

ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ СВІТЛОПРОЗОРИХ КОНСТРУКЦІЙ

Національний університет “Львівська політехніка”,

¹ кафедра будівельного виробництва,

² кафедра цивільної безпеки,

ulmarushchak@ukr.net

© Марущак У. Д., Позняк О. Р., Солтисік Р. А., Проць Є., 2019

Проаналізовано вплив конструктивних та теплотехнічних параметрів світлопрозорих огорожень на споживання енергії в будинку садибного типу з позицій забезпечення необхідного рівня природного освітлення та мінімізації трансмісійних втрат. Проведено оптимізацію теплотехнічних параметрів огорожувальних світлопрозорих конструкцій будинку для забезпечення енергетичних показників у напрямку створення енергоефективного будинку за параметрами опору теплопередачі та раціональної площі. Показано, що трансмісійні втрати можуть змінюватися в межах 1000–3800 кВтгод/рік за варіювання вибраних параметрів вікон. Здійснено перевірку вибраної моделі світлопрозорих конструкцій на відповідність вимогам теплової надійності. На основі аналізу енергетично-екологічних показників будинку методом математичного моделювання запропоновано систему оцінювання впливу будівельних об'єктів на довкілля.

Ключові слова: світлопрозора конструкція; тепловтрати; опір теплопередачі; енергоефективність.

Вступ

В Україні, як і в більшості європейських країн, понад 40 % первинної енергії споживає житлово-комунальний сектор. Енергозалежність країни, енергетична криза та різке зростання цін на комунальні послуги стали рушіями підвищення енергоефективності та енергоощадності будівель. Енергоефективність будівлі забезпечується низкою факторів, технологічних та планувальних рішень. Це передусім ефективно утеплені фасади, горища, підвали, сучасні світлопрозорі конