетами, які є основною час-

тиною СЗОК, згідно з [154] мають такі ж теплоізоляційні властивості як і 60 см стіни зі звичайної повнотілої глиняної цегли на цементно-піщаному розчині $0,75 \text{ (м}^2 \times ^\circ\text{C)/Вт}$). Відповідно до [174] мінімальний термічний опір двокамерного склопакета дорівнює $0,75 \text{ (м}^2 \times ^\circ\text{C)/Вт}$). Суттєво зріс і термічний опір непрозорих ЗОК. Для першої кліматичної зони його величина повинна бути, згідно з [154], не менше $3,3 \text{ (м}^2 \times ^\circ\text{C)/Вт}$. Це дає можливість більш ефективно використати сонячне випромінювання для підвищення енергоефективності будівель.

Визначення втрат тепла через СЗОК з різним термічним опором проводилися згідно з методиками наведеними в [176, 185]. При розрахунках розглядалися будівлі, параметри яких відповідають вимогам чинних нормативних документів України [153, 154, 170, 174, 176-179]. Відповідно до них були вибрані значення розрахункових величин зовнішніх огорожувальних конструкцій (ЗОК) та навколишнього середовища. Всі розрахунки були проведено для м. Тернополя (географічні координати $49^\circ 34$ пн. ш. $25^\circ 36$ сх. д.).

Втрати теплової енергії визначались як різниця між втратами через СЗОК і ЗОК [180, 181]. Робоча температура всередині приміщення для системи опалення була прийнята, згідно з [177], рівною $+20^\circ\text{C}$, а системи охолодження $+26^\circ\text{C}$. Площа СЗОК була прийнята рівною 1 м^2 . Термічний опір змінювався в межах від $0,1 \text{ (м}^2 \times ^\circ\text{C)/Вт}$ до $3,3 \text{ (м}^2 \times ^\circ\text{C)/Вт}$. Втрати теплової енергії через СЗОК ($\omega_{\text{оп}}$), $(\text{кВт} \times \text{год})/\text{рік}$ з наявністю опції чергового опалення в неробочий час, згідно з СНиП II-4-79, визначалися за формулою (4.1)

$$\omega_{\text{оп}} = \left(\frac{10^{-3} \cdot 1,1 \cdot (1,3 + \eta) \cdot (1/R_{\text{СЗОК}} - 1/R_{\text{ЕК}}) \cdot z_{\text{оп}} \cdot \bar{s}_{\text{ЗС}} \cdot S_{\text{СЗОК}} \times}{\times [(t - t_{\text{З.СР.}}) \cdot T + (t_{\text{ч}} - t_{\text{З.СР.}}) \cdot (8760 - T)]} \right) / 365, \text{ (кВт} \times \text{год)/рік} \quad (4.1)$$

де $1,1$ – коефіцієнт, який враховує втрати тепла в системах опалення [175], відн. од.;

$1,3$ – коефіцієнт, який враховує втрати тепла на нагрівання зовнішнього повітря, яке надходить через СЗОК [175], відн. од.;

η – коефіцієнт, який враховує додаткові втрати тепла через ЗОК, вибирається з [178, табл. 2 дод. 5] (див. табл. 4.1), відн. од.;

$R_{\text{СЗОК}}$ – термічний опір СЗОК, $(\text{м}^2 \times ^\circ\text{C})/\text{Вт}$;

$R_{\text{ЕК}}$ – економічно доцільний термічний опір глухої частини покриття (при розрахунку тепловтрат через зенітні ліхтарі) чи стіни (при розрахунку тепловтрат через СЗОК), $(\text{м}^2 \times ^\circ\text{C})/\text{Вт}$ [154];

$t_{\text{З.СР.}}$ – середня температура зовнішнього повітря за опалювальний період, $^\circ\text{C}$;

t – розрахункова зимова температура повітря всередині приміщення в робочий час, $^\circ\text{C}$ [177];

T – річна тривалість робочого часу, приймається 2150 год – при роботі в одну зміну; 4300 год – при роботі в дві зміни; 6500 год – при роботі в три зміни, год/рік;

$z_{\text{ОП}}$ – тривалість опалювального періоду для житлових приміщень [179], діб;

$S_{\text{СЗОК}}$ – площа віконного прорізу в покритті чи стіні, м^2 ;

$\bar{s}_{\text{ЗС}}$ – відносна площа засклення СЗОК, відн. од.;

$t_{\text{ч}}$ – температура повітря при черговому опаленні, $^\circ\text{C}$.

З табл. 2.4, табл. 2.5 і рис. 2.10 відомо, що відносна площа засклення залежить від пропорцій СЗОК, а термічний опір від величини площі його профілю, засклення і запінення. Тому для кращої репрезентативності результатів аналізу приймемо СЗОК гомогенною (з однаковим термічним опором по всій площі), з відносною площею засклення рівною 1.

Таблиця 4.1

Додаткові втрати тепла для зовнішніх вертикальних і похилих
(вертикальна проекція) стін, дверей і СЗОК

Орієнтація вікна	Пд	Пн, Сх	Зх
η , %	0	10	5

При визначенні втрат тепла через огорожувальні конструкції розрахункову температуру повітря всередині будівлі (приміщення) висотою до 4 м прийнято, згідно з [182], рівною температурі повітря в робочій зоні приміщення

($t = t_p$). Температура повітря в робочій зоні приміщення вибрана з [177].

Таблиця 4.2

Вихідні дані для визначення втрат теплової енергії через СЗОК для м. Тернопіль

Розрахункова величина	$t_{3,CP}, ^\circ C$	T , год/рік	$R_{EK}, m^2 \times ^\circ C / Bt$	z_{OP} , діб	$t, ^\circ C$	$t_q, ^\circ C$
Значення	-0,2	2150	3,3	184	20	12

Температуру повітря в середині приміщень, в неробочий час, при черговому опаленні (t_q) приймається рівною $5^\circ C$ для виробничих і $10-12^\circ C$ для всього об'єму офісних [183]. При проведенні розрахунків втрат теплової енергії через СЗОК у якості вихідних були взяті дані, наведені в табл. 4.2.

Вираз для визначення втрат теплової енергії в опалювальний період ω_{OP} , (кВт×год)/рік через СЗОК площею $1 m^2$ для м. Тернопіль при наявності опції чергового опалення в неробочий час має вигляд (4.2), а при відсутності (4.3) [180].

$$\omega_{OP} = 89,44 \cdot S_{C3OK} \cdot (1,3 + \eta) \cdot (1 / R_{C3OK} - 1 / R_{EK}), \text{ (кВт} \times \text{год) / рік,} \quad (4.2)$$

$$\omega_{OP} = 31,31 \cdot S_{C3OK} \cdot (1,3 + \eta) \cdot (1 / R_{C3OK} - 1 / R_{EK}), \text{ (кВт} \times \text{год) / рік.} \quad (4.3)$$

На рис. 4.1 представлені графіки для випадків наявності (рис. 4.1, а) і відсутності (рис. 4.1, б) чергового опалення.

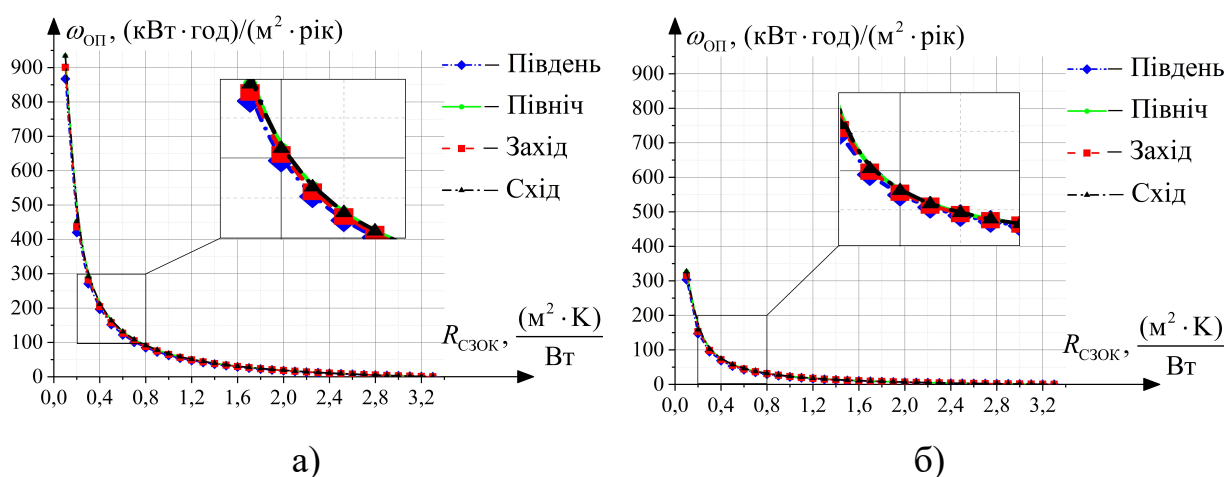


Рис. 4.1. Залежність втрат теплової енергії через СЗОК площею $1 m^2$ від орієнтації і термічного опору при: а) наявності чергового опалення; б) відсутності чергового опалення [180]

Як видно з рис. 4.1, при зростанні термічного опору зменшення втрат теплової енергії через СЗОК відбувається за гіперболічним законом, який виражає

обернену пропорційність між аргументом і функцією. Так, для західної орієнтації і наявності чергового опалення при зростанні термічного опору в 4 рази від 0,1 до 0,4 $(\text{м}^2 \times ^\circ\text{C})/\text{Вт}$, втрати теплової енергії зменшуються з 900,7 до 204,1 $(\text{кВт} \times \text{год})/(\text{м}^2 \times \text{рік})$, тобто на 696,6 $(\text{кВт} \times \text{год})/(\text{м}^2 \times \text{рік})$. В той час, як при збільшенні термічного опору в 5 раз з 0,4 до 2,0 $(\text{м}^2 \times ^\circ\text{C})/\text{Вт}$ втрати теплової енергії зменшуються з 204,1 до 18,3 $(\text{кВт} \times \text{год})/(\text{м}^2 \times \text{рік})$, тобто лише на 185,8 $(\text{кВт} \times \text{год})/(\text{м}^2 \times \text{рік})$. Це в 3,75 раз менше, ніж у попередньому випадку. Таким чином, збільшення термічного опору однозначно призводить до зменшення інтенсивності втрат теплової енергії тобто до зростання енергоефективності будівель.

При відсутності чергового опалення і зростанні термічного опору в 4 рази від 0,1 до 0,4 $(\text{кВт} \times \text{год})/(\text{м}^2 \times \text{рік})$, втрати теплової енергії зменшуються з 315,27 до 71,43, тобто на 243,84. В той час як при збільшенні термічного опору з 0,4 до 2,0 втрати теплової енергії зменшуються з 71,43 до 6,4 $(\text{кВт} \times \text{год})/(\text{м}^2 \times \text{рік})$, тобто лише на 65,03 $(\text{кВт} \times \text{год})/(\text{м}^2 \times \text{рік})$. Це в 3,75 рази менше, ніж у попередньому випадку. Таким чином при відсутності чергового опалення втрати теплової енергії через СЗОК площею 1 м^2 зменшуються, згідно (4.3), у 2,86 раз у порівнянні з випадком, коли використовується чергове опалення (4.2).

У зв'язку з тим, що втрати тепла через СЗОК прямо пропорційні її площі вирази (4.2) і (4.3) можна використовувати для розрахунків СЗОК будь-яких розмірів. Оскільки залежність втрат тепла через СЗОК від орієнтації характеризується лише коефіцієнтом додаткових втрат теплової енергії, то і сумарні втрати будуть відрізняються від них на ту ж величину (див. табл. 4.1).

4.2. Залежність надходжень сонячної радіації протягом опалювального періоду через світлопрозорі зовнішні огорожувальні конструкції від їх площі та орієнтації

Надходження сонячної радіації через СЗОК за опалювальний період ($Q_{\text{оп}}$, $\text{кВт} \times \text{год}$), для фасадів будинку, орієнтованих за чотирма напрямками – південь (Пд), північ (Пн), захід (Зх) і схід (Сх), визначалися нами, згідно [176], з виразу (4.4)

$$Q_{\text{оп}} = \zeta_{\text{СЗОК}} \cdot \varepsilon_{\text{ЗС}} \cdot (S_{\text{Пд}} \cdot I_{\text{Пд}} + S_{\text{Пн}} \cdot I_{\text{Пн}} + S_{\text{Зх}} \cdot I_{\text{Зх}} + S_{\text{Сх}} \cdot I_{\text{Сх}}), \text{ (кВт}\times\text{год)}/\text{рік} \quad (4.4)$$

де $\zeta_{\text{СЗОК}}$ – коефіцієнт, що враховує затінення СЗОК непрозорими елементами [176], для м. Тернопіль наведено в табл. 4.1, відн. од.;

$\varepsilon_{\text{ЗС}}$ – коефіцієнт відносного проникнення сонячної радіації через засклення СЗОК, відн. од. [185];

$S_{\text{Пд}}, S_{\text{Пн}}, S_{\text{Зх}}, S_{\text{Сх}}$ – площа СЗОК у фасадах будинку, орієнтованих на Пд, Пн, Зх і Сх, м^2 відповідно;

$I_{\text{Пд}}, I_{\text{Пн}}, I_{\text{Зх}}, I_{\text{Сх}}$ – середня величина сонячної радіації за опалювальний період, спрямована на вертикальну поверхню за умов хмарності, відповідно орієнтовану на Пд, Пн, Зх і Сх [176], для м. Тернопіль наведено в табл. 4.2, $(\text{кВт}\times\text{год})/\text{м}^2$.

Розрахунок надходжень сонячної радіації через СЗОК за опалювальний період для м. Тернопіль проведено з використанням довідникових даних, наведених в табл. 4.3

Таблиця 4.3

Вихідні дані для визначення надходження сонячної радіації через СЗОК за опалювальний період

Величина	$\zeta_{\text{СЗОК}}$	$S_{\text{СЗОК}}$	$I_{\text{Пд}}$	$I_{\text{Пн}}$	$I_{\text{Зх}}$	$I_{\text{Сх}}$
Значення	0,75	1	249,2	86,1	145,6	142,2

Надходження теплової енергії ($Q_{\text{оп}}$, $\text{кВт}\times\text{год}/\text{рік}$) в опалювальний період через СЗОК площею 1 м^2 західної орієнтації з КВПСР рівним 0,5 становить

$$Q_{\text{оп}} = 0,75 \cdot 0,5 \cdot 1 \cdot 145,6 = 54,6 (\text{кВт}\times\text{год})/(\text{м}^2\times\text{рік}).$$

В (4.4) для врахування непрозорих елементів СЗОК використовується коефіцієнт $\zeta_{\text{СЗОК}}$, який, відповідно до кількості камер та компонування склопакетів вказує, на частку площі СЗОК, через яку сонячна радіація проникатиме в приміщення. Тобто він вказує відносну площу засклення СЗОК ($\zeta_{\text{СЗОК}} = \bar{s}_{\text{ЗС}}$). Його недоліком є те, що він не враховує площі СЗОК, а відповідно до [142], відносна площа засклення СЗОК має різні значення для різної площі та пропорцій СЗОК. Тому

для удосконалення даного розрахунку пропонується замінити добуток цього коефіцієнта та площі СЗОК на площу засклення відповідної СЗОК (4.5).

$$S_{3C} = \bar{s}_{3C} \cdot S_{C3OK}, \text{ м}^2. \quad (4.5)$$

4.3. Залежність витрат електроенергії на видалення тепла протягом охолоджувального періоду від площі та орієнтації світлопрозорої зовнішньої огороджувальної конструкції

Найбільше значення радіаційних надходжень тепла в робочу зону (Q_{OX}^{MAKS} , кВт×год/рік) в охолоджувальний період, визначається за максимальним значенням сумарної сонячної радіації, яка надходить на площину СЗОК протягом доби і розраховується, згідно з [175], за формулою (4.6)

$$Q_{OX}^{MAKS} = (Q_{B.PP.VII}^{MAKS} + Q_{B.PO3.VII}^{MAKS}) \cdot \varepsilon_{3C} \cdot \tau_2 \cdot \tau_3 \cdot \tau_4 \cdot \bar{s}_{3C} \cdot S_{C3OK} \cdot T_{OX} \cdot 10^{-3}, \text{ кВт} \times \text{год} / (\text{м}^2 \times \text{рік}) \quad (4.6)$$

де $Q_{B.PP.VII}^{MAKS}$ – найбільше значення прямої сонячної радіації в липні при безхмарному небі на вертикальну поверхню певної орієнтації [179], Вт/м²;

$Q_{B.PO3.VII}^{MAKS}$ – найбільше значення розсіяної сонячної радіації в липні при безхмарному небі на вертикальну поверхню певної орієнтації [179], Вт/м²;

τ_2 – коефіцієнт, який враховує втрати світла в переплетах СЗОК [178], відн. од.;

τ_3 – коефіцієнт, який враховує зниження теплонадходжень за рахунок забруднення скла, , відн. од., [178, дод. 12], наведено в табл. 4.5;

τ_4 – коефіцієнт теплопропускання сонцезахисних пристроїв [178], відн. од.;

T_{OX} – тривалість охолоджувального періоду, год/рік, визначається з [184].

Вихідні дані для розрахунку найбільшого значення радіаційних надходжень тепла в робочу зону наведено в табл. 4.4.

Таблиця 4.4

Вихідні дані для розрахунку найбільшогоих радіаційних надходжень тепла в робочу зону

Розрахункова величина	τ_2 , відн. од.	τ_3 , відн. од.	τ_4 , відн. од.	T_{OX} , год/рік
Значення	0,75	0,9	1	423

Значення кліматичних умов для розрахунку найбільших радіаційних надходжень тепла в робочу зону, для м. Тернопіль, відповідно до [179], наведено в табл. 4.5.

Таблиця 4.5

Найбільше значення сонячної радіації в липні при безхмарному небі на вертикальну поверхню певної орієнтації

Орієнтація	Пн	ПнСх	Сх	ПдСх	Пд	ПдЗх	Зх	ПнЗх
Пряма ($Q_{\text{В.ПР.VII}}^{\text{МАКС}}$), Вт/м ²	70	264	512	476	374	476	512	370
Розсіяна ($Q_{\text{В.РОЗ.VII}}^{\text{МАКС}}$), Вт/м ²	55	109	146	145	136	145	146	92

Вирази (4.7), (4.8) і (4.9) дозволяють визначити найбільше значення радіаційних надходжень тепла в робочу зону ($Q_{\text{ОХ}}^{\text{МАКС}}$, (кВт×год)/(м²×рік)) для м. Тернопіль, для СЗОК яка орієнтована:

– на південь [180]:

$$Q_{\text{ОХ}}^{\text{МАКС}} = 145,62 \cdot S_{\text{СЗОК}} \cdot \bar{s}_{\text{ЗС}} \cdot \varepsilon_{\text{ЗС}}, \quad (\text{кВт} \times \text{год}) / \text{рік}, \quad (4.7)$$

– на північ [180]:

$$Q_{\text{ОХ}}^{\text{МАКС}} = 35,69 \cdot S_{\text{СЗОК}} \cdot \bar{s}_{\text{ЗС}} \cdot \varepsilon_{\text{ЗС}}, \quad (\text{кВт} \times \text{год}) / \text{рік}, \quad (4.8)$$

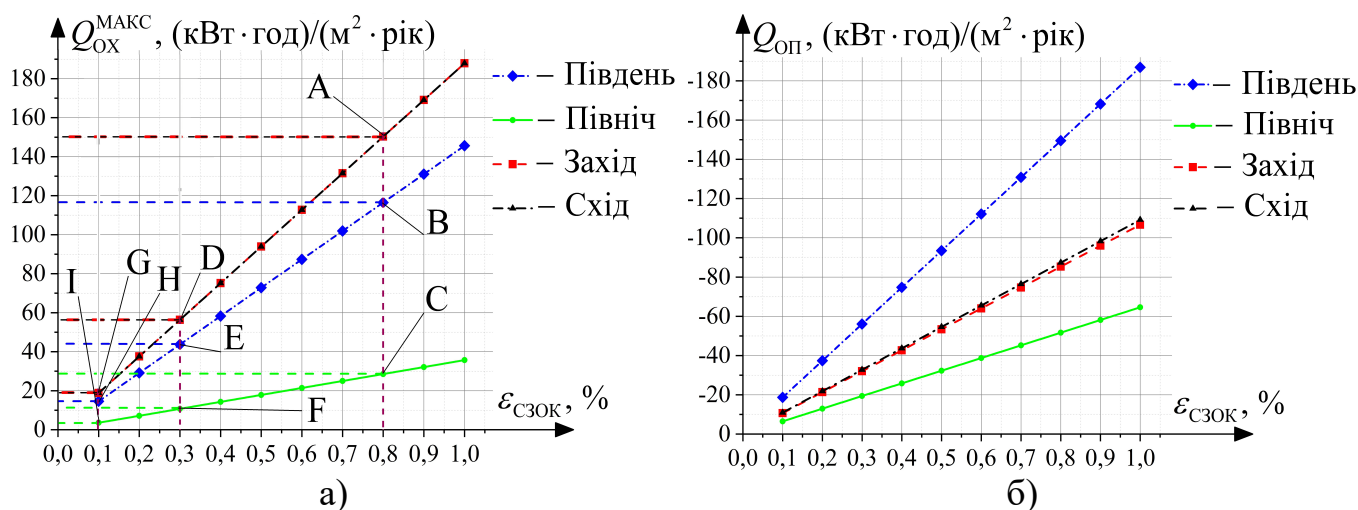


Рис. 4.2. Залежність надходження сонячної радіації через СЗОК площею 1 м² при зміні орієнтації та КВПСР протягом: а) охолоджувального періоду; б) опалювального періоду [180]

– на захід і схід [180]:

$$Q_{\text{ОХ}}^{\text{МАКС}} = 187,88 \cdot S_{\text{СЗОК}} \cdot \bar{s}_{\text{ЗС}} \cdot \varepsilon_{\text{ЗС}}, \text{ (кВт}\times\text{год)/рік.} \quad (4.9)$$

Результати розрахунків найбільшого значення радіаційних надходжень тепла в робочу зону приміщення для м. Тернопіль, наведено на рис. 4.2

Як видно з (4.7-4.9) та рис. 4.2, теплонадходження через СЗОК прямо пропорційні величині коефіцієнта відносного проникнення сонячної радіації. Для м. Тернопіль теплонадходження через СЗОК східної і західної орієнтацій майже не відрізняються. Максимальна кількість теплової енергії в охолоджувальний період надходить через СЗОК східної та західної орієнтації. В опалювальний період – південної орієнтації.

4.4. Залежність сумарних витрат електроенергії на опалення та видалення тепла протягом року від властивостей та орієнтації світлопрозорої зовнішньої огорожувальної конструкції

Для визначення сумарних річних витрат енергії на опалення та охолодження (ω , (кВт×год)/рік) потрібно визначати питомі витрати електроенергії сучасними пристроями для опалення і охолодження. Оскільки дані вказані в [185, 186] є застарілими (у першому випадку вони визначались для адіабатичного охолодження, а в другому – майже 20 років тому) було вирішено визначити величину питомих витрат електроенергії для видалення та постачання 1 кВт×год теплової енергії при використанні сучасних кондиціонерів.

Оскільки теплоізоляційні матеріали та металопластикові СЗОК не забезпечують достатнього надходження повітря в приміщення, необхідно використовувати прилади, які мають можливість подавати свіже повітря з зовнішнього оточуючого середовища. На даний час універсальним рішенням для вентиляції, нагрівання та охолодження приміщень є каналні кондиціонери. Вони малогабаритні і їх можна встановлювати в приміщеннях, де система вентиляції на етапі будівництва не була передбачена.

Відповідно до Постанови Кабінету Міністрів України від 24 травня 2017 р. № 360 [187], про затвердження технічного регламенту енергетичного маркування

кондиціонерів повітря прийнято наступні визначення:

- номінальна потужність означає споживану електричну потужність для охолодження або нагрівання компресійного циклу установки за стандартних умов оцінювання [187];
- потужність охолодження/обігріву означає потужність яка видається поступає через кондиціонер при споживанні номінальної потужності установкою компресійного циклу за стандартних умов оцінювання [187];
- номінальний коефіцієнт енергоефективності (*EER*) означає заявлену потужність для охолодження повітря [кВт], поділену на вхідну номінальну потужність для охолодження [кВт] приміщення за стандартних умов випробувань [187];
- коефіцієнт перетворення (*COP*) означає заявлену потужність для нагрівання повітря [кВт], поділену на вхідну номінальну потужності для опалення [кВт] приміщення, яка забезпечує обігрів за стандартних умов випробувань [187].

Для визначення актуального значення питомої витрати електроенергії на вентиляцію, та охолодження повітря каналними кондиціонерами проаналізовано модельний ряд компанії Neoclima (табл. 4,6) [188].

Таблиця 4.6

Параметри каналних безінверторних кондиціонерів Neoclima

Назва	Охолодження			Опалення		
	Номінальна потужність, Вт	Потужність охолодження, Вт	<i>ERR</i> Вт/Вт	Номінальна потужність, Вт	Потужність обігріву, Вт	<i>COP</i> , Вт/Вт
NDS12AH1me	1268	3725	2,94	1198	3810	3,18
NDS18AH1me	1857	5030	2,71	1621	5570	3,44
NDS24AH1me	2459	6640	2,70	2287	7260	3,17
NDS36AH3me	3624	9850	2,72	3438	11725	3,41
NDS48AH3me	4790	13100	2,73	4405	16100	3,65
NDS60AH3me	6114	16450	2,69	5087	17880	3,51
NDS18AH1mes	1857	5030	2,71	1621	5570	3,44
NDS24AH1mes	2459	6640	2,70	2287	7260	3,17
NDS36AH3mes	3624	9850	2,72	3438	11725	3,41
NDS48AH3mes	4790	13100	2,73	4405	16100	3,65
NDS60AH3mes	6114	16450	2,69	5087	17880	3,51
Середнє значення			2,73	3,41		

Оскільки для приміщень різних розмірів і з не однакою кількістю працюючих систему охолодження потрібно розраховувати окремо, то для спрощення

розрахунків скористаємося середнім значенням паспортних даних сучасних кондиціонерів (табл. 4.6).

Витрати електроенергії на роботу кондиціонера для компенсації тепловтрат та теплонадходжень через СЗОК визначалися за виразом (4.10) [180].

$$\omega = (\omega_{\text{оп}} - Q_{\text{оп}}) / COP + Q_{\text{ох}}^{\text{МАКС}} / ERR, \text{ (кВт}\cdot\text{год)} / \text{рік}. \quad (4.10)$$

Результати розрахунку витрат електроенергії для компенсації тепловтрат та теплонадходжень через СЗОК для м. Тернопіль, при площі СЗОК 1 м^2 наведено на рис. 4.3 (для значення КВПСР 0,3) і на рис. 4.4 (для значення КВПСР 0,8).

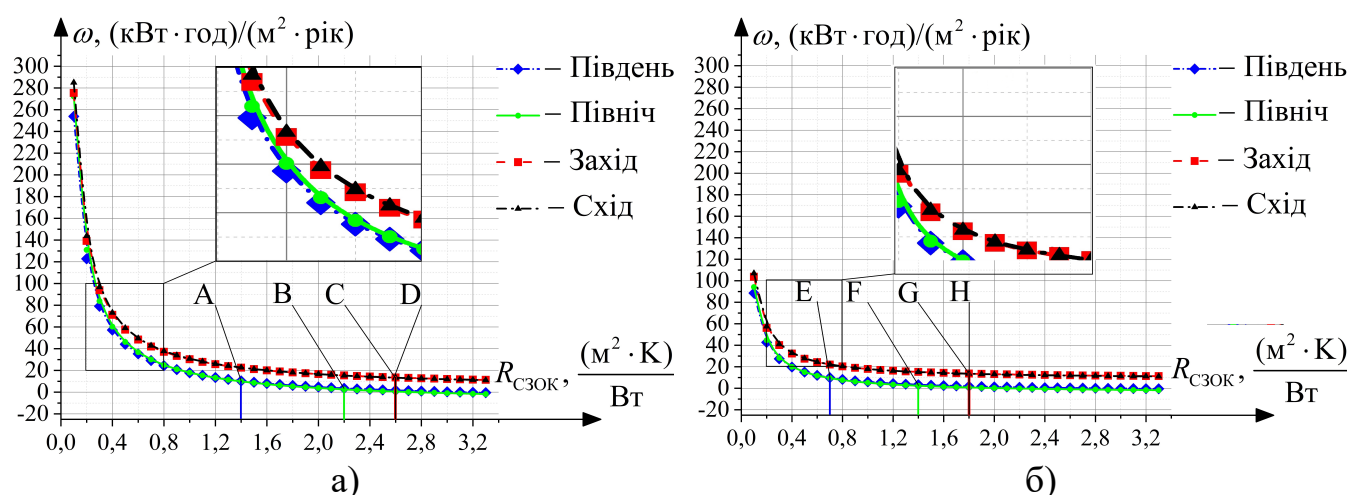


Рис. 4.3. Залежність витрат електроенергії для компенсації тепловтрат та теплонадходжень через СЗОК площею 1 м^2 з КВПСР 0,3 від її орієнтації та термічного опору: а) з черговим опаленням; б) без чергового опалення [180]

За мінімальний термічний опір СЗОК прийнято те його значення, при якому електроенергія, спожита кондиціонером за рік, дорівнює електроенергії зекономленій за рахунок теплонадходжень в опалювальний період (рис. 4.2, б). Практична реалізація такого підходу на даний момент є неможливою тому, що для цього потрібні СЗОК з термічним опором більшим за $2,0 \text{ (м}^2 \times \text{°C)} / \text{Вт}$ (рис. 4.3, 4.4). Реальні значення термічного опору СЗОК не перевищують $1,2 \text{ (м}^2 \times \text{°C)} / \text{Вт}$.

Тому для визначення необхідного термічного опору розглядався варіант з використанням суцільних однорідних сонцезахисних пристроїв. Для СЗОК з КВПСР рівним 0,3, при використанні сонцезахисних пристроїв влітку, результу-

ючий КВПСР прийнято рівним 0,1. Тобто від значення сумарної спожитої електроенергії (рис. 4.3, а, т. А, т. В, т. С, т. D при використанні чергового опалення) і (рис. 4.3, б, т. Е, т. F, т. G, т. Н без використання чергового опалення) віднімали величину затраченої електроенергії на видалення теплонадходжень (рис. 4.2, а). Такі ж розрахунки проведено і при значенні КВПСР СЗОК рівним 0,8 (рис. 4.4, а) і (рис. 4.4, б), при результуючому значенні 0,5 (рис. 4.2, а).

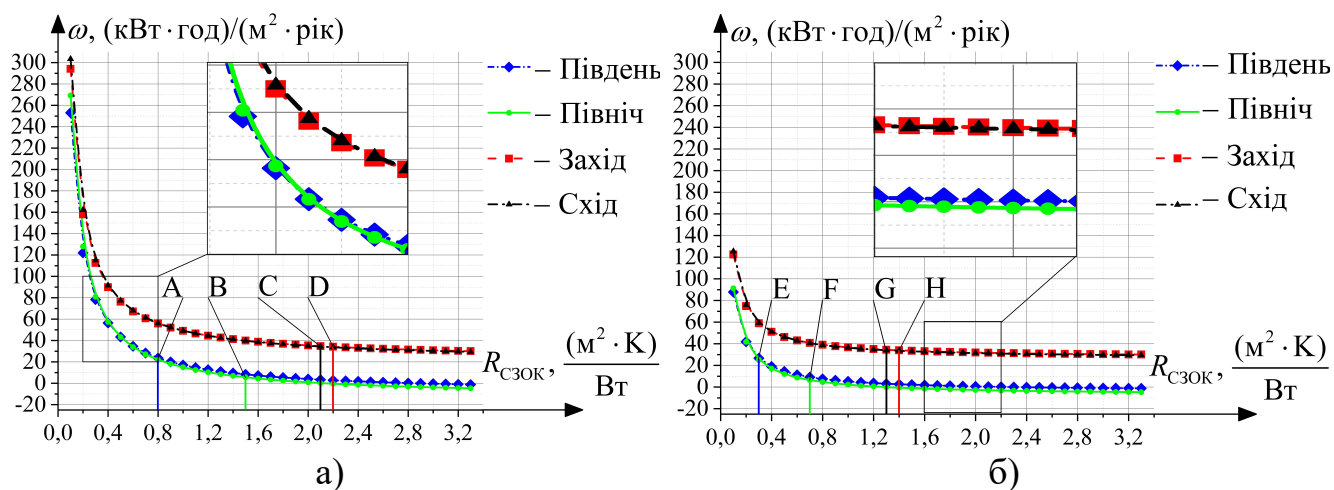


Рис. 4.4. Залежність витрат електроенергії для компенсації тепловтрат та теплонадходжень через СЗОК площею 1 м^2 з КВПСР 0,8 від її орієнтації та термічного опору: а) з черговим опаленням; б) без чергового опалення [180]

В результаті встановлено, що використання сонцезахисних пристроїв в період охолодження для СЗОК з КВПСР 0,8, дозволяє економити електроенергію, у випадку наявності чергового опалення, при термічному опорі $0,8 \text{ (м}^2 \times ^\circ\text{C)/Вт}$ для південної орієнтації, $1,6 \text{ (м}^2 \times ^\circ\text{C)/Вт}$ – для північної і $2,2 \text{ (м}^2 \times ^\circ\text{C)/Вт}$ і $2,3 \text{ (м}^2 \times ^\circ\text{C)/Вт}$ для східної і західної відповідно (рис. 4.40, а). При відсутності чергового опалення – для південної, північної, східної і західної орієнтацій відповідно (рис. 4.4, а). Як видно з рис. 4.3 і рис. 4.4 більша економія електроенергії в будівлях з СЗОК спостерігається при відмові від чергового опалення і збільшенні КВПСР.

Виходячи з отриманих результатів, можна стверджувати, що використання сонцезахисних пристроїв для зменшення КВПСР світлопрозорих зовнішніх огорожувальних конструкцій сприяє підвищенню енергоефективності будівель. В

реальних умовах вона буде ще вагомішою тому, що кількість електроенергії, необхідна для комфортного освітлення приміщень, також зменшиться.

4.5. Сумарний вплив використання світлопрозорих зовнішніх огорожувальних конструкцій на енергетичний баланс офісного приміщення

Електроенергія, яка буде зекономлена за рік, завдяки використанню СЗОК визначається за формулою (4.11) [189].

$$W_{\text{СЗОК}} = W_{\text{ш.о}} - \omega, \text{ (кВт}\times\text{год)/рік,} \quad (4.11)$$

де $W_{\text{ш.о}}$ – електроенергія зекономлена протягом року, за рахунок використання природного освітлення, (кВт \times год)/м²;

ω – витрати електроенергії на роботу кондиціонера для компенсації тепловтрат та теплонадходжень через СЗОК, (кВт \times год)/рік.

Електроенергія зекономлена за рахунок використання природного освітлення визначається за формулою (4.12) [189].

$$W_{\text{ш.о}} = (S_{\text{п}} \cdot p_{\text{ш.о}} \cdot \text{АПО}_{300}), \text{ (кВт}\times\text{год)/рік,} \quad (4.12)$$

де $S_{\text{п}}$ – площа підлоги приміщення, м²;

$p_{\text{ш.о}}$ – питома потужність штучного освітлення, кВт \times год/м²;

АПО_{300} – автономність природного освітлення (при нормованому значенні освітленості 300 лк), год/рік;

АПО_{300} можна визначити за допомогою спеціалізованого програмного Relux, для будь якої локації. Для м. Тернопіль, для довільних розмірів приміщення та площі СЗОК, з стандартним відхиленням 59,8 і коефіцієнтом детермінації 0,992 автономність природного освітлення визначається за формулою (3.15). ЗІЗП визначається за формулою (3.6)

Витрати електроенергії на роботу кондиціонера для компенсації тепловтрат та теплонадходжень через СЗОК визначаються за виразом (4.9).

На даний момент вирази для визначення сумарного впливу СЗОК на енергетичний баланс приміщення, для м. Тернопіль, набувають вигляду (4.13-4.16) – для південної орієнтації, (кВт×год)/рік [190]:

$$W_{\text{СЗОК}} = S_{\text{П}} \cdot p_{\text{Ш.О}} \cdot \text{АПО}_{300} - S_{\text{Пд}} \cdot ((34,097 / R_{\text{СЗОК}} - 10,333) - 19,74 \cdot \bar{s}_{3\text{C}} \cdot \varepsilon_{3\text{C}}); (4.13)$$

– для північної орієнтації, (кВт×год)/рік [190]:

$$W_{\text{СЗОК}} = S_{\text{П}} \cdot p_{\text{Ш.О}} \cdot \text{АПО}_{300} - S_{\text{Пн}} \cdot ((36,720 / R_{\text{СЗОК}} - 11,127) - 12,18 \cdot \bar{s}_{3\text{C}} \cdot \varepsilon_{3\text{C}}); (4.14)$$

– для західної орієнтації, (кВт×год)/рік [190]:

$$W_{\text{СЗОК}} = S_{\text{П}} \cdot p_{\text{Ш.О}} \cdot \text{АПО}_{300} - S_{3\text{х}} \cdot ((35,409 / R_{\text{СЗОК}} - 10,730) + 26,12 \cdot \bar{s}_{3\text{C}} \cdot \varepsilon_{3\text{C}}), (4.15)$$

– для східної орієнтації, (кВт×год)/рік [190]:

$$W_{\text{СЗОК}} = S_{\text{П}} \cdot p_{\text{Ш.О}} \cdot \text{АПО}_{300} - S_{\text{Сх}} \cdot ((36,720 / R_{\text{СЗОК}} - 11,127) + 27,12 \cdot \bar{s}_{3\text{C}} \cdot \varepsilon_{3\text{C}}), (4.16)$$

В результаті аналізу виразів (4.13), (4.14), (4.15) та (4.16) видно, що для південної (4.13) та північної (4.14) орієнтацій (збільшення КВПСР призводить до збільшення економії електроенергії (від’ємний коефіцієнт), тоді як для західної (4.15) та східної (4.16) – до зменшення. Проте не варто забувати, що збільшення КВПСР призводить до зростання кількості природного світла, яке надходить в приміщення, зменшуючи споживання електроенергії системою штучного освітлення.

Виходячи з виразів (4.13), (4.14), (4.15) та (4.16) отримуємо нерівності (4.17), (4.18), (4.19) та (4.20) відповідно, для визначення параметрів, при яких СЗОК матиме позитивний вплив на сумарний енергетичний баланс приміщення: – для південної орієнтації, (кВт×год)/рік [189]:

$$S_{\text{П}} \cdot p_{\text{Ш.О}} \cdot \text{АПО}_{300} > S_{\text{Пд}} \cdot ((34,097 / R_{\text{СЗОК}} - 10,333) - 19,74 \cdot \bar{s}_{3\text{C}} \cdot \varepsilon_{3\text{C}}); (4.17)$$

– для північної орієнтації, (кВт×год)/рік [189]:

$$S_{\Pi} \cdot p_{\Pi,0} \cdot APO_{300} > S_{\Pi} \cdot ((36,720 / R_{\text{СЗОК}} - 11,127) - 12,18 \cdot \bar{s}_{3C} \cdot \varepsilon_{3C}); \quad (4.18)$$

– для західної орієнтації, (кВт×год)/рік [189]:

$$S_{\Pi} \cdot p_{\Pi,0} \cdot APO_{300} > S_{3x} \cdot ((35,409 / R_{\text{СЗОК}} - 10,730) + 26,12 \cdot \bar{s}_{3C} \cdot \varepsilon_{3C}); \quad (4.19)$$

– для східної орієнтації, (кВт×год)/рік [189]:

$$S_{\Pi} \cdot p_{\Pi,0} \cdot APO_{300} > S_{\text{Сх}} \cdot ((36,720 / R_{\text{СЗОК}} - 11,127) - 27,17 \cdot \bar{s}_{3C} \cdot \varepsilon_{3C}). \quad (4.20)$$

Для прикладу, розрахуємо при якій площі, СЗОК з профілем Veka Softline 82 з термічним опором $1 \text{ (м}^2 \times ^\circ\text{C) / Вт}$ та склопакетом 4Solar-16Ar-4-12Ar-4i, з термічним опором $1,14 \text{ (м}^2 \times ^\circ\text{C) / Вт}$ та КВПСР 0,68, яка встановлено в ЗОК приміщення з розмірами (ш×г×в) $6 \times 4 \times 3 \text{ м}$ буде досягнуто максимальну енергоефективність. Для цього за виразом (3.6) визначимо значення ЗІЗП для значень КПО, відповідно до [151] від 0,6 до 2,2, за (3.15) визначимо $AP0_{300}$ для отриманих значень ЗІЗП, та за алгоритмом з [171] отримаємо площу СЗОК.

Виходячи з отриманого значення ЗІЗП, з [151] можна визначити мінімальну площу засклення СЗОК, при якій забезпечується нормована освітленість в розрахунковій точці робочої поверхні.

Інженерний розрахунок фактичного приведенного термічного опору СЗОК може бути з достатньою коректністю виконаний на підставі європейських нормативних документів DIN EN ISO 10077 «Теплові характеристики вікон, дверей і жалюзі. Розрахунок тепловтрат» і DIN V 4108-4 «Термічний захист будівель».

Для більшості випадків, для визначення інтегрального термічного опору прямокутних СЗОК, вмонтованих в проріз основної несучої непрозорої ЗОК, відповідно до [154], на стадії інженерного проектування може бути використана спрощена формула (4.21).

$$R_{\text{СЗОК}} = \left(S_{3C} + \sum_{i=1}^n S_i \right) / \left(S_{3C} / R_{\Sigma 3C} + \sum_{i=1}^n S_i / R_{\Sigma i} + \sum_{j=1}^m k_j \cdot L_j \right), \text{ (м}^2 \times ^\circ\text{C) / Вт}, \quad (4.21)$$

де S_{3C} – площа світлопрозорої частини (засклення) СЗОК, м^2 ; $R_{\Sigma i}$, S_i – термічний

опір теплопередачі та площа i -го непрозорого елемента СЗОК; n – кількість непрозорих елементів СЗОК з певними значеннями $R_{\Sigma i}$ і S_i , шт; k_j – лінійний коефіцієнт теплопередачі, j -го теплопровідного включення, Вт/(м²×°С); L_j – лінійний розмір j -го конструктивного непрозорого елемента СЗОК, м; m – кількість непрозорих елементів конструкції, для яких необхідно визначати k_j .

В результаті розрахунків, для заданих параметрів отримано значення площі СЗОК, ЗІЗП, $АПО_{300}$ та $R_{СЗОК}$, які наведено в табл. 4.7.

Таблиця 4.7

Значення площі елементів СЗОК, ЗІЗП, $АПО_{300}$ та $R_{СЗОК}$ для СЗОК з заданими параметрами

КПО, %	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,2
$I_{ЗС.П.}$, %	20,66	26,89	32,90	38,69	44,26	49,60	52,19	54,72	57,20	59,62	64,29
$АПО_{300}$, год/рік	429,5638	648,0649	842,0675	1013,392	1163,791	1294,951	1353,824	1408,489	1459,137	1505,957	1588,838
$S_{ЗС}$, м ²	2,53	3,29	4,02	4,73	5,41	6,07	6,69	6,99	7,29	7,86	9,88
$S_{ПРОФ}$, м ²	0,49	0,55	0,61	0,66	0,70	0,74	0,78	0,79	0,81	0,84	0,94
$S_{ЗП}$, м ²	0,08	0,10	0,12	0,13	0,15	0,17	0,18	0,19	0,20	0,21	0,26
$S_{СЗОК}$, м ²	3,10	3,94	4,75	5,52	6,26	6,97	7,65	7,98	8,30	8,91	11,08
$\bar{s}_{ЗС}$, відн. од.	0,82	0,83	0,85	0,86	0,86	0,87	0,87	0,88	0,88	0,88	0,89
$R_{СЗОК}$	1,13	1,13	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14

Розглянемо вплив СЗОК на енергетичний баланс приміщення для південної орієнтації СЗОК (табл. 4.8).

Таблиця 4.8

Економії електроенергії при встановленні СЗОК ($W_{СЗОК}$) для різних значень питомого споживання електроенергії штучним освітленням та КПО в РТ для приміщення з розмірами 6×4×3 м, кВт×год/рік

$P_{Ш.О.}$, кВт/м ²	КПО, %										
	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,2
0,005	24,018	43,714	60,836	75,551	88,040	98,486	100,510	104,641	108,350	109,408	103,393
0,01	75,565	121,482	161,884	197,158	227,695	253,880	262,969	273,660	283,447	290,123	294,053
0,015	127,113	199,250	262,932	318,765	367,350	409,274	425,428	442,678	458,543	470,838	484,714
0,02	178,661	277,017	363,980	440,372	507,005	564,668	587,887	611,697	633,640	651,552	675,374

Як видно з табл. 4.8 економія електроенергії для приміщень з СЗОК для м. Тернопіль виникає навіть при питомій потужності системи штучного освітлення 0,005 кВт/м² та величині КПО від 0,6%. З чого можна зробити висновок, що вста-

новлення сучасних СЗОК призводить до зменшення сумарного споживання електроенергії для забезпечення нормованих кліматичних умов в офісному приміщенні.

Підкреслимо, що при розрахунках витрат електроенергії на опалення та охолодження приміщення до уваги були взяті тільки опалювальний та охолоджувальний періоди. Тепловий баланс в інші дні не враховано. Оскільки для м. Тернопіль, опалювальний період триває від 14.10 по 16.04, згідно з [179], а період охолодження від 08.06 по 26.08 [184], то 110 діб між цими періодами не враховуються. А це додаткові теплонадходження через СЗОК південної орієнтації протягом 110 днів, які збільшують комфорт перебування в приміщенні, проте не впливають на витрати електроенергії. Також слід зауважити, що витрати електроенергії на видалення надлишкового тепла в охолоджувальний період розраховуються для максимальних надходжень сонячної радіації через СЗОК.

Висновки до розділу 4

1. Розрахунками підтверджено, що при використанні чергового опалення темп зміни втрат теплової енергії через СЗОК різко зменшується при зростанні їх термічного опору (рис. 4.1, а).

2. Встановлено, що максимальні надходження сонячної радіації через СЗОК для м. Тернопіль в період охолодження спостерігаються при західній та східній орієнтації, в опалювальний період – при південній орієнтації (рис. 4.2).

3. Доведено, що при термічному опорі $\leq 0,4 \text{ (м}^2 \times ^\circ\text{C)}/\text{Вт}$ річний мінімум витрат електроенергії для видалення тепла та компенсації тепловтрат через СЗОК, спостерігаються при південній його орієнтації. При термічному опорі $> 0,4 \text{ (м}^2 \times ^\circ\text{C)}/\text{Вт}$ – при північній орієнтації.

4. Встановлено, що використання сонцезахисних пристроїв в період охолодження для СЗОК з КВПСР 0,8, при певних значеннях термічного опору для кожної орієнтації СЗОК, призводить до зменшення споживання електроенергії у порівнянні з глухою ЗОК (рис. 4.4, а).

5. Отримано вирази, які дозволяються визначити властивості СЗОК, при яких економія електроенергії на штучне освітлення та зменшення споживання на

опалення за рахунок надходжень тепла в опалювальний період буде більшою, а ніж її витрати на опалення та видалення тепла.

6. Встановлено, що використання сучасних СЗОК в офісних приміщеннях в м. Тернопіль дозволяє зменшити сумарне споживання електроенергії навіть при питомій потужності системи штучного освітлення $0,005 \text{ кВт/м}^2$ і величині КПО від 0,6%. При збільшенні величини КПО сумарна економія також зростає.

РОЗДІЛ 5

ЕНЕРГЕТИЧНА ТА ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ СУМІЩЕНОГО ОСВІТЛЕННЯ СХОДОВИХ КЛІТОК

Питання регулювання освітленості від штучних джерел світла (ДС) в приміщеннях різного призначення в США розглядалось ще в 2013 році, в результаті чого було розроблено стандарт ASHRAE 90.1-2013 [192]. В ньому увага була акцентована не тільки на зниженні інтенсивності та потужності освітлення, але й на пошуку шляхів досягнення економії електроенергії (ЕЕ) за рахунок використання додаткових елементів керування освітленням [193].

Оскільки будівельна індустрія поступово рухається у напрямку зведення будинків «нуль енергії» Міністерство енергетики США (DOE) в рамках програми Architecture 2030 [194] визнало, що управління освітленням відіграє суттєву роль в енергозбереженні. За оцінкою Управління енергетичної інформації США в 2019 році житловий і комерційний сектори США спожили близько 216 мільярдів кВт·год електроенергії на освітлення. Це становило близько 8% загального споживання електроенергії обома секторами і близько 5% загального споживання електроенергії в США. Споживання електроенергії в житловому секторі на освітлення склало близько 75 млрд. кВт·год. Це близько 5% від загального споживання електроенергії в житловому секторі у 2019 році [195]. Впровадження систем управління освітленням здатне зменшити споживання ЕЕ до 60% без зниження комфорту та продуктивності праці [196].

Доцільність використання компактних люмінесцентних ламп (КЛЛ) для прямої заміни ламп розжарення (ЛР) розглянуто в [197]. Проте, ці ДС до цього часу не набули широкого застосування через ряд причин, однією з яких є низька якість, зокрема – ненадійність [197].

В [198] проведено аналіз енергоефективності заміни ЛР на люмінесцентні та світлодіодні джерела світла. В даному дослідженні порівнювались їх світлотехнічні характеристики для освітлення робочої поверхні, а не сходових кліток і не проводились дослідження щодо доцільності використання системи керування штучним освітленням.

Найбільш енергоефективним джерелом світла в теперішній час є світлодіодні лампи (СДЛ), для яких встановлений досить жорсткий форм-фактор. Вони повинні мати форму, розміри і цоколь такі ж, як і у класичних ЛР. З технічної точки зору ця вимога абсолютно не логічна. Не можна переносити вимоги які оптимальні лише для ЛР, на СДЛ. Драйвер, який розміщується в корпусі лампи, одночасно виконує і роль радіатора. Але його поверхні не завжди вистачає для ефективного охолодження.

В багатоповерхових будинках освітлення сходів (маршів і майданчиків) та поверхових коридорів є важливим фактором комфорту та безпеки мешканців будинків. Впровадження СДЛ та автоматичних систем управління освітленням здатне знизити загальне споживання ЕЕ в кілька разів. Проте помилки при проектуванні таких систем, з точки зору надійності і безпеки, часто призводять до порушення вимог нормативних документів щодо освітленості і безпеки мешканців.

Для визначення ефективності заходів з енергозбереження в багатоквартирних будинках, відділ житлового будівництва і відновлення громади штату Нью-Йорк профінансував дослідження з вивчення впливу на енергозбереження пристроїв керування штучним освітленням з урахуванням реальних режимів зайнятості в багатоквартирних будинках. Компанія Taitem Engineering, у 2012 році, в Ітаці, штат Нью-Йорк провела дослідження щодо інтенсивності руху мешканців [199]. Під час дослідження було здійснено моніторинг і реєстрацію інтенсивності руху мешканців у трьох багатоповерхових будинках (5, 6 і 15 поверхів) для визначення відвідуваності коридорів та сходових майданчиків. Один датчик був встановлений на сходовому майданчику середнього поверху, інший – біля ліфта. Датчики було встановлено на висоті 1,8 м над підлогою. Збір даних щодо інтенсивності руху мешканців будинку тривав безперервно лише чотири тижні. Тому результати досліджень не можуть бути розповсюджені на річний період.

Склад мешканців будь-якого конкретного будинку має свої власні унікальні схеми розміщення. Наприклад, в будівлі, яка заселена в основному професійними працівниками, ймовірно, буде менше людей в коридорах або сходах з 9 до 17 годин, з піками з 7 до 9 годин і з 17 до 19 годин. У молодих фахівців може бути ще один пік між 22:00 і 2:00, коли вони повертаються з зустрічей [199].

5.1. Визначення режимів роботи системи освітлення сходів

Оцінка доцільності використання систем керування штучним освітленням проведена в [200-203] з врахуванням енергоефективності джерел світла, а саме: при застосуванні ЛР, КЛЛ та СДЛ. Відповідно до будівельного стандарту України: «Природне і штучне освітлення» [170], освітленість сходових майданчиків та маршів повинна бути не нижче 20 лк. Потужності джерел світла обрано таким чином, щоб їх світлові потоки були близькими за значенням. Для ЛР це 40 Вт [204, 205], – 30 Вт [206, 207] для КЛЛ – 7 Вт [208, 209], для СДЛ – 5 Вт [210, 211]. Вартість заміни встановлено відповідно до [212]. Дані щодо технічних характеристик і вартостей ДС наведено в табл. 5.1.

Таблиця 5.1

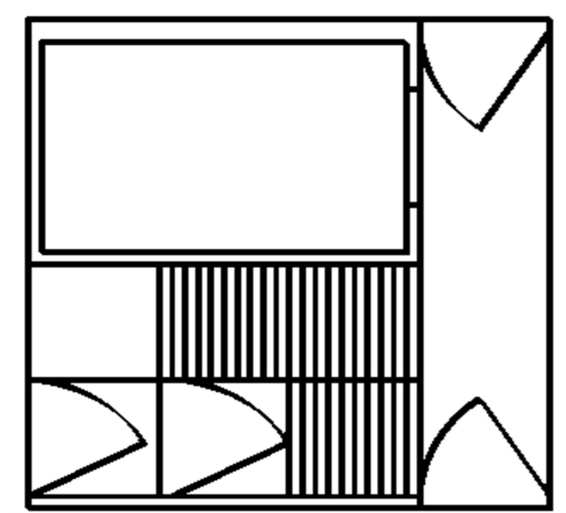
Технічні характеристики ДС

Параметр	OSRAM Classic A FR (ЛР)	Classic A Eco Pro (ГЛР)	FS-7-4200 (КЛЛ)	Global C37 CL-F (СДЛ)
Потужність, кВт	0,04	0,03	0,007	0,005
Світловий потік, лм	415	405	440	400
Світловіддача, лм/Вт	10,4	13,5	62,9	80
Колірна температура, К	4000	2700	4200	3000
Термін служби, год	1000	2000	8000	20000
Вартість, грн	11	44	14	27
Вартість заміни, грн	20	20	20	20
Кількість циклів вми- кання до відмови	4000	8000	8000	10000

На кожному поверсі встановлено два однолампових світильники (рис. 5.1).



а)



б)

Рис. 5.1. Візуальне зображення типового під'їзду (а) та схема першого поверху сходових кліток (б)

5.1.1. Система штучного освітлення з астрономічним реле

Для проведення розрахунків щодо енергоефективності використання астрономічного реле визначимося з тривалістю темного і світлого періодів доби, відповідно до яких працюватиме система керування штучним освітленням на сходових майданчиках. Для м. Тернопіль тривалість темного і світлого періодів доби для кожного місяця згідно з даними сайту [213] наведено на рис. 5.2.

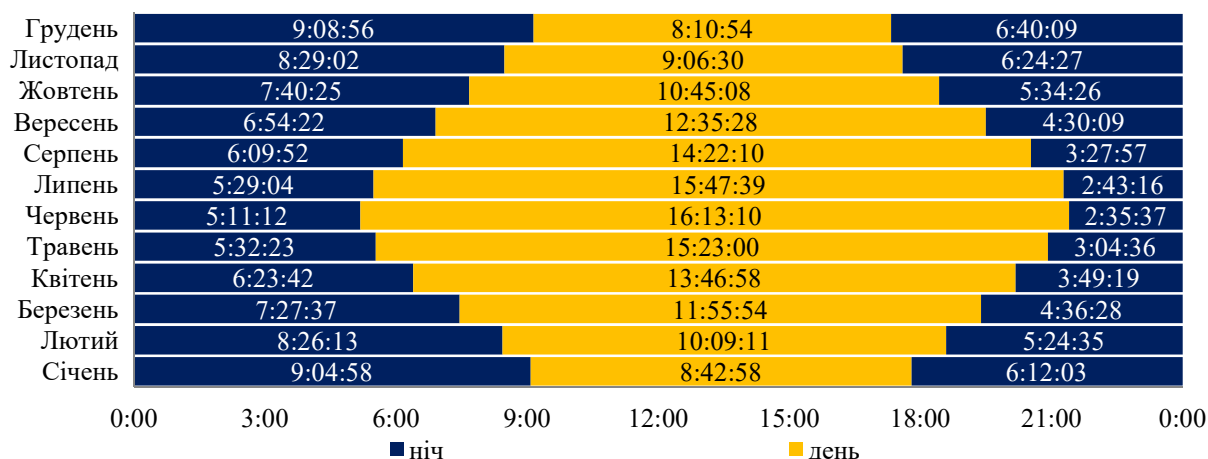


Рис. 5.2. Середньомісячна тривалість темного і світлого періодів доби для м. Тернопіль, Україна [200]

Відповідно до рис. 5.2, тривалість світлового дня змінюється від 8 год 11 хв в грудні до 16 год 13 хв у червні. Частка світлового дня в структурі доби протягом року для м. Тернопіль, становить 51% від загальної тривалості року. Це свідчить про доцільність використання систем суміщеного освітлення не тільки для житлових приміщень, але й сходів та поверхових коридорів.



Рис. 5.3. Зображення астрономічного реле РЭВ-225 [214]

Для керування системою штучного освітлення обрано астрономічне реле (АР) часу РЭВ-225 (рис. 5.3). Його вартість, технічні характеристики, витрати на встановлення і налаштування взяті з інтернет ресурсу [214] відповідно до даних сайту [212]. Для м. Тернопіль, Україна, вони зведені в табл. 5.2.

Таблиця 5.2

Технічні характеристики астрономічного реле часу РЭВ-225

Параметр	Значення
Споживана потужність (від мережі ~230 В), в режимі очікування, Вт,	не більше 1,3
Програма	Астрономічна
Режими роботи	Автоматичний; ручний
Допустиме відхилення часу	≤ 1 с/день при 20°C
Ступінь захисту	IP20
Вартість, грн	850
Вартість встановлення / налаштування, грн	100/100

5.1.2. Інтенсивності руху мешканців 9-ти поверхових будинків через дверний проріз першого поверху

Для визначення енергоефективності використання системи керування штучним освітленням за допомогою датчиків руху, необхідно визначити середню інтенсивність руху мешканців будинків. В дослідженні розглядались житлові 9-ти поверхові будинки. Результати дослідження представлені у фактичних одиницях вимірювання (мешк/год). Для узагальнення результатів досліджень зняття показів було проведено не в конкретні години початку і кінця дня (рис. 5.2), а на початку і в кінці тригодинних часових проміжків. З 7:00 до 10:00 та на початку і в кінці 9-ти годинного інтервалу з 22:00 до 07:00. Заміри проводилися протягом року. Для цього використовувалися механічні лічильники кількості проходжень мешканцями будинку дверного прорізу першого поверху. Дослідження проводилися в наступні проміжки часу: з 7:00 до 10:00; з 10:00 до 13:00; з 13:00 до 16:00; з 16:00 до 19:00; з 19:00 до 22:00; і з 22:00 до 07:00.

Отримані дані в межах вказаних проміжків часу були усереднені. Це дало можливість побудувати відповідну гістограму (рис. 5.4).

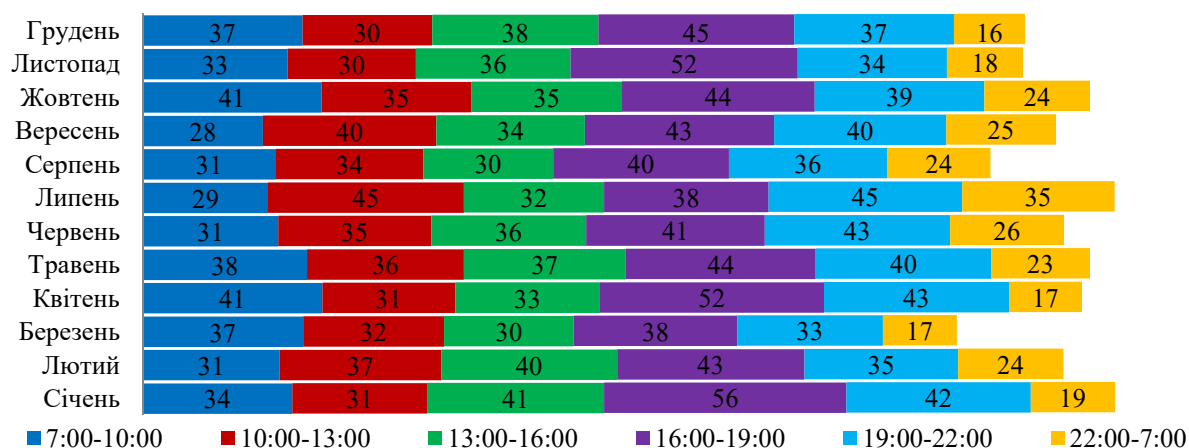


Рис. 5.4. Гістограма середньої інтенсивності руху мешканців 9-ти поверхових будинків через дверний проріз першого поверху в межах 3-годинних проміжків часу, починаючи з 7:00 до 22:00 і 9-ти годинного інтервалу з 22:00 до 07:00 [202]

Результати підрахунків середньої добової інтенсивності руху мешканців будинків через дверний проріз у межах вказаних часових проміжків (див. рис. 5.4) зведено в табл. 5.3.

Таблиця 5.3

Середньодобова інтенсивність руху мешканців через дверний проріз, мешк./добу*

Середня добова інтенсивність руху мешканців через дверний проріз, раз/добу					
Січень	223	Травень	218	Вересень	210
Лютий	210	Червень	212	Жовтень	218
Березень	187	Липень	224	Листопад	203
Квітень	217	Серпень	195	Грудень	203

З табл. 5.3 випливає, що найбільша середня інтенсивність руху мешканців спостерігається в межах з 16:00 до 19:00 год. Найменша – з 22:00 ночі до 7:00 ранку. Це вказує на доцільність впровадження автоматизованого управління моментами включення/виключення системи освітлення на сходах та поверхових коридорах в нічні періоди часу замість безперервного їх освітлення.

Середня річна інтенсивність руху мешканців 9-ти поверхових будинків через дверний проріз першого поверху в межах 3-годинних проміжків часу має вигляд рис. 5.5.

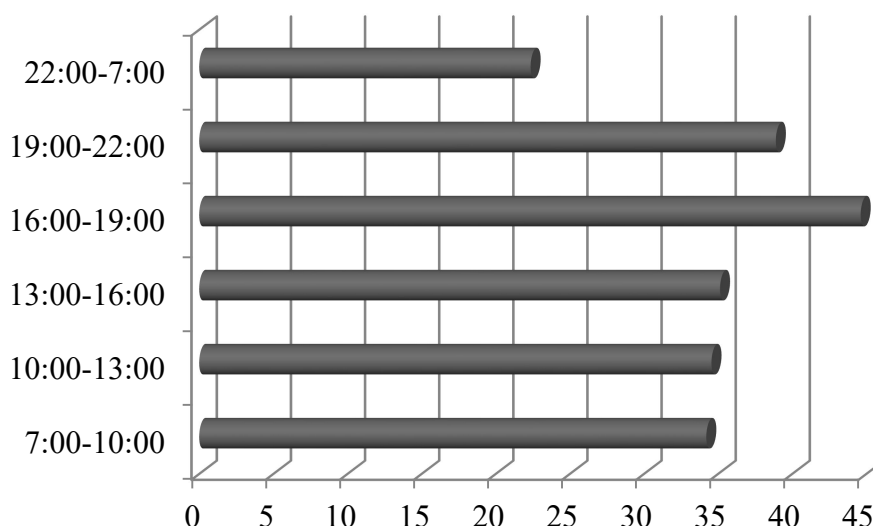
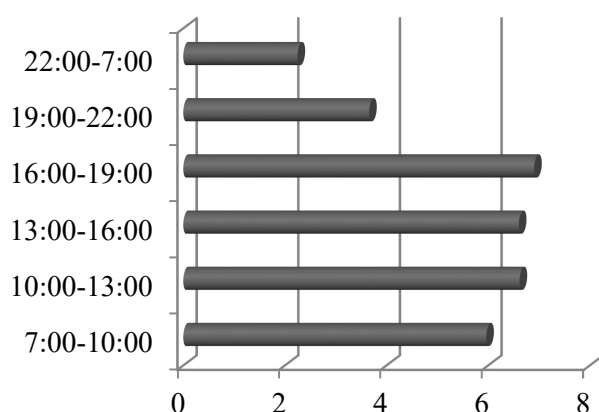
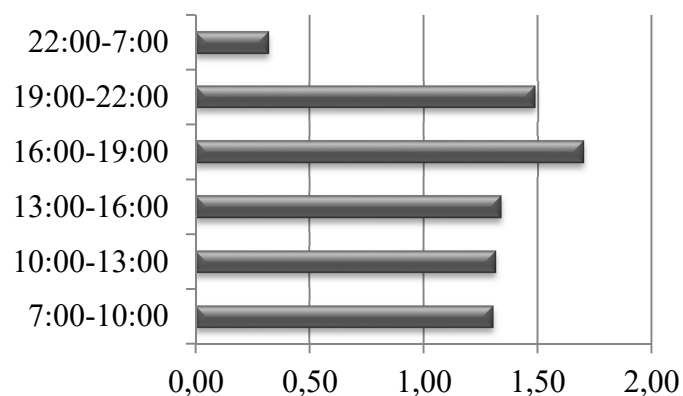


Рис. 5.5. Середньорічна інтенсивність руху мешканців через дверний проріз першого поверху для обраних часових проміжків протягом доби [202]

При розрахунку освітлення доріг, для оцінки тривалості його використання використовується коефіцієнт нерівномірності руху транспорту. Згідно з [170], для обраних часових проміжків він змінюється відповідно до рис. 5.6, а. Для даного випадку коефіцієнт нерівномірності руху мешканців будинку змінюється відповідно до рис. 5.6, б.



а)



б)

Рис. 5.6. Залежності: а) коефіцієнта нерівномірності руху транспорту;
б) коефіцієнта нерівномірності руху мешканців будинку для різних часових проміжків протягом доби [202]

Порівняння графічних представлень середніх інтенсивностей руху мешканців 9-ти поверхових будинків через дверний проріз першого поверху (рис. 5.6, б)

та коефіцієнту нерівномірності руху транспорту для різних часових проміжків протягом доби рис. 5.6, а свідчить про те, що вони подібні за динамікою, проте не ідентичні за пропорціями.



Рис. 5.7. Інфрачервоний датчик руху DR-08 [215]

Для керування системою штучного освітлення обрано датчики руху (ДР) F&F DR-08 (рис. 5.7). Технічні характеристики яких, отримані з інтернет ресурсу [215, 216], а також вартість його встановлення та налаштування, відповідно до даних сайту [212] для м. Тернопіль наведено в табл. 5.4.

Таблиця 5.4

Технічні характеристики датчика руху F&F DR-08

Параметр	Значення
Споживана потужність, Вт	0,45
Час спрацювання, с	10
Ступінь захисту	IP 20
Кут виявлення, °	360
Затримка вимкнення, с	3-540
Відстань виявлення, м	2
Температурний режим експлуатації, °C	від -10 до +40
Вартість, грн	593
Вартість встановлення, грн	220

Згідно з даними дослідження [199], у 95% випадків тривалість перебування мешканців в коридорі не перевищує 60 секунд, а на сходах – 20 секунд. Відповідно до [199] тривалість світіння ДС потрібно приймати рівною 30 с, тобто $30/3600 = 0,0083$ год. Це обумовлено тим що саме при такій тривалості світіння ДС енергоефективність системи штучного освітлення як коридорів, так і сходових кліток максимальна.

5.2. Розрахунок економічної та енергетичної ефективності використання систем суміщеного освітлення

На основі отриманих даних визначено енергоефективність наступних систем керування освітленням сходів та поверхових коридорів 9-ти поверхових будинків: 1 – без систем керування (режим безперервного світіння); 2 – при наявності одного астрономічного реле, запрограмованого таким чином, щоб світло вмикалося в момент початку астрономічних сутінок ввечері і вимикалося в момент їх закінчення зранку; 3 – при встановленні датчиків руху на кожному поверсі дев'ятиповерхових будинків.

5.2.1. Витрати коштів та електроенергії без використання системи керування штучним освітленням (режим безперервного світіння)

Потужність системи штучного освітлення визначалася за виразом (5.1) [200]

$$P_{\text{ШО}} = P_{\text{ДС}} \cdot N_{\text{ДС}} \cdot N_{\text{П}}, \text{ кВт} \cdot \text{год}, \quad (5.1)$$

де $P_{\text{ШО}}$ – потужність ДС, кВт;

$N_{\text{ДС}}$ – кількість ДС на одному поверсі, шт;

$N_{\text{П}}$ – кількість поверхів в будинку, шт.

Сумарне річне споживання ЕЕ системою штучного освітлення визначалося за виразом (5.2) [200]

$$W_{\text{ШО}} = P_{\text{ШО.ДС}} \cdot T_{\text{Р}}, \text{ кВт} \cdot \text{год}, \quad (5.2)$$

де $T_{\text{Р}}$ – річна тривалість світіння ДС на сходах (маршах та майданчиках) будинків, год/рік.

Для системи штучного освітлення 1, без застосування системи керування, тривалість її роботи, в режимі безперервного світіння протягом року дорівнює $T_{\text{Р}} = 365 \cdot 24 = 8760$ год. Тоді для кожного з вибраних ДС річне споживання ЕЕ системою штучного освітлення буде таким як наведено в табл. 5.5.

Таблиця 5.5

Потужність систем штучного освітлення та їх щорічне споживання ЕЕ для різних ДС

Тип ДС	$P_{\text{ШО}}$, кВт	$W_{\text{ШО}}$, кВт·год/рік
ЛР	0,720	6307,200
ГЛ	0,540	473,0400
КЛЛ	0,162	1103,760
СДЛ	0,090	788,400

Вартість володіння системою штучного освітлення ($C_{\text{ШО}}$), при її використанні в режимі безперервного світіння визначено за формулою (5.3) [200]

$$C_{\text{ШО}} = C_{\text{П}} + ((C_{\text{ДС}} + C_3) \cdot N_{\text{В,ДС}} + P_{\text{ШО}} \cdot T_{\text{Р}} \cdot C_{\text{ЕЕ}}) \cdot N_{\text{П}}, \text{ грн}, \quad (5.3)$$

де $C_{\text{П}}$ – початкова вартість необхідних ДС та пристроїв керування для системи штучного освітлення сходів та поверхових коридорів, грн;

$C_{\text{ДС}}$ – вартість одного ДС, грн;

C_3 – вартість заміни одного ДС, грн;

$N_{\text{В,ДС}}$ – кількість ДС, які вийшли протягом обраного періоду, шт;

$C_{\text{ЕЕ}}$ – вартість ЕЕ, грн/(кВт·год).

Кількість ДС, які вийдуть з ладу протягом обраного періоду визначається за формулою (5.4) [200]

$$N_{\text{В,ДС}} = T_{\text{ДС}} / T_{\text{Н,ДС}}, \text{ шт}, \quad (5.4)$$

де $T_{\text{ДС}}$ – тривалість роботи ДС, год/рік;

$T_{\text{Н,ДС}}$ – номінальна тривалість роботи ДС, год.

Відповідно до даних Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг, вартість ЕЕ ($C_{\text{ЕЕ}}$) енергопостачальної компанії ВАТ «Тернопільобленерго» [217] для споживачів 2-го класу напруги (до яких відносяться юридичні особи, які оплачують освітлення сходів (маршів та майданчиків) становить 2,415 грн/(кВт·год).

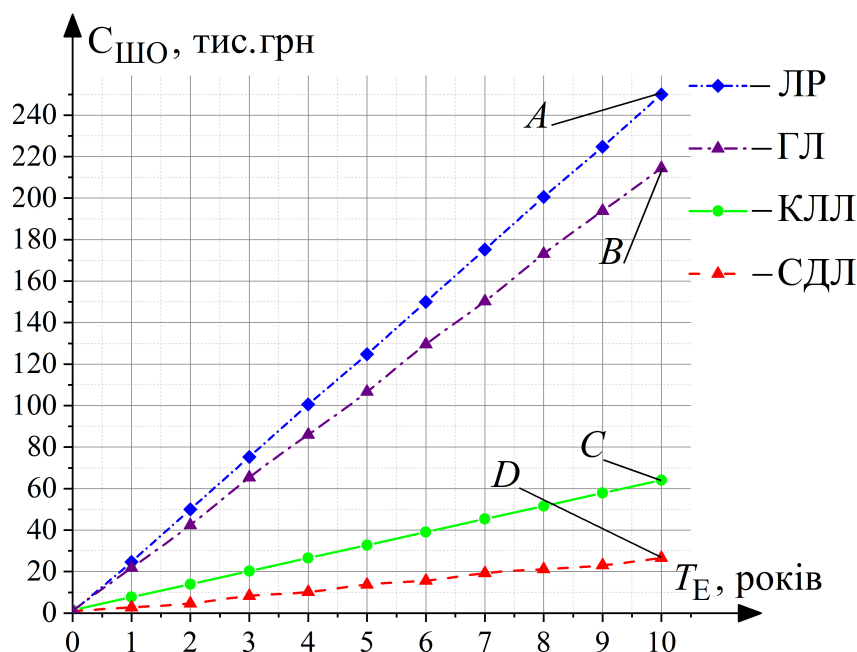


Рис. 5.8. Залежність вартості володіння системою штучного освітлення ($C_{\text{ШО}}$, грн) від терміну її експлуатації (T_E , років) для ДС різного типу в режимі безперервного світіння

Як видно з рис. 5.8, вартість володіння системою штучного освітлення з ЛР становить 249969 грн (рис. 5.8, т. А) через десять років експлуатації буде на 14,20% більшою, ніж з ГЛ (214 463 тис. грн) (рис. 5.8, т. В), на 84,19% більшою, ніж з КЛЛ (39508 грн) (рис. 5.8, т. С) і на 89,34% більшою, ніж з СДЛ (26654 грн) (рис. 5.8, т. D).

5.2.2. Енергетична та економічна ефективність використання системи керування штучним освітленням за допомогою астрономічного реле

Наступним розглянемо варіант використання астрономічного реле, яке вмикає і вимикає систему штучного освітлення з прив'язкою до астрономічного часу (схід / захід сонця).

ЕЕ, яка буде спожита астрономічним реле протягом року (W_{AP}) визначалася за формулою (5.5) [200]

$$W_{\text{AP}} = P_{\text{AP}} \cdot T_p, \text{ (кВт} \cdot \text{год) / рік,} \quad (5.5)$$

де P_{AP} – потужність астрономічного реле, кВт;

За рік астрономічне реле РЭВ-225, при максимальній потужності 1,3 Вт споживає $W_{AP} = 0,0013 \cdot 8760 = 11,388$ (кВт·год)/рік.

Сумарне річне споживання ЕЕ системою штучного освітлення з астрономічним реле визначено за формулою (5.6) [200]

$$W_{ШО.АР} = P_{ШО} \cdot T_{ДС} + W_{АР}, \text{ (кВт·год)/рік,} \quad (5.6)$$

Результати розрахунку помісячного споживання ЕЕ системою освітлення з астрономічним реле наведено в рис. 5.9.

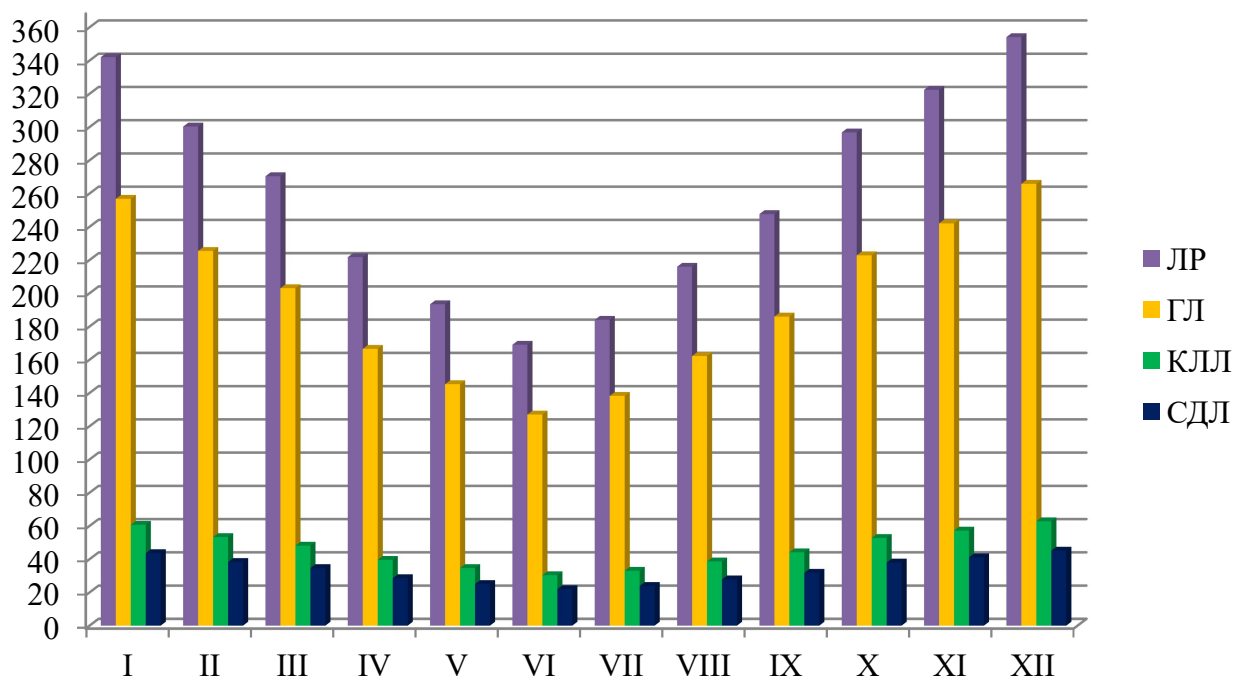


Рис. 5.9. Помісячне споживання ЕЕ системою штучного освітлення для кожного типу ДС, при використанні астрономічного реле, кВт·год/міс

Річне споживання ЕЕ для кожного типу ДС, при використанні системи штучного освітлення з одним астрономічним реле, відповідно до рис. 5.9, становить:

$$W_{ШО.АР.ЛР} = 3117,302 \text{ кВт·год/рік; } W_{ШО.АР.ГЛ} = 2340,824 \text{ кВт·год/рік;}$$

$$W_{ШО.АР.КЛЛ} = 554,923 \text{ кВт·год/рік; } W_{ШО.АР.СДЛ} = 399,627 \text{ кВт·год/рік.}$$

Як бачимо, при суміщеному освітленні сходів та поверхових коридорів з

використанням астрономічного реле можна зменшити споживання ЕЕ на 50,58% для ЛР (з 6307,200 до 3117,302 кВт·год/рік), 50,52% для ГЛ (з 4730,400 до 2340,824 кВт·год/рік), на 49,72% для КЛЛ (з 1103,760 до 554,923 кВт·год/рік) і на 49,31% для СДЛ (з 788.400 до 399.627 кВт·год/рік).

Розглянемо енергоефективність використання астрономічного реле для керування штучним освітленням сходів та поверхових коридорів вночі. Одне астрономічне реле вмикає світло у під'їзді ввечері у момент закінчення світлового дня і вимикає в момент його початку (див. рис. 5.2).

Вартість володіння системою освітлення, при її використанні з керуванням астрономічним реле визначаємо за формулою (5.7) [200]

$$C_{\text{ШО.АР}} = C_{\text{П}} + ((C_{\text{ДС}} + C_{\text{З}}) \cdot N_{\text{В,ДС}} + P_{\text{ДС}} \cdot T_{\text{ДС}} \cdot C_{\text{ЕЕ}}) \cdot N_{\text{П}} + (C_{\text{В}} + W_{\text{АР}} \cdot C_{\text{ЕЕ}}) \cdot N_{\text{АР}}, \text{ грн}, \quad (5.7)$$

де $N_{\text{АР}}$ – кількість астрономічних реле, шт;

$C_{\text{В}}$ – вартість робіт по встановленню та налаштуванню пристроїв керування, грн/шт;

$W_{\text{АР}}$ – ЕЕ спожита астрономічним реле за рік, кВт·год/рік;

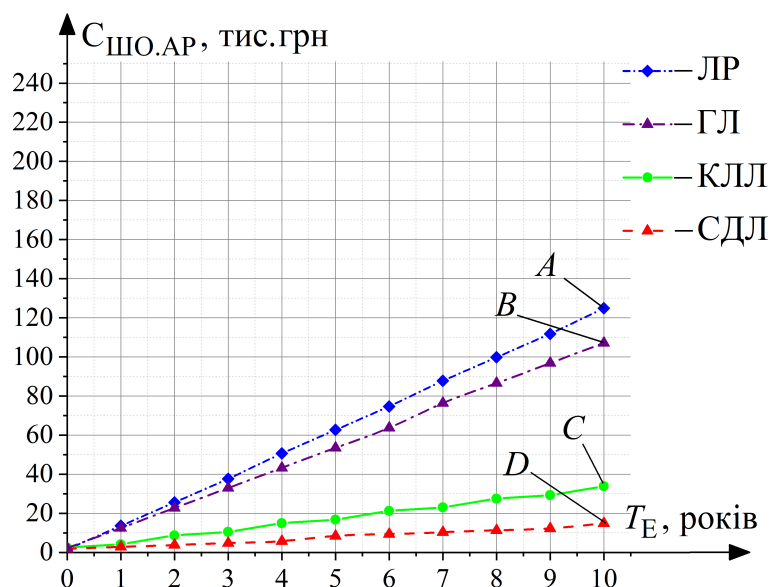


Рис. 5.10. Залежність вартості володіння системою освітлення ($C_{\text{ШО.АР}}$, грн), з астрономічним реле, від терміну експлуатації (T_E , років) для ДС різного типу

Відповідно до результатів, представлених на рис. 5.10, вартість володіння системою штучного освітлення на базі ЛР з астрономічним реле (124879 грн) (рис. 5.10, т. А) за десять років експлуатації на 14,22% більша, а ніж з ГЛ (107117 грн) (рис. 5.10, т. В), на 83,04% більшою, а ніж з КЛЛ (21183 грн) (рис. 5.10, т. С) і в 88,04% більшою, а ніж з СДЛ (14931 тис. грн) (рис. 5.10, т. С).

5.2.3. Енергетична та економічна ефективність використання системи керування штучним освітленням за допомогою датчиків руху

Розглянемо варіант використання системи штучного освітлення сходів та поверхових коридорів з керуванням за допомогою датчиків руху. Для визначення енергоспоживання системою штучного освітлення з датчиками руху необхідно визначити кількість їх спрацювань. Дані з рис. 5.4 використані для оцінки руху мешканців по поверхах (табл. 5.6)

Таблиця 5.6

Помісячна інтенсивності руху мешканців 9-ти поверхових будинків

Місяць	1*	2**	3***
Грудень	6 923	6 152	13 075
Листопад	5 922	5 264	11 186
Жовтень	5 797	5 152	10 949
Вересень	6 473	5 752	12 225
Серпень	6 529	5 800	12 329
Липень	6 350	5 648	11 998
Червень	6 921	6 152	13 073
Травень	6 038	5 368	11 406
Квітень	6 296	5 600	11 896
Березень	6 746	6 000	12 746
Лютий	6 068	5 392	11 460
Січень	6 283	5 584	11 867
За рік	76 346	67 864	144 210

1* – інтенсивність руху мешканців через 1 поверх, мешк/міс

2** – середня місячна інтенсивність руху мешканців через поверхи з 2 по 9, мешк/міс

3*** – сумарна інтенсивність руху мешканців за місяць, мешк /міс

При використанні датчиків руху, для визначення енергоспоживання системою штучного освітлення необхідно визначити кількість їх спрацювань.

Як видно з табл. 5.5, сумарно за рік мешканці 9-ти поверхових будинків вмикатимуть освітлення (проходитимуть повз датчики руху) 144 210 раз. Це з урахуванням того, що мешканці поверхів з 2 по 9 з першого поверху і назад переміщатимуться виключно ліфтом. Враховуючи, що середня кількість мешканців в розглянутих випадках становила 77, то отримуємо, що в середньому кожен мешканець проходив через вхід в будинок 2,72 ($76346/(365 \cdot 77)$) раз/добу.

ЕЕ, спожиту датчиками руху за рік ($W_{др}$) визначаємо за формулою (5.8) [200]

$$W_{др} = P_{др} \cdot N_{др} \cdot T_p, \text{ (кВт} \cdot \text{год)/рік,} \quad (5.8)$$

де $P_{др}$ – потужність датчика руху в режимі очікування, кВт;

$N_{др}$ – кількість датчиків руху, шт.

За рік датчик руху F&F DR-08, при потужності 0,45 Вт в режимі очікування споживатиме $W_{др} = 0,00045 \cdot 9 \cdot 8760 = 35,478$ (кВт·год)/рік.

Для визначення споживання ЕЕ системою штучного освітлення за рік використано формулу (5.9) [200]

$$W_{ш.др} = N_{дс} \cdot P_{дс} \cdot I_{р.м} \cdot T_{дс} + W_{др}, \text{ кВт} \cdot \text{год,} \quad (5.9)$$

де $I_{р.м}$ – інтенсивність руху мешканців будинку, раз/рік.

$$W_{ш.др.лр} = 2 \cdot 0,04 \cdot 144210 \cdot 0,0083 + 35,478 = 131,233 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік;}$$

$$W_{ш.др.гл} = 2 \cdot 0,03 \cdot 144210 \cdot 0,0083 + 35,478 = 107,295 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік;}$$

$$W_{ш.др.клл} = 2 \cdot 0,007 \cdot 144210 \cdot 0,0083 + 35,478 = 52,235 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік;}$$

$$W_{ш.др.сдл} = 2 \cdot 0,005 \cdot 144210 \cdot 0,0083 + 35,478 = 47,447 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік.}$$

Отже, при освітленні сходів та поверхових коридорів з використанням датчиків руху споживання ЕЕ можна зменшити на 97,92% для ЛР (з 6307,200 до 131,233 кВт·год/рік), на 97,73% (з 4730,400 до 107,295 кВт·год/рік), на 95,27% (з 1419,120 до 52,235 кВт·год/рік) для КЛЛ і на 93,98% для СДЛ (з 788,400 до 47,447 кВт·год/рік).

Також слід звернути увагу на те, що система керування штучним освітленням на базі датчиків руху споживає за рік (35,478 кВт·год/рік) ЕЕ, в той час, як вибрані для досліджень ДС: з (ЛР – 95.754 кВт·год/рік; ГЛ – 71,816 кВт·год/рік; КЛЛ – 16.757 кВт·год/рік; СДЛ – 11.969 кВт·год/рік).

Відповідно до [218], оскільки тривалість світіння ДС не є великою, а число циклів вкл/викл значним, кількість ламп, які вийдуть з ладу при врахування режиму частих включень буде такою, яка наведена в табл. 7. В даному випадку кількість ДС, які вийдуть з ладу визначається за формулою (5.10) [200]

$$N_{\text{в.ДС}} = N_{\text{ц}} / N_{\text{н.ц}}, \text{ шт}, \quad (5.10)$$

де $N_{\text{ц}}$ – кількість циклів вкл/вимк ДС за обраний період, шт;

$N_{\text{н.ц}}$ – номінальна кількість циклів вкл/вимк ДС (табл. 5.1), шт.

За виразом (5.10) розраховано кількість ДС, які вийдуть з ладу протягом кожного з десяти років експлуатації. Результати розрахунку представлено в табл. 5.7.

Таблиця 5.7

Кількість ламп, які вийдуть з ладу за рік, шт

Тип ДС	Тривалість володіння системою освітлення, років									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ЛР	70	70	70	70	70	70	70	70	86	70
ГЛ	34	36	34	36	34	36	34	36	34	36
КЛЛ	34	36	34	36	34	36	34	36	34	36
СДЛ	14	32	30	32	32	30	16	32	30	32

Вартість річного володіння системою штучного освітлення на базі датчиків руху ($C_{\text{шо.др}}$) визначаємо за наступною формулою (5.11) [200]

$$C_{\text{шо.др}} = C_{\text{п}} + (C_{\text{ДС}} + C_{\text{з}}) \cdot N_{\text{в.ДС}} + P_{\text{ДС}} \cdot T_{\text{ДС}} \cdot C_{\text{ЕЕ}} + (C_{\text{в}} + W_{\text{др}} \cdot C_{\text{ЕЕ}}) \cdot N_{\text{др}}, \text{ грн.} \quad (5.11)$$

На рис. 5.11 представлено залежність вартості володіння системою штучного освітлення з керуванням за допомогою датчиків руху від тривалості її експлуатації.

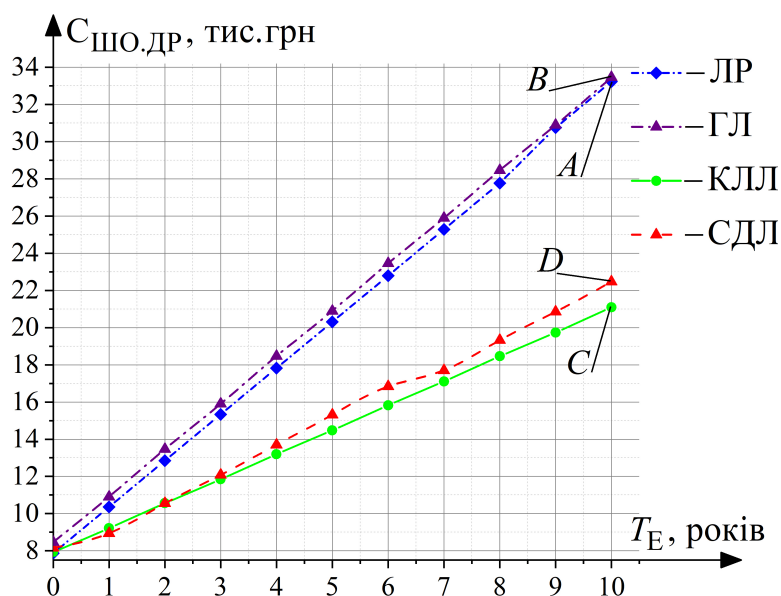


Рис. 5.11. Залежність вартості володіння системою штучного освітлення з датчиками руху ($C_{\text{ШО.ДР}}$, грн) від тривалості експлуатації (T_E , років) для ДС різного типу

Як видно з рис. 5.11, вартість володіння системою штучного освітлення з датчиками руху і ГЛ (33460 грн) (рис. 5.11, т. А) стає за 10 років експлуатації на 0,66% більшою, ніж з ЛР (33240 грн) (рис. 5.11, т. В), на 36,97% більше, ніж з КЛЛ (21090 грн) (рис. 5.11, т. С) і на 32,85% більшою, ніж з СДЛ (22469 грн) (рис. 5.11, т. D). Відповідно до отриманих даних вартість володіння системою керування датчиками руху з КЛЛ є на 6,13% економічно вигіднішим, а ніж з СДЛ.

5.3. Економічна ефективність заміни системи керування штучним освітленням

В даному підрозділі розглянемо економічний ефект від встановлення/заміни систем керування: 1) при встановленні астрономічного реле до системи штучного освітлення, в якій не було системи керування для різних ДС; 2) при встановленні датчиків руху до системи штучного освітлення, в якій не було системи керування для різних ДС; 3) при заміні астрономічного реле на датчики руху для різних ДС.

Дані щодо споживаної потужності, вартості систем керування, тривалості світіння ДС та кількості циклів вкл/викл за рік наведено в табл. 5.8.

Ефективність використання датчиків руху з астрономічним реле не розгля

далось, оскільки, частка світлового дня в структурі доби протягом року для м. Тернопіль, становить 51% від загальної тривалості року (див. рис. 5.2). Якщо ж розглядати сумісну роботу датчиків руху з датчиками освітленості, то це також не принесе значної економії коштів через те, що вартість ЕЕ, спожитої ДС є незначною (173,44 грн для ГЛ, 40,47 грн для КЛЛ і 28,91 грн для СДЛ).

Таблиця 5.8

Характеристики систем керування штучним освітленням з врахуванням вартості встановлення

Варіант	Тривалість світіння ДС, год/рік	Вартість системи керування, грн	ЕЕ спожита системою керування, кВт·год/рік	Кількість циклів вкл/викл за рік
Без системи керування (кожного ДС)	8 760	0	0	1
З астрономічним реле (1 шт.) (кожного ДС)	4 313,77	850	11,388	365
З датчиками руху (9 шт.) (усіх ДС)	1 196,94	5319	35,478	144 210

Економія коштів від використання системи керування з астрономічним реле ($E_{\text{к.ар}}$) визначалась за формулою (5.12) [200]

$$E_{\text{к.ар}} = C_{\text{шо}} - C_{\text{шо.ар}}, \text{ грн.} \quad (5.12)$$

Економія коштів від використання системи керування з датчиками руху ($E_{\text{к.др}}$) визначалась за формулою (5.13) [200]

$$E_{\text{к.др}} = C_{\text{шо}} - C_{\text{шо.др}}, \text{ грн.} \quad (5.13)$$

Результати розрахунку вартості володіння системами штучного освітлення з різними ДС наведено в табл. 5.9. Для визначення термінів окупності систем штучного освітлення представлених в табл. 5.9 скористаємося цифровими даними цієї таблиці. Для визначення терміну окупності систем керування штучним освітленням від вартості володіння системою без керування штучним освітленням віднімаємо вартість володіння з системою керування. На рис. 5.12, терміни окупності систем керування штучним освітленням відповідають точці, в якій графіки перетинають вісь абсцис, яка проходить через нуль. Це обумовлено витратами на покупку та встановлення пристроїв керування. Точки перетину графіків рис. 5.12,

вказують на термін після якого система штучного освітлення з датчиками руху забезпечить більшу сумарну економію коштів, а ніж при використанні астрономічного реле.

Таблиця 5.9

Вартість володіння системами штучного освітлення на базі ЛР, ГЛ, КЛЛ та СДЛ для наступних випадків: без пристроїв керування; з астрономічним реле; з датчиками руху для м. Тернопіль, Україна, тис. грн

Тип ДС	Тривалість експлуатації системи штучного освітлення, років										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Без системи керування											
ЛР	0,558	24,718	49,994	75,270	100,546	124,705	149,981	175,257	200,533	224,693	249,969
ГЛ	1,152	21,792	42,432	65,376	86,016	106,656	129,599	150,239	173,183	193,823	214,463
КЛЛ	0,612	4,502	8,391	12,281	16,170	20,060	23,949	27,839	31,729	35,618	39,508
СД	0,846	2,750	4,654	8,250	10,154	13,750	15,654	19,250	21,154	23,058	26,654
З астрономічним реле											
ЛР	1,608	13,600	25,593	37,585	50,693	62,685	74,678	87,786	99,778	111,771	124,879
ГЛ	2,202	12,463	22,724	32,985	43,246	53,507	63,769	76,334	86,595	96,856	107,117
КЛЛ	1,662	3,002	5,566	6,906	9,471	10,811	13,375	14,715	17,279	18,619	21,183
СД	1,896	2,861	3,826	4,791	5,756	8,413	9,379	10,344	11,309	12,274	14,931
З датчиками руху											
ЛР	7,875	10,362	12,849	15,336	17,823	20,310	22,797	25,284	27,770	30,753	33,240
ГЛ	8,469	10,904	13,467	15,902	18,465	20,901	23,464	25,899	28,462	30,897	33,460
КЛЛ	7,929	9,211	10,561	11,843	13,194	14,476	15,826	17,108	18,458	19,740	21,090
СД	8,163	8,936	10,554	12,079	13,697	15,316	16,841	17,707	19,326	20,850	22,469

На рис. 5.12 представлено графік залежності економії коштів за рахунок використання систем керування освітленням сходів та поверхових коридорів багатопверхових будинків від терміну їх експлуатації при порівнянні з випадком без використання системи керування. На рис. 5.12 прийнято наступні позначення: а – витрати на встановлення та утримання системи штучного освітленням з ЛР, при використанні системи керування з астрономічним реле; б – витрати на встановлення та утримання системи керування штучним освітленням з ЛР, при використанні системи керування з датчиками руху; с – витрати на встановлення та утримання системи керування штучним освітленням з ГЛ, при використанні системи керування з астрономічним реле; d – витрати на встановлення та утримання системи керування штучним освітленням з ГЛ, при використанні системи керування з датчиками руху; е – витрати на встановлення та утримання системи керування штучним освітленням з КЛЛ, при використанні системи керування з астрономічним реле; f – витрати на встановлення та утримання системи керування

штучним освітленням з КЛЛ, при використанні системи керування з датчиками руху; g – витрати на встановлення та утримання системи керування штучним освітленням з СДЛ, при використанні системи керування з астрономічним реле; h – витрати на встановлення та утримання системи керування штучним освітленням з СДЛ, при використанні системи керування з датчиками руху.

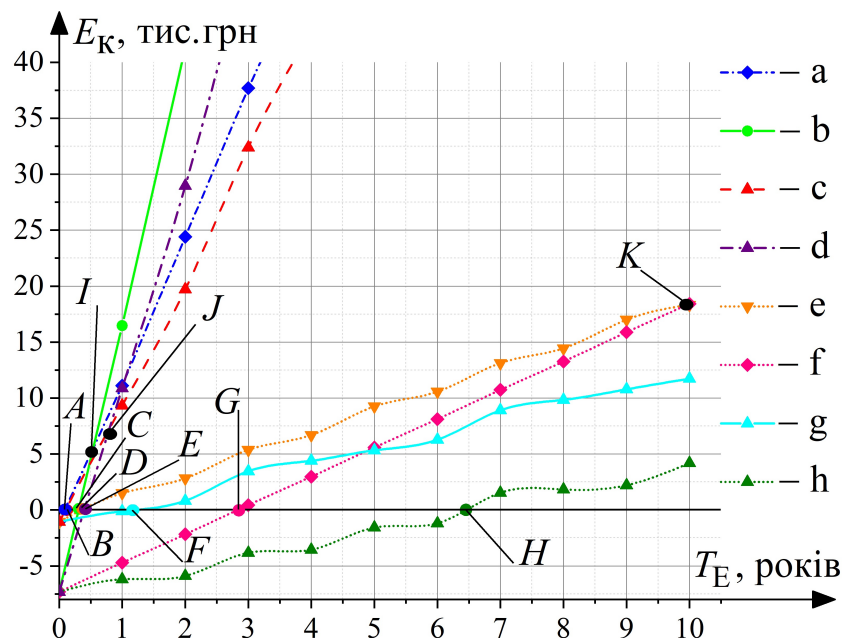


Рис. 5.12. Залежність економії коштів за рахунок використання систем керування освітленням сходових майданчиків багатоповерхових будинків за допомогою:

- а) ЛР; с) ГЛ; е) КЛЛ; g) СДЛ з астрономічним реле та б) ЛР; d) ГЛ; f) КЛЛ;
h) СДЛ з датчиками руху

Як видно з рис. 5.12, термін окупності системи керування освітленням з астрономічним реле становить 0,09 року для ЛР (рис. 5.12, т. A), 0,10 року для ГЛ (рис. 5.12, т. B), 0,41 року для КЛЛ (рис. 5.12, т. E) і 1,12 року для СДЛ (рис. 5.12, т. F). Термін окупності при встановленні датчиків руху на всіх поверхах становить 0,31 року для ЛР (рис. 5.12, т. C), 0,40 року для ГЛ (рис. 5.12, т. D), 2,85 року для КЛЛ (рис. 5.12, т. G) і 4,85 року для СДЛ (рис. 5.12, т. H). Якщо порівнювати систему керування освітленням з датчики руху з системою з астрономічним реле, то при використанні ЛР, перша стає економічно вигіднішою через 0,54 року (рис. 5.12, т. I), в той час, як для ГЛ через 0,8 року (рис. 5.12, т. J) і через 9,92 року для КЛЛ (рис. 5.12, т. K), а для СДЛ кращим варіантом, з точки зору економі-

чної ефективності є астрономічне реле. Як бачимо з отриманих результатів, за рахунок низького споживання електроенергії СДЛ використання системи керування як з датчиками руху, так і з астрономічним реле має великий термін окупності. В той же час для ЛР він не перевищує одного року в усіх випадках.

Отримані результати дозволяють оцінити можливий економічний та енергетичний ефект не лише від використання більш енергоефективних ДС, але й при впровадженні систем керування штучним освітленням. У випадку з астрономічним реле, ми можемо оцінити ефективність використання природного освітлення для даного об'єкту.

5.4. Екологічні аспекти використання систем керування штучним освітленням сходів багатоквартирних житлових будинків

Для порівняння розглядались наступні варіанти організації штучного освітлення дев'ятиповерхових житлових будинків: 1 – без системи керування (режим безперервного світіння); 2 – при наявності одного астрономічного реле, запрограмованого таким чином, щоб світло вмикалося в момент початку астрономічних сутінок ввечері і вимикалося в момент їх закінчення зранку; 3 – з датчиками руху на кожному поверсі.

Таблиця 5.10

Викиди CO₂ еквіваленту за рік для одного під'їзду з різними системами керування штучним освітленням, кг/рік [203]

Тип палива	Тип ДС	Варіант системи керування		
		1	2	3
Вугілля	ЛР	4541,184	2244,458	94,488
	ГЛ	3405,888	1685,393	77,252
	КЛЛ	794,707	399,545	37,609
	СДЛ	567,648	287,732	34,162
Газ	ЛР	2333,664	1153,402	48,556
	ГЛ	1750,248	866,105	39,699
	КЛЛ	408,391	205,322	19,327
	СДЛ	291,708	147,862	17,556

Відповідно до даних національної енергетичної компанії «Укренерго» [219], теплові електростанції (ТЕС) та теплові електроцентралі (ТЕЦ) генерують 37% усієї електроенергії згенерованої в Україні. Під час спалювання вугілля й газу

утворюється велика кількість парникових газів, що негативно впливає на екологію. Електростанції, які працюють на кам'яному вугіллі, викидають приблизно 720 г вуглекислого газу на 1 кВт·год виробленої електроенергії, а сучасні електростанції на газі – близько 370 г на 1 кВт·год. Кількість викидів CO₂ еквіваленту за рік для одного під'їзду з різними системами керування наведено в табл. 5.10.

Зниження викидів CO₂ еквіваленту за рік за рахунок зменшення споживання ЕЕ одним під'їздом наведено в табл. 5.11.

Таблиця 5.11

Зменшення річного споживання ЕЕ та викидів CO₂ еквіваленту за рахунок зміни системи керування штучним освітленням [203]

Заміна варіантів системи керування	Параметр		
	$W_{\text{ш}}, \text{кВт}\cdot\text{год}/\text{рік}$	Викиди від вугільних ТЕС, кг CO ₂ /рік	Викиди від газових ТЕС, кг CO ₂ /рік
1 на 2 для ЛР	3189,898	2296,726	1180,262
1 на 3 для ЛР	6175,967	4446,696	2285,108
2 на 3 для ЛР	2986,069	2149,970	1104,846
1 на 2 для ГЛ	2389,576	1720,495	884,143
1 на 3 для ГЛ	4623,105	3328,636	1710,549
2 на 3 для ГЛ	2233,529	1608,141	826,406
1 на 2 для КЛЛ	548,837	395,163	203,070
1 на 3 для КЛЛ	1051,525	757,098	389,064
2 на 3 для КЛЛ	502,688	361,935	185,994
1 на 2 для СДЛ	388,773	279,916	143,846
1 на 3 для СДЛ	740,953	533,486	274,152
2 на 3 для СДЛ	352,180	253,570	130,307

Таблиця 5.12

Зменшення викидів CO₂ за рахунок впровадження системи керування штучним освітленням [201]

Заміна варіантів системи керування	Параметр		
	$W_{\text{ш}}, \text{ГВт}\cdot\text{год}/\text{рік}$	Викиди від вугільних ТЕС, т CO ₂ /рік	Викиди від газових ТЕС, т CO ₂ /рік
1 на 2 для ЛР	9768,168	7033081,125	3614222,245
1 на 3 для ЛР	18912,168	13616761,190	6997502,278
2 на 3 для ЛР	9144,000	6583680,065	3383280,034
1 на 2 для ГЛ	7317,408	5268533,782	2707440,972
1 на 3 для ГЛ	14156,966	10193015,433	5238077,375
2 на 3 для ГЛ	6839,558	4924481,651	2530636,404
1 на 2 для КЛЛ	1680,660	1210074,895	621844,043
1 на 3 для КЛЛ	3220,000	2318400,192	1191400,099
2 на 3 для КЛЛ	1539,341	1108325,297	569556,055
1 на 2 для СДЛ	1190,508	857165,427	440487,789
1 на 3 для СДЛ	2268,960	1633651,041	839515,118
2 на 3 для СДЛ	1078,452	776485,614	399027,329

Відповідно до [220] кількість будівель, що мають більше 5 поверхів, в Україні становить 765 555 шт. В середньому приймаємо, що кожен будинок має 4 під'їзди. Економію електроенергії і, в результаті зменшення викидів CO_2 еквіваленту наведено в табл. 5.12.

Як видно з табл. 5.12 використання систем керування штучним освітленням з датчиками руху, для м. Тернопіль, дозволяє зекономити 9144,000-18912,168 ГВт·год/рік електроенергії або зменшити викиди CO_2 еквіваленту на 6583680,065-13616761,190 т/рік вугільних ТЕС, 3383280,034-6997502,278 т/рік для газових ТЕС, при використанні ЛР; 6839,558-14156,966 ГВт·год/рік електроенергії або зменшити викиди CO_2 на 4924481,651-10193015,433 т/рік вугільних ТЕС, 2530636,404-5238077,375 т/рік для газових ТЕС, при використанні ГЛ; 1539,341-3220,000 ГВт·год/рік електроенергії або зменшити викиди CO_2 на 1108325,297-2318400,192 т/рік вугільних ТЕС, 569556,055-1191400,099 т/рік для газових ТЕС, при використанні КЛЛ; 1078,452-2268,960 ГВт·год/рік електроенергії або зменшити викиди CO_2 еквіваленту на 776485,614-1633651,041 т/рік вугільних ТЕС, 399027,329-839515,118 т/рік для газових ТЕС, при використанні СДЛ [201].

Отримані дані вказують на те, що окрім значного зниження енергоспоживання системи керування штучним освітленням дозволяють значно скоротити викиди парникових газів в атмосферу. В результаті дослідження встановлено, що використання на сходах та поверхових коридорах датчиків руху призводить до суттєвого зменшення викидів CO_2 еквіваленту за рахунок зменшення енергоспоживання системою штучного освітлення житлових багатоповерхових будинків. При використанні датчиків руху для системи штучного освітлення без пристроїв керування зменшення викидів CO_2 еквіваленту становитиме, при використанні: ЛР – в 48,06 раз, ГЛ – в 44,09 раз, КЛЛ – в 21,13 раз, СДЛ – в 16,62. При заміні астрономічного реле на датчики руху, при використанні: ЛР – в 23,75 раз, ГЛ – в 21,82 раз, КЛЛ – в 10,62 раз, СДЛ – в 8,42 раз. В той час, як в залежності від енергоефективності джерел світла використання астрономічного реле призводить до зниження викидів CO_2 еквіваленту в 1,97-2,02 раз, при встановленні його для системи штучного освітлення без пристроїв керування. З чого можна зробити висно-

вок, що при реалізації на сходах і поверхових коридорах багатоповерхових будинків суміщеного освітлення, тандем датчиків з СДЛ є найбільш енергоефективним та екологічним.

Щодо результатів представлених в даному дослідженні, то варто зауважити, що розрахунки проведено для будинків з ліфтом. Для розрахунку витрат ЕЕ на освітлення сходових майданчиків різних поверхів прийнято, що переміщення мешканців на всіх поверхах відбувається ідентично, тобто по кожному поверсі мешканці з'являються однаково кількість раз. Це необхідно, оскільки інтенсивність руху мешканців для різних поверхів різних будинках по різному змінюється через різну сферу зайнятості мешканців. Також необхідно врахувати, що всі мешканці проходять через перший поверх, оскільки вхід в будинок також розташований на ньому. Середня кількість мешканців в розглянутих випадках становила 71. Світильник на вході в під'їзд, в межах даного дослідження, не розглядався, оскільки при постійній його роботі він має однаковий вплив на енергоспоживання і витрати коштів для всіх варіантів системи керування та при її відсутності.

Відповідно до отриманих результатів можна стверджувати, що датчики руху дозволяють значно скоротити споживання електроенергії (до 97,92%). В той час, як тандем з астрономічного реле з СДЛ дозволяє максимально скоротити витрати коштів на володіння системою штучного освітлення. Також варто зазначити що в економічній ефективності систем керування штучним освітленням значну роль відіграє вартість пристроїв керування, ДС та кількість циклів вмк/вимк до виходу з ладу ДС. Тому з популяризацією датчиків руху та СДЛ їх вартість знижуватиметься, а тривалість роботи зростатиме, що позитивно впливатиме на їх економічну ефективність. В будь-якому випадку термін окупності астрономічного реле менший, оскільки необхідно лише одне реле для керування системою освітлення, в той час, як датчиків руху потрібно 9.

Також слід зауважити, що економічна доцільність суміщеного освітлення з ростом тарифів на ЕЕ також буде зростати. Оскільки ефективність використання астрономічного реле розрахована лише для конкретного регіону, то існує ймовірність, що в районах з більшою тривалістю світлового дня з точки зору економіч-

них затрат астрономічне реле буде доцільнішим. Проте, якщо розглядати в довготерміновій перспективі, то за рахунок значного зниження витрат ЕЕ датчики руху є кращим варіантом, тому що окрім економічної вигоди також буде і екологічний ефект за рахунок зменшення споживання ЕЕ, а відповідно зменшуватиметься і потреба в її генерації, яка супроводжується викидами парникових газів на теплових електростанціях.

Висновки до розділу 5

1. Визначено інтенсивності руху мешканців 9-ти поверхових будинків через дверний проріз першого поверху для тригодинних проміжків часу з 7:00 до 22:00 і 9-ти годинного інтервалу з 22:00 до 07:00 протягом року. Отримані дані дозволяють визначити енергетичну та економічну ефективність використання системи керування штучним освітленням за допомогою датчиків руху.

2. Доведено, що використання на сходах та поверхових коридорах датчиків руху призводить до суттєвого зменшення споживання ЕЕ: при використанні ЛР – на 97,92%, ГЛ – на 97,73% КЛЛ – на 95,27%, СДЛ – 93,98%. в той час, як в залежності від енергоефективності ДС використання астрономічного реле призводить до зниження споживання ЕЕ на штучне освітлення на 49,41-50,58%.

3. Підкреслено, що при встановленні астрономічного реле, вартість володіння за 10 років зменшується: з ЛР – на 50,04%, ГЛ – на 50,05% КЛЛ – на 46,38%, СДЛ – 43,98%, тоді як при використанні датчиків руху – з ЛР – на 86,70%, ГЛ – на 84,40% КЛЛ – на 46,62%, СДЛ – 15,70%.

4. Встановлено, що при реалізації на сходах і поверхових коридорах багатоповерхових будинків системи освітлення з датчиками руху та СДЛ є найбільш енергоефективним варіантом. В той час, як з економічної точки зору система суміщеного освітлення з астрономічним реле дозволяє максимально скоротити витрати коштів на її володіння, оскільки використання системи керування з датчиками руху попри значне скорочення споживання ЕЕ має високий термін окупності навіть при умові використання таких енергоефективних ДС як КЛЛ та СДЛ.

5. Встановлено, що встановлення датчиків руху для системи штучного освітлення без пристроїв керування призводить до зменшення викидів CO₂ еквіваленту, при використанні: ЛР – в 48,06 раз, ГЛ – в 44,09 раз, КЛЛ – в 21,13 раз, СДЛ – в 16,62. При заміні астрономічного реле на датчики руху: при використанні ЛР – в 23,75 раз, ГЛ – в 21,82 раз, КЛЛ – в 10,62 раз, СДЛ – в 8,42 раз. В той час, як в залежності від енергоефективності джерел світла використання астрономічного реле призводить до зниження викидів CO₂ еквіваленту в 1,97-2,02 раз, при встановленні його для системи штучного освітлення без пристроїв керування.

ВИСНОВКИ

1. Отримано аналітичні вирази для визначення відносних і абсолютних значень площ засклення, профілю та заповнення СЗОК прямокутної конфігурації з будь-яким наперед заданим індексом координації, що дає можливість визначити оптимальні, з точки зору засклення, розміри СЗОК.

2. Отримано вираз для визначення зведеного індексу засклення приміщення, що дає можливість розраховувати площу СЗОК, при якій забезпечується нормоване значення КПО, незалежно від розмірів приміщення в плані. Даний вираз враховує площу засклення СЗОК, площу РП та глибину і ширину приміщення.

3. Розроблено алгоритм розрахунку площі СЗОК для забезпечення нормованого значення КПО в незатінених приміщеннях довільних розмірів. Даний алгоритм дозволяє визначати площу односекційних СЗОК, при якій забезпечується нормоване значення КПО в РТ, а відповідно і на всій РП.

4. Встановлено, що найбільша ефективність використання природного світла для освітлення приміщень, при нормованій освітленості 300 лк характерна для значень КПО в межах від 1,7% до 1,9%. Для значення 1,8% – вона максимальна при нормованій освітленості в 500 лк максимальна ефективність використання СЗОК спостерігається при величині КПО від 2,6% до 3,0% з екстремумом при 2,8%.

5. Доведено, що перехід від коефіцієнта природного освітлення до зведеного індексу засклення приміщення дає можливість адекватно оцінювати енергоефективність використання природного світла в приміщеннях різних розмірів, окрім випадків, коли $l_{\Pi} \geq 2 \cdot d_{\Pi}$.

6. Встановлено, використання сучасних СЗОК в офісних приміщеннях в м. Тернопіль дозволяє зменшити сумарне споживання електроенергії навіть при питомій потужності системи штучного освітлення $0,005 \text{ кВт/м}^2$ і величині КПО від 0,6%. При збільшенні величини КПО сумарна економія також зростає.

7. Визначено інтенсивності руху мешканців 9-ти поверхових будинків через дверний проріз першого поверху для тригодинних проміжків часу з 7:00

до 22:00 і 9-ти годинного інтервалу з 22:00 до 07:00 протягом року. Отримані дані дозволяють визначити енергетичну та економічну ефективність використання системи керування штучним освітленням за допомогою датчиків руху.

8. Встановлено, що використання на сходах та поверхових коридорах датчиків руху призводить до суттєвого зменшення споживання ЕЕ: при використанні ЛР – на 97,92%, ГЛ – на 97,73% КЛЛ – на 95,27%, СДЛ – 93,98%. в той час, як в залежності від енергоефективності джерел світла використання астрономічного реле призводить до зниження споживання ЕЕ на штучне освітлення на 49,41 – 50,58%.

9. Доведено, що при встановленні астрономічного реле, вартість володіння за 10 років зменшується: з ЛР – на 50,04%, ГЛ – на 50,05% КЛЛ – на 46,38%, СДЛ – 43,98%, тоді як при використанні датчиків руху – з ЛР – на 86,70%, ГЛ – на 84,40% КЛЛ – на 46,62%, СДЛ – 15,70%.

10. Встановлено, що при реалізації на сходах і поверхових коридорах багатопверхових будинків системи освітлення з датчиками руху та СДЛ є найбільш енергоефективним варіантом. В той час, як з економічної точки зору система суміщеного освітлення з астрономічним реле дозволяє максимально скоротити витрати коштів на її володіння, оскільки використання системи керування з датчиками руху попри значне скорочення споживання ЕЕ має високий термін окупності навіть при умові використання таких енергоефективних ДС як КЛЛ та СДЛ.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гвоздев, С.М., Панфилов, Т.К., Романова, Д.И., Варфоломеев, Л.П. (2013). Энергоэффективное электрическое освещение: учебное пособие. М.: Издательский дом МЭИ, 288.
2. Черненко, П.О., Мартинюк, О.В. (2012). Підвищення ефективності короткострокового прогнозування електричного навантаження енергооб'єднання. Технічна електродинаміка, 1, 63-70.
3. Айзенберг, Ю.Б., Варфоломеев, Л.П. (2011). Как повысить энергоэффективность освещения. Спец. выпуск АВОК, 3, 52-56.
4. BOLENA [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.bolena.com.ua>. – Форми вікон.
5. Коржнева, Т.Г., Ушаков, В.Я., Овчаров, А.Т. (2013). Анализ тепловых потерь помещений через системы естественного освещения. Известия Томского политехнического университета, 322(4), 56-60.
6. Мигалина, И.В., Щепетков, Н.И. Расчет и проектирование естественного освещения помещений: учебное пособие. М.: МАРХИ, 2013, 72 с.
7. Центр перепідготовки та заочного навчання [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://cpo.stu.cn.ua/>. – Природне освітлення, нормування, розрахунок.
8. Бурмака, В.О., Тарасенко, М.Г. (2016). Використання світлових тунелів для збільшення енергоефективності систем освітлення. Збірник тез доповідей V Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», 17-18 листопада 2016 року. – Т.: ТНТУ, 2, 148–149.
9. Справочная книга по светотехнике. Под ред. Ю.Б. Айзенберга. М.: Знак. 2006, 972 с.
10. Mercor Україна [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://mercort.com.ua>. – Зенітні ліхтарі точкові mcr Prolight.

11. Портал по безопасности СКС, видеонаблюдение, пожарная безопасность [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mercor.com.ua>. – Зенитный фонарь своими руками.

12. УКРФАСАДБУД [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ukrfasadbud.kiev.ua>. – Зенитные фонари с функцией дымоудаления.

13. ТЕХНИКА ДНЕВНОГО СВЕТА – УКРАИНА Светопрозрачные конструкции (алюминиевый профиль и сотовый поликарбонат) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://tds.promobud.ua>. – Световая линия (зенитный фонарь).

14. Коржнева Т. Г. Исследование эффективности совмещенного освещения с учетом энергетического баланса помещения: дис. кандидата техн. наук: Спец. 5.23.03. ТПУ. Томск, 2015, 110 с

15. M8 Сіті [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://m8city.ua>. – Каталог Зенітні ліхтарі і димові люки.

16. Шилкин, Н. (2013). Системы естественного освещения. Здания высоких технологий, 4(5), 74-83.

17. Нойферт, Э. Строительное проектирование, 1979, 105 с.

18. Бартенбах, К., Бартенбах, В. (2010). Как правильно осветить рабочее место в офисе. Современная светотехника, 1, 70-72.

19. Mayhoub, S.M. (2011). Hybrid Lighting Systems: Performance, Application and Evaluation. University of Liverpool, 2011, 161.

20. uadepe.ru [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://uadepe.ru>. – Вікна для приватного будинку.

21. Хвоя [Электронный ресурс]. – Режим доступа: hvoia.wordpress.com. – Солнечное освещение дома по оптическим волокнам.

22. SYMA [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.syma.com>. – «For heavenly expectations».

23. Bakharev, D.V. (1995). Considerat of on the indirect component in approximate calculation of daylight illumination of rooms. Light & Engineering, 3(1), 89-94.

24. Бахарев, Д.В., Орлова, Л.Н., Широбоков, А.Ф. (1999). Графоаналитический расчет естественного освещения помещений оптическим методом. Светотехника. 1999. №4. с.33-37.
25. Бахарев, Д.В. (2006). О методике расчета естественного освещения. Светотехника, 1, 57-59.
26. Гершун, А.А. Избранные труды по фотометрии и светотехнике. Госиздат физико-математической литературы, 1958, 398 с.
27. Гликман, М.Т., Арсирый, А.Н. (2008). Комплексный подход к проектированию систем естественного освещения жилых зданий. Светлолюкс, 5, 78-79.
28. Гликман, М.Т. (2008). Особенности учета естественного освещения и инсоляции в условиях строительства и реконструкции зданий и застройки. Светлолюкс, 4, 78-79.
29. Гусев, Н.М., Гликман, М.Т. Естественное освещение и инсоляция теплиц. М.: Стройиздат, 1972, 80 с.
30. Підгорний, О.Л., (2013). Можливості застосування алгебраїчних торсів однакового схилу в моделюванні задач інсоляції. Енергоефективність в будівництві та архітектурі, 4, 205-209. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/enef_2013_4_39.
31. Підгорний, О. Л. (2017). Можливості використання торсових поверхонь в якості відбивачів сонячних променів (продовження). Energy-efficiency in civil engineering and architecture. 9, 194-197. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/enef_2017_9_36.
32. Підгорний, О.Л. (2013). Можливості застосування алгебраїчних торсів однакового схилу в моделюванні задач інсоляції. Енергоефективність в будівництві та архітектурі, 4, 205-209. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/enef_2013_4_39.
33. Гордица, Д.Д., Дёгтев, И.А. Естественное освещение помещений с учетом оптимального использования световых потоков. Белгород: Изд-во БелГТАСМ, 2002, 195 с.

34. Гордица, Д.Д., Хренов, В.А., Василенко, А.Б. (2000). О некоторых недостатках нормирования естественного освещения. Традиції та новації у вищій архітектурно-художній освіті. Харків: ХХТП, 2-3, 137-138.

35. Гусев, Н.М. Естественное освещение зданий. М.: Государственное издательство литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам, 1961, 171с.

36. Гусев, Н.М., Киреев, Н.Н. Освещение промышленных зданий. М.: Изд. литературы по строительству, 1968, 160 с.

37. Киреев, Н.Н. (1967). Оптимальная площадь остекления в производственных зданиях. Промышленное строительство, 8, 9-11.

38. Киреев, Н.Н. (1986). Повышение эффективности систем естественного освещения зданий на основе более полного учёта ресурсов светового климата. Сб. научн. тр. НИИСФ: Совершенствование световой среды помещений. М.: ПЭМ ВНИИИС Госстроя СССР, 7-13.

39. Єгорченков, В.О. (2000). Световой климат Украины и учет при проектировании систем естественного освещения зданий. Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво). Частина 2. Полтава: ПДТУ ім. Юрія Кондратюка, 6, 32-37.

40. Земцов, В.А. Естественное освещение помещений через зенитные фонари шахтного типа: автореф. дисс. канд. техн. наук: 05.23.03 – "Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение / М. НИИСФ, 1981, 16 с.

41. Казаков, Г.В. (2005). Дослідження якості верхнього освітлення приміщень цивільних будинків ліхтарями та даховими вікнами. Будівництво України, 2, 12-14.

42. Kittler, R. Standardisation of outdoor conditions for the calculation of daylight factor with clear skies. CIE Inter-Sessional Conference Sunlight in Buildings. University of Newcastle upon Tyne: Bouwcentmm International. Rotterdam. 1967, 273-285.

43. Manning, P. Office design a study of environment. Department of Building Science University of Liverpool, 1965, 161 с.

44. Нойферт, Э. Строительное проектирование. Москва : Стройиздат, 1991, 392 с.
45. Нойферт, П., Нефф Л. Проектирование и строительство. Дом, квартира, сад: Перевод с нем. – Третье изд., переработанное и дополненное: М.: Издательство «Архитектура-С», 2005, 264 с.
46. Пугачов, С.В. (2007). Розвиток архітектурної світлології в Україні. Вісник Нац. ун-ту волн, госп, Рівне: НУВГ, 4(40), 319-325.
47. Пугачов, С.В. Рекомендації щодо розрахунку інтегральних характеристик світлового поля від прямокутних і полігональних світло прорізів. Рівне: РДТУ, 2000, 35 с.
48. Сергейчук, О.В. (2008). Геометричні питання удосконалення нормативної методики розрахунку природного освітлення приміщень. Наукові нотатки: міжвуз. зб.: доповіді Міжнародної наук.-практ. конференція «Сучасні проблеми геометричного моделювання» Луцьк: ЛДТУ, 22(1), 308-313.
49. Сергейчук, О.В. (2004). Деякі геометричні питання розрахунку природного освітлення приміщень за нормативною методикою. Вісник Нац. ун-ту «Львівська політехніка», 505, 453-456.
50. Скать, Д.Д. Комплексний метод вирішення зенітного освітлення будинків: автореф. дис... к-та техн. наук: 05.23.01. – «Будівельні конструкції, будівлі та споруди». Полт.ДТУ імені Юрія Кондратюка. Полтава, 1999, 20 с.
51. Скриль, І.Н., Скриль, С.І. Основи архітектурної світлології (розрахунок і проектування природного, штучного і суміщеного освітлення та інсоляції): Навч. посібник. Полтава: ПолтНТУ, 2004, 225 с.
52. Соловьёв, А. К. Научные основы повышения энергоэффективности систем верхнего естественного освещения промышленных зданий с применением теории светового поля: автореф. дис. д-ра техн. наук: 05.23.01, – «Строительные конструкции, здания и сооружения», 05.23.03 – «Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение», Москва, 2011, 47 с.
53. Самойлов, С.И., Соловьёв, А.К. (2000). Проектирование светопроёмов в офисах и экономия энергии. Светотехника, 1, 23-25.

54. Сорокин, В.М. Повышение эффективности систем зенитного освещения на основе моноблочных светопрозрачных конструкций промышленного типа: автореф. дисс... канд. техн. наук: 05.23.01, – «Строительные конструкции, здания и сооружения». НИПСФ Госстроя СССР. М, 1986, 23 с.

55. Сгорченков, В. О., Яців, М.Б., Югов, А.М., Кінаш, Р.І. Розрахункові та інструментальні методи оцінки природного світлового середовища приміщень: Навч. посібник для арх. і буд. спец. Макіївка-Львів: ДонНАБА. 2008, 111 с.

56. Галінська, Т.А. (2013). Удосконалення методики проектування природного освітлення приміщень будівель. Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди, 25, 528-541. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/rmkbs_2013_25_74.

57. Семко, О.В., Галінська, Т.А. (2013). Експериментально-теоретичні дослідження розподілу природного освітлення у приміщенні будівлі депо при реконструкції її покриття. Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво) / голов. ред. В. Ф. Пічугін. Полтава : ПолтНТУ, 1(36), т. 1, 191-207.

58. Галінська, Т.А., Крепка, Т.С. (2011). Експериментальні дослідження розподілу природного освітлення у приміщеннях лекційних аудиторій корпусу «п» ПолтНТУ, яке здійснюється через бокові світлопрорізи в огороженні будівлі. Збірник наукових праць. Сер.: Галузеве машинобудування, будівництво, 2, 241-251. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Znpgmb_2011_2_41.

59. Галінська, Т.А. (2006). Розрахунок природного освітлення приміщень будівель, які освітлюються через зенітні прямокутні у плані ліхтарі при ясному і хмарному небі. Научно-технический сборник. Коммунальное хозяйство городов, 76, 151-158.

60. Галінська, Т.А. Комплексний метод вирішення освітлення будівель при ясному та хмарному небі: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.23.01. Полтав. нац. техн. ун-т ім. Ю. Кондратюка. Полтава, 2011, 24 с.

61. Айзенберг, Ю. Б. Энергосбережение в освещении. М.: Знак, 1999, 264 с.

62. Підгорний, О.Л., Щепетова, І.М., Сергійчук, О.В., Зайцев, О.М., Процюк, В.П., Домашевська, О.А. Світлопрозорі огороження будинків: навч. посібник для студентів вищ.навч.закл, 2005, 282 с.

63. Бурмака, В.О., Тарасенко, М.Г. (2019). Визначення мінімальної площі засклення для забезпечення нормованого коефіцієнта природної освітленості. Енергоефективність: наука, технології, застосування: Матеріали IV Всеукраїнської науково-практичної конференції «енергоефективність: наука, технології, застосування». Частина II. Київ, 27 листопада 2019 р. – Київ: НПУ імені М.П. Драгоманова, 2, 9-13.

64. Altan, H., Mohelnikova, J. (2015). Windows influence on room daylighting in residential buildings. *Journal of Civil Engineering and Architecture*, 9, 291-299. <https://www.doi.org/10.17265/1934-7359/2015.03.007>

65. Sulaiman, F., Ahmed, A. Z., Rahman, S. A. Ahmad, A. (2004). Daylight modelling and thermal performance of atrium of new mecm building at Putrajaya. *The Institution of Engineers*, 65(3), 63-70.

66. Reinhart, C. F. (2002). Effects of interior design on the daylight availability in open plan offices. *Commercial Buildings: Technologies, Design, Performance Analysis, and Building Industry Trends*, 3, 309-322.

67. Janeckova, L., Bosova, D. (2013). The use of daylight for sustainable development. *LUX EUROPA Kraków 2013 – 12th European Lighting Conference*, 361-365.

68. Firas, M.S. (2014). Daylighting: an alternative approach to lighting buildings, *Journal of American Science*, 10(4), 1-5. – Режим доступу: <http://www.jofamericanscience.org/journals/am-sci/am1004>

69. Nouredine, Z., Djamel, Z. (2017). The impact of window configuration on the overall building energy consumption under specific climate conditions. *International conference – alternative and renewable energy quest, AREQ 2017*, 1-3 February 2017. Spain, 115, 162–172. <https://www.doi.org/10.1016/j.egypro.2017.05.016>

70. Nedhal, A., Syed F. S. F., Adel A. (2016). Relationship between window-to-floor area ratio and single-point daylight factor in varied residential rooms in Malaysia.

Indian journal of science and technology, 33(9), 1-8.
<https://www.doi.org/10.17485/ijst/2016/v9i33/86216>

71. Tuğba, İ. (2017). An investigation on daylighting performance in educational institutions. *Structural Survey*, 31(2), 121-138. doi.org/10.1108/02630801311317536

72. Sadin, M. F. M. A. та ін. Daylighting rules of thumb and a comparison of different floor depth under overcast and intermediate sky without sun. *Proceedings of the 2014 International Conference on Power Systems, Energy, Environment*, 2014, 173-177.

73. Rathi, P. Optimization of energy efficient windows in office buildings for different climate zones of the united. Kent State University, 2012. – Режим доступу: http://etd.ohiolink.edu/!etd.send_file?accession=kent1334603394&disposition=inline.

74. Bokel, R. M. J. (2007). The effect of window position and window size on the energy demand for heating, cooling and electric lighting. *Proceedings: Building Simulation*, 117–121. <https://www.doi.org/10.4236/jsip.2016.74017>

75. Shen, H., Tzempelikos, A. (2010). A parametric analysis for the impact of facade design options on the daylighting performance of office spaces. 1st International High Performance Buildings conference. USA, Paper 36.

76. Мартинов, В.Л. (2013). Оптимізація геометричних параметрів форми, світлових прорізів і утеплювача енергоефективних будівель. Будівельні конструкції, 77, 317-322.

77. Мартинов, В.Л. (2013). Визначення оптимальної орієнтації енергоефективних будівель із дотриманням норм освітленості та інсоляції. Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського, 5, 173-176.

78. Галінська, Т.А., Носач, Б.Л., Лещенко, М.В., Ліхтей, В.В. (2013). Експериментальні дослідження теплотехнічних властивостей світлопрозорих огорожувальних конструкцій. *Строительство. Материаловедение. Машиностроение. Серия: Создание высокотехнологических экокомплексов в Украине на основе концепции сбалансированного (устойчивого) развития*, 68, 104-108. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/smmcvtek_2013_68_18.

79. Лещенко, М.В., Галінська, Т.А., Резніков, А.А. (2013). Дослідження теплостійкості стінових огорожувальних конструкцій громадських будівель при їх термомодернізації. Збірник наукових праць. Сер.: Галузеве машинобудування, будівництво, 4(2), 114-121. – Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Znpgmb_2013_4\(2\)__17](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Znpgmb_2013_4(2)__17).

80. Yurin, O., Galinska, T. (2017). Study of heat shielding qualities of brick wall angle with additional insulation located on the outside fences. MATEC Web Conf, 116, 02039. <https://doi.org/10.1051/matecconf/201711602039>

81. Yurin, O., Azizova, A., Galinska, T. (2018). Study of heat shielding qualities of a brick wall corner with additional insulation on the brick. MATEC Web Conf, 230, 02039. <https://doi.org/10.1051/matecconf/201823002039>

82. Білоус, О.М., Колесник, Є.С. (2011). Конструктивні принципи забезпечення енергоефективності світлопрозорих огорожувальних конструкцій. Сучасне промислове та цивільне будівництво, 7(4), 243-250.

83. Сопільняк, А.М. (2017). Підвищення теплозахисту світлопрозорої огорожувальної конструкцій. Строительство, материаловедение, машиностроение, 98, 161-165.

84. Jennifer, L., Williamson, P.E., Fu, T., Gabby, B., Testa, J., Hu Ch. (2018). Glazing in commercial buildings – the balance between cost and energy consumption. Building performance analysis conference and simbuild co-organized by ASHRAE and IBPSA-USA Chicago, IL September 26-28, 2018, 221-228.

85. Овчинникова, Н.А., Коржнева, Т.Г. (2018). Расчет тепловпотерь через окна. XVII Международная научно-практическая конференция «Современные техника и технологии», 239-240.

86. Коржнева, Т.Г., Ушаков, В.Я., Овчаров, А.Т. (2013). Учет ресурса естественного света при оптимизации энергозатрат помещения. Вестник ТГАСУ, 3, 156-164.

87. Ghisi, E., Tinker, J.A. (2001). Optimising energy consumption in offices as a function of window area and room size. Seventh International IBPSA Conference Rio de Janeiro, Brazil August 13-15, 1307-1314.

88. Ghisi, E., Tinker, J.A. (2004). Window sizes required for the energy efficiency of a building against window sizes required for view. CIB World Building Congress at: Toronto, Canada, 1-12. Available at: www.irbnet.de/daten/iconda/CIB10258.pdf

89. Колесник, Є.С. (2011). Забезпечення енергоефективності цивільних будинків зі світлопрозорими фасадними конструкціями. Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві, 1, 148-154.

90. Ochoa, C.E., Aries, M.B.C., van Loenen, E.J., Hensen, J.L.M. (2012). Considerations on design optimization criteria for windows providing low energy consumption and high visual comfort. Applied Energy, 95, 238-245. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.02.042>

91. Mason, M., Airah, L., Kingston, T., Airah, M. (2010). Why determining thermal loads through windows is such a pane – Part 1. EcoLibrium, 34-40.

92. Mason, M., Airah, L., Kingston, T., Airah, M. (2010). Why determining thermal loads through windows is such a pane – Part 2. EcoLibrium, 30-36.

93. Підгорний, О.Л., Плоский, В.О., Сергійчук, О.В. (2010). Актуальні проблеми геометричного моделювання в задачах енергозбереження у будівництві. Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання, 14, 25-31. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/votp_2010_14_5

94. Філоненко, О.І. (2013). Вплив повітропроникності конструкції на її теплозахисні властивості. Збірник наукових праць. Сер.: Галузеве машинобудування, будівництво, 4(1), 261-265. – Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Znpgmb_2013_4\(1\)__36](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Znpgmb_2013_4(1)__36)

95. Філоненко, О.І., Вельбой, М.А. (2013). Аналіз енергоефективності стінових конструкцій залежно від їх архітектурно-конструктивних особливостей. Збірник наукових праць. Сер.: Галузеве машинобудування, будівництво, 4(2), 233-239. – Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Znpgmb_2013_4\(2\)__31](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Znpgmb_2013_4(2)__31)

96. Arasteh, D.K., Kohler, C., Griffith, B. Modeling windows in energy plus with simple performance indices. Department of Energy R&D, USA, 2009, 30 с. – Режим доступу: <https://www.osti.gov/servlets/purl/975375>

97. Hart, R., Goudey, H., Arasteh, Dariush Curcija, D.C. (2012). Thermal Performance Impacts of Center-of-Glass Deflections in Installed Insulating Glazing Units. *Energy and Buildings*, 54, 453-460. .
<https://www.doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.06.026>
98. Gustavsen, A., Grynning, S., Arasteh, D.K., Petter B.J., Goudey, H. (2011). Window sizes required for the energy efficiency of a building against window sizes required for view. *Energy and Buildings*, 43(10), 2583-294.
<https://www.doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.05.010>
99. Muhaisen, A. S., Dabboor, H.R. (2015). Studying the impact of orientation, size, and glass material of windows on heating and cooling energy demand of the Gaza strip buildings. *Journal of Architecture and Planning*, 27, 1-15.
100. Клевец, К.Н. (2013). Влияние тепловых поступлений через окна южного фасада на создание комфортных условий в помещении. *Строительство и техногенная безопасность*, 48, 88-92.
101. Колесник, И.А., Петренко, В.О., Ветвицкий, И.Л., Ветвицкая, Д.А. (2016). Анализ влияния теплотехнических характеристик оконных блоков на состояние микроклимата помещений в отопительный период. *Строительство, материаловедение, машиностроение*, 92, 67-72.
102. Zekraoui, D., Zemmouri, N. (2017). The impact of window configuration on the overall building energy consumption under specific climate conditions. *Energy Procedia*, 115, 162-172. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.05.016>
103. Bülow-Hübe H. (1998). The effect of glazing type and size on annual heating and cooling demand for Swedish offices. *Proc. of Renewable Energy Technologies in Cold Climates '98*. Montréal, Québec, Canada, 188-193.
104. Melendo, J.M.A., la Roche, P. Effects of window size in daylighting and energy performance in buildings. *American Solar Energy Society – SOLAR2008*, Including Proc of 37th ASES Annual Conf, 33rd National Passive Solar Conf, 3rd Renewable Energy Policy and Marketing Conf: Catch the Clean Energy Wave 2008, 2008, 4345-4351.

105. Dipa, S., Sazdik, A., Shahriar, A.T.M., Mithun, N.H. (2017). North-south vs east-west: the impact of orientation in daylighting design for educational buildings in Bangladesh. *Architecture Research*, 7(4), 184-189. <https://doi.org/10.5923/j.arch.20170704.06>

106. Paule, B, Boutillier, J., Pantet, S., Sutter, Y. (2018). A lighting simulation tool for the new European daylighting standard. *Proceedings of BSO 2018: 4th Building Simulation and Optimization Conference*, Cambridge, UK: 11-12 September 2018, 32-37.

107. Коваль, В., Федусь, А. (2010). Автоматизація вимірювань рівня освітленості від світильників місцевого освітлення. Збірник тез доповідей XIV наукової конференції Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя «Матеріалознавство та машинобудування», 27-28 жовтня 2010 року – Т.: ТНТУ, 2 (2010) 62.

108. Герега, О., Коваль, В. (2017). Енергофактивність освітлення адміністративних приміщень. Матеріали III Всеукраїнської науково-технічної конференції «Теоретичні та прикладні аспекти радіотехніки і приладобудування», 8-9 червня 2017 року. – Т. : ТНТУ, 201.

109. Коваль В. П. Енергофактивність суміщеного освітлення. (2017). Матеріали III Всеукраїнської науково-технічної конференції „Теоретичні та прикладні аспекти радіотехніки і приладобудування“, 8-9 червня 2017 року. — Т.: ТНТУ, 211-212.

110. Al-Ashwal, N.T., Budaiwi, I.M. (2011). Energy savings due to daylight and artificial lighting integration in office buildings in hot climate. *International Journal of Energy and Environment*, 6(2), 999-1012.

111. EIA, U. S. Energy Information Administration [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.eia.gov>. – How much electricity is used for lighting in the United States?

112. Кожушко, Г.М., Басова, Ю.О., Губа, Л.М. (2016). Порівняння динаміки світлових та колірних характеристик компактних люмінесцентних та світлодіодних

ламп в процесі строку служби. *Technology audit and production reserves*, 30(4), 63-69.
<https://doi.org/10.15587/2312-8372.2016.74678>

113. Тарасенко, М.Г., Козак, К.М. (2013). Комплексний підхід щодо визначення енергоефективності джерел світла. *Світлотехніка та електроенергетика*, 1, 27-36.

114. Heschong Mahone Group. (1999). *Daylighting in schools an investigation into the relationship between daylighting and human performance*. Fair Oaks, CA 95628.

115. Фонтойнон, М.Р. (2008). Оценка экономичности различных систем искусственного и естественного освещения. *Светотехника*, 1, 14-23.

116. Бурмака, В.О., Тарасенко, М.Г. (2019). Дослідження енергоефективності використання природного освітлення. Збірник тез доповідей VIII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», 27-28 листопада 2019 року. – Т.: ТНТУ, 3, 14-15.

117. Majeed, M.N., Mustafa, F.A., Husein, H.A. (2019). Impact of building typology on daylight optimization using building information modeling: apartments in Erbil city as a case study. *Journal of Daylighting*, 6, 187-201.
<http://dx.doi.org/10.15627/jd.2019.17>

118. Lamb, C.R. (1904). City plan, *The Craftsman*, 6, 3-13. – Режим доступу:
<http://urbanplanning.library.cornell.edu/DOCS/lamb.htm>

119. Коваль, В.П. Енергоефективне динамічне освітлення довгих коридорів. *Materials 6th International Scientific Conference «Lighting and power engineering: history, problems and perspectives»*, 30 січня – 02 лютого 2018 року. – Т. : ФОП Паляниця В.А., 2018, 30-31. – Режим доступу:
<http://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/24278>

120. Sudan, M., Tiwari, G.N. (2017). Daylighting and energy performance of a building for composite climate: An experimental study. *Alexandria Engineering Journal*, 55(4), 3091–3100. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2016.08.014>

121. Obradovic, B., Matusiak, B.S. (2019). Daylight transport systems for buildings at high latitudes. *Journal of Daylighting*, 6, 60-79.
<http://dx.doi.org/10.15627/jd.2019.8>

122. Дзядикевич, Ю., Гевко, Б., Никеруй, Ю. (2011). Споживання електроенергії в житлово-комунальній сфері. Енергозбереження. Енергетика. Енергоаудит, 1, 20-23. – Режим доступу: <http://eee.khpi.edu.ua/article/view/21212>
123. Дзядикевич, Ю., Гевко, Б., Никеруй, Ю. (2011). Шляхи економії електроенергії загального користування в сфері ЖКГ. Енергозбереження. Енергетика. Енергоаудит, 6, 21-24. – Режим доступу: <http://eee.khpi.edu.ua/article/view/21819>
124. Guo, X., Tiller, D.K., Henze, G.P., Waters, C.E. (2010). The performance of occupancy-based lighting control systems: A review. *Lighting Research & Technology*, 42, 415-431. <https://doi.org/10.1177/1477153510376225>
125. Dubois, M-C., Blomsterberg, A. (2011). Energy saving potential and strategies for electric lighting in future North European, low energy office buildings: A literature review. *Energy and Buildings*, 43(10), 2572-2582. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.07.001>
126. Mohammad, A.H., Yusri, H.M., Abdullah, H., Rahman, H.A., Pauzi, A.M., Hussin, F., Said, D.M. (2014). A review on lighting control technologies in commercial buildings, their performance and affecting factors. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 33(2), 268-279. <http://doi.org/10.1016/j.rser.2014.01.090>
127. Bellia, L., Fragliasso, F., Stefanizzi, E. (2017). Daylit offices: a comparison between measured parameters assessing light quality and users' opinions. *Building and Environment*, 113, 92-106. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.08.014>
128. Nagy, Z., Yong, F.Y., Schlueter, A. (2016). Occupant centered lighting control: A user study on balancing comfort, acceptance, and energy consumption, *Energy and Buildings*, 126, 310-322. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.05.075>
129. Подгорний, А.Л., Сергейчук, О.В. (2002). Методы расчёта необходимой площади светопроёмов. *Витрина*, 15, 11-22.
130. Ахмяров, Т.А., Спиридонов, А.В., Шубин, И.Л. (2015). Новые решения светопрозрачных конструкций. *Светотехника*, 2, 51-56.
131. Нарисада, К. (2001) Баланс между энергией, окружающей средой и зрительной работоспособностью. *Светотехника*, 39-47.

132. Айзенберг, Ю.Б. (2009). Современные проблемы энергоэффективного освещения. Энергосбережение, 1, 42-47.
133. Гагарин, В.Г., Земцов, В.А. (2005). О разработанном «Своде правил по естественному освещению жилых и общественных зданий». Светотехника, 1, 2005.
134. Гончаров, Н.П., Киреев, Н.Н. (1977). Зрительная работоспособность при естественном и искусственном освещении. Светотехника, 9, 5-8.
135. Скобарева, З.А., Текшева, Д.М. (2003). Биологические аспекты гигиенической оценки естественного и искусственного освещения. Светотехника, 4, 7-13.
136. Leslie, R.P., Brons, J.A. An integrated skylight luminaire: combining daylight and electric luminaires for energy efficiency. Proceedings of Right Light 5, 2005.
137. Labib, R. (2013). Improving daylighting in existing classrooms using laser cut panels. Lighting Research and Technology, 45, 585-598.
138. Abdelatia, B., Marenne, C., Semidor, C. (2010). Daylighting strategy for sustainable schools: case study of prototype classrooms in Libia. Journal of Sustainable Development, 3(3), 60-67.
139. Klub masterov [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://klub-masterov.ru>. – Как найти площадь окна в комнате.
140. WDS центр [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://wds.dp.ua>. – Стеклопакеты для окон WDS, пассивное энергосбережение.
141. uadepe.ru [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://uadepe.ru>. – Як правильно закривати вікна і укоси.
142. Tarasenko, M., Burmaka, V., Kozak, K. (2018). Dependences of relative and absolute glazed area from configuration and common areas of window embrasure. Scientific Journal of TNTU. – Tern.: TNTU, 89(1), 122-131. https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2018.01.122
143. ЛІНІЯ ВІКОН [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://liniavikon.com.ua>. – Трикутні вікна.
144. LIART солнце под контролем [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://liart.in.ua>. – Вертикальные жалюзи от производителя.

145. Easy Bud [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://easybud.com.ua>. – Особливості та оформлення трикутних вікон.
146. Burmaka, V.O., Tarasenko M.G., Kozak K.M. (2018). Relative glazing area of window embrasure of triangular configuration. Збірник тез доповідей VII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», 28-29 листопада 2018 року. – Т.: ФОП Паляниця В. А., 3, 7-8.
147. VEKA [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://veka.ua/ua>. – Profile Softline 82.
148. Конструкції будинків і споруд. Шви з'єднувальні місць примикань віконних блоків до конструкцій стін. Загальні технічні умови: ДСТУ Б В.2.6-79:2009. – [Чин. від 01.04.2010]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2010, 27 с.
149. Тарасенко, М., Бурмака, В., Козак, К. (2018). Залежності відносної площі засклення від загальної площі віконного прорізу. Materials 6th International Scientific Conference «Lighting and power engineering: history, problems and perspectives», 30 січня - 02 лютого 2018 року. – Т.: ФОП Паляниця В.А., 99-100.
150. Boubekri M., Daylighting Design Planning Strategies and Best Practice Solutions, Birkhäuser, Basel, 2014.
151. Burmaka, V., Tarasenko, M., Kozak, K., Khomyshyn, V. (2018). Definition of a composite index of glazing rooms. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 4(10 (94)), 22-28. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.141018>
152. Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення: ДБН В.2.5-28-2006. – [Чин. від 01.10.2006]. – К.: Мінбуд України, 2006, 68 с.
153. Конструкції будинків і споруд. Блоки віконні та дверні. Загальні технічні умови: ДСТУ Б В.2.6-23:2009. – [Чин. від 01.08.2009]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009, 32 с.
154. Теплова ізоляція будівель: ДБН В.2.6-31:2016. – [Чин. від 01.05.2017]. – К.: Мінрегіон України, 2017, 31 с.

155. Light and lighting - Lighting of work places - Part 1: Indoor work places: DIN EN 12464-1:2011-08. – [Чин. від 01.08.2011]. – German Institute for Standardisation, 2011. <https://dx.doi.org/10.31030/1737408>

156. Sustainability in buildings and civil engineering works – Core rules for environmental product declarations of construction products and services: ISO 21930. – [Чин. від 01.07.2017]. – ISO, 2017. – 80 с.

157. Thermal insulation of buildings. Including energy efficiency of buildings: ISO 91.120.10. – ISO.

158. Щепетков Н.И. (2006). О некоторых недостатках норм и методик расчета инсоляции и естественного освещения. Светотехника, 1, 55-56.

159. Byrne, P. (2014). Comparison Study of Four Popular Lighting Simulation Software Programs. Brunel University. Available at: https://issuu.com/peter.byrne1000/docs/dissertation_-_peter_byrne_-_publis/.

160. Gabrova, L., Hlaskova, M., Vajkay, F. (2016). Comparative Evaluation of Daylighting Simulation Programs. Applied Mechanics and Materials, 824, 732–739.

161. D. N. Makarov, Computer simulation methods for lighting installations, Doctoral dissertation, Moscow Power Engineering Institute 2007. Available: http://lightonline.ru/documents/Other/Dissertation_MakarovDN.html

162. Yu, Xu, Su, Y., Chen, X. (2014). Application of RELUX simulation to investigate energy saving potential from daylighting in a new educational building in UK, Energy and Buildings, 74, 191-202. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.01.024>

163. Ehrlich, C., Papamichael, K., Lai, J., Revzan, K. (2002). A method for simulating the performance of photosensor-based lighting controls, Energy and Buildings, 34, 883-889. [http://dx.doi.org/10.1016/S0378-7788\(02\)00064-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00064-6)

164. Соловьёв, А.К., Сунь, И. (2012). Влияния характеристик светопроема на энергопотребление офисного здания в климатической зоне с жарким летом и холодной зимой в Китае. Вестник МГСУ, 9, 31-38.

165. Zazzini, P., Romano, A., Di Lorenzo, A., Portaluri, V., Di Crescenzo A. (2020). Experimental analysis of the performance of light shelves in different geometrical

configurations through the scale model approach. *Journal of Daylighting*, 7(1), 37-56.
<http://dx.doi.org/10.15627/jd.2020.4>

166. Burmaka, V., Tarasenko, M., Kozak, K., Khomyshyn, V. (2019). Influence of the premises size on the value of the daylight factor at the reference point. *International scientific and practical conference Technical sciences: history, the present time, the future, EU experience Wloclawek, Republic of Poland, September 27-28, 1, 10-13.*

167. Бурмака, В., Тарасенко, М. (2018). Дослідження впливу геометричних параметрів віконних прорізів на коефіцієнт природної освітленості. Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції „Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій“ до 100 річчя з дня заснування НАН України та на вшанування пам'яті Івана Пулюя (100 річчя з дня смерті), 22-24 травня 2018. – Т.: ТНТУ, 247-248.

168. Бурмака, В.О., Тарасенко, М.Г. (2019). Вплив товщини зовнішньої огорожувальної конструкції на величину КПО в розрахунковій точці. XIII Міжнародна науково-практична конференція магістрантів та аспірантів «Теоретичні та практичні дослідження молодих науковців» (19-22 листопада 2019 року): матеріали конференції / за ред. проф. Є.І. Сокола. – Харків: НТУ «ХП», 175-176.

169. Соловьев, А. К. (2010). Обоснование модели «Среднестатистического небосвода» и ее использование в расчетах естественного освещения. *Academia. Архитектура и строительство*, 3, 73-78.

170. Природне і штучне освітлення: ДБН В.2.5-28:2018. – [Чин. від 01.03.2019]. – К.: Мінрегіон України, 2018, 113 с.

171. Будинки і споруди. Будинки адміністративного та побутового призначення: ДБН В.2.2-28:2010. – [Чин. від 01.10.2011]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011, 48 с.

171. Burmaka, V., Tarasenko, M., Kozak, K., Omeiza, L.A., Sabat, N. (2020). Effective use of daylight in office rooms. *Journal of Daylighting*, 7(2), 154-166.
<https://dx.doi.org/10.15627/jd.2020.15>

172. Бурмака, В.О., Тарасенко, М.Г. (2019). Ефективність використання природного світла в офісних приміщеннях. Збірник тез доповідей XXI наукова конференція Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, 16-17 травня 2019 року, – Т.: ТНТУ, 115-116.

173. Тарасенко, М.Г., Козак, К.М., Бурмака В.О. (2017). Шляхи підвищення якості та енергоощадності освітлення житлових і нежитлових будівель. Матеріали XX наукової конференції ТНТУ ім. І. Пулюя, 17-18 травня 2017 року. – Т.: ТНТУ, 174-175.

174. Конструкції будинків і споруд. Настанова з проектування світлопрозорих елементів огорожувальних конструкцій: ДСТУ-Н Б В.2.6-83:2009. – [Чин. від 01.05.2010]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2010.

175. Строительные нормы и правила. Нормы проектирования. Естественное и искусственное освещение: СНиП II-4-79. – [Чин. від 27.06.1979]. – М.: Стройиздат, 1980, 48 с.

176. Настанова з розроблення та складання енергетичного паспорта будинків при новому будівництві та реконструкції: ДСТУ-Н Б А.2.2-5:2007. – [Чин. від 01.07.2008]. – К.: Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2008.

177. Розрахункові параметри мікроклімату приміщень для проектування та оцінки енергетичних характеристик будівель по відношенню до якості повітря, теплового комфорту, освітлення та акустики (EN 15251:2007, IDT): ДСТУ Б EN 15251. – [Чин. від 01.07.2008]. – К.: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2008, 33 с.

178. Строительные нормы и правила. Часть II «Нормы проектирования. Глава 33 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха»: СНиП II-33-75. – [Чин. від 01.07.1976]. – М.: Стройиздат, 1976, 109 с.

179. Будівельна кліматологія: ДСТУ-Н Б В.1.1-27 2010. – [Чин. від 01.11.2011]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011, 123 с.

180. Бурмака, В., Тарасенко, М., Козак, К., Хомишин В. (2019). Вплив орієнтації світлопрозорої зовнішньої огорожувальної конструкції на енергетичний

баланс приміщення. Вісник ТНТУ. – Т.: ТНТУ, 94(2), 111-122.
https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2019.02.111

181. Бурмака, В., Тарасенко, М. (2017). Енергоефективність застосування світлопрозорих конструкцій для природного освітлення приміщень. Матеріали III Всеукраїнської науково-технічної конференції «Теоретичні та прикладні аспекти радіотехніки і приладобудування», 8-9 червня 2017 року, – Т.: ТНТУ, 196-198.

182. Справочник проектировщика. Внутренние санитарно-технические устройства. В 2-х ч. Під ред. И. Г. Староверова. Вид. 3. Ч. 2. Вентиляция и кондиционирование воздуха. – М.: Стройиздат, 1978, 509 с.

183. Инженерная энциклопедия [Електронний ресурс]. – Режим доступу <http://engineeringsystems.ru>. – Дежурное отопление.

184. Любарець, О.П. (2018). Розрахункові параметри охолоджувального періоду в Україні. Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання, 24, 11-16.

185. Пособие по расчету и проектированию естественного, искусственного и совмещенного освещения (к СНиП II-4-79). – М.: Стройиздат, 1980, 156 с.

186. Самойлов, С.И., Соловьев, А.К. (2000). Проектирование светопроёмов в офисах и экономия энергии. Светотехника, 1, 23-25.

187. Постанови Кабінету Міністрів України від 24 травня 2017 р. № 360, про затвердження технічного регламенту енергетичного маркування кондиціонерів повітря.

188. Neoclima [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://neoclima.ua>. – Каталог.

189. Бурмака, В., Тарасенко, М., Козак, К., Юськів, В. (2019). Умови забезпечення енергоощадного використання світлопрозорих зовнішніх огорожувальних конструкцій. Енергетика та системи керування, 6(2).

190. Бурмака, В.О., Тарасенко, М.Г. (2020). Енергоощадний вплив світлопрозорих зовнішніх огорожувальних конструкцій на енергетичний баланс офісного приміщення. Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій» до 60-річчя з дня заснування Тернопільського національного технічного університету імені Івана

Пулюя та 175-річчя з дня народження Івана Пулюя, 14-15 травня 2020 року. – Т.: ТНТУ, 196-198.

191. Бурмака, В.О., Тарасенко, М.Г. (2019). Залежність теплотехнічних параметрів світлопрозорих зовнішніх огорожувальних конструкцій від їх площі. Зелене будівництво: Матеріали І Міжнародної науково-практичної конференції. – Миколаїв: Торубара В.В., 83-85.

192. ASHRAE. – Режим доступу: https://ashrae.iwrapper.com/ViewOnline/Standard_90.1-2013_I-P.

193. M. Halverson et al. ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1-2013 Determination of Energy Savings: Quantitative Analysis.

194. Architecture 2030. – Режим доступу: <https://architecture2030.org>.

195. EIA, U. S. Energy Information Administration. – Режим доступу: <https://www.eia.gov/tools/faqs/faq.php?id=99&t=3>.

196. Wright, M. (2014). Lighting control requirements will drive building energy reduction [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.ledsmagazine.com/home/article/16700795/lighting-control-requirements-will-drive-building-energy-reduction-magazine>

197. Кожушко, Г.М., Басова, Ю.О. (2012). Проблеми якості та безпечності енергоекономічних джерел світла. Світлолюкс, 1, 44-49.

198. Коваль, В.П., Тарасенко, М.Г., Коцюрко, Р.В. (2014). Світлотехнічні аспекти заміни ламп розжарення на енергоефективні джерела світла. Енергозбереження. Енергетика. Енергоаудит, 5, 2-8. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ecee_2014_5_2

199. Rubin, C., Ruscitti, T., Shapiro, I. (2013). Boosting multifamily energy savings through lighting control settings. Home Energy, 5, 38-42. – Режим доступу: <http://www.homeenergy.org/show/article/id/1904>

200. Burmaka, V., Tarasenko, M., Kozak, K., Khomyshyn, V., Sabat, N. (2020). Economic and energy efficiency of artificial lighting control systems for stairwells of multistory residential buildings. Journal of Daylighting, 7(1), 72-88. <http://dx.doi.org/10.15627/jd.2020.8>

201. Burmaka, V., Tarasenko, M., Vitenko, T. (2020). Environmental aspects of the artificial lighting control system using at the stairwells of multistory residential buildings. *Proceedings*, 51.

202. Бурмака, В., Тарасенко, М. (2019). Підвищення енергоефективності використання суміщеного освітлення для сходових кліток. Матеріали IV Міжнародної науково-технічної конференції «Теоретичні та прикладні аспекти радіотехніки, приладобудування і комп'ютерних технологій» присвячена 80-ти річчю з дня народження професора Я.І. Проця, 20-21 червня 2019 року. – Т.: ФОП Паляниця В. А., 273-277.

203. Бурмака В.О., Тарасенко М.Г. Екологічні аспекти освітлення сходів багатоквартирних житлових будинків. Проблеми та перспективи розвитку сучасної науки: збірник тез доповідей Міжнародної науково-практичної конференції молодих науковців, аспірантів і здобувачів вищої освіти, м. Рівне, 21-22 травня 2020 року: у 2 ч. Ч. 1. Рівне: НУВГП, 2020, 14-16.

204. ELMIR. – Режим доступу: https://elmir.ua/lamps/lamp_osram_classic_a_fr_40w_e27_4008321419415_10032158.html.

205. Законодавство України. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/264-2019-п>.

206. Elektrolight. – Режим доступу: <https://www.elektrolight.ru/lampy/galogennye-v-kolbe/lampa-galogennaya-64542-p-eco-30w-e27-osram-4008321998286>.

207. IEC 60357:2002 – Tungsten halogen lamps (non vehicle) - Performance specifications.

208. ElectroMarket. – Режим доступу: <https://electro-market.com.ua/ctproduct/ljyminescentnaya-lampa-fs-7-4200-27-7w-4200k-e27-spiral-220v-evrosvet.html>.

209. IEC 60969 – Self-ballasted compact fluorescent lamps for general lighting services - performance requirements

210. Maxus International Corporation. – Режим доступу: <https://maxus.com.ua/led-lampa-global-g45-f-5w-teplyj-svet-e14-1-gbl-143.html>.

211. IEC 62612:2013+AMD1:2015+AMD2:2018 – CSV Consolidated version Self-ballasted LED lamps for general lighting services with supply voltages > 50 V – Performance requirements

212. Domovii. Customer Service. – Режим доступу: <https://domoviy.com/elektrik/cini-na-elektromontazni-roboti-ternopil&l=ua>.

213. 365.wiki. – Режим доступу: <https://365.wiki>.

214. Novatek Electro. – Режим доступу: <https://novatek-electro.com/en/products/programmable-timers-with-photo-relay-and-voltage-monitor/astronomical-timer-for-street-lighting-rev-225.html>.

215. F&F domestic and industrial automation. – Режим доступу: <https://www.fif.com.pl/en/motion-sensor-switch/509-infrared-motion-sensor-dr-08.html>.

216. АКСИОМПЛЮС [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://axiomplus.com.ua/datchiki-dvizheniya/product-69508>.

217. БАТ «Тернопільобленерго» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.toe.com.ua>. – Тарифи для побутових споживачів.

218. Jump, C., Hirsch, J.J., Peters, J.S., Moran, D. (2008). Welcome to the dark side: the effect of switching on CFL measure life. ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, Vol. 2, American Council for an Energy Efficient Economy, Pacific Grove, California, 2, 138-149.

219. УКРЕНЕРГО [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ua.energy>. – Огляд світового досвіду зниження обсягів антропогенних викидів парникових газів на об'єктах енергетики.

220. Market research. Residential sector of Ukraine: legal, regulatory, institutional, technical and financial aspects. Final report for the European Bank for Reconstruction and Development (Framework Contract FC474/EBSF-2010-08-124F), 2011, 204. – Режим доступу: http://www.teplydim.com.ua/static/storage/filesfiles/Market%20Assessment%20Report%20-%20Final_UKR_2011-08-31.pdf.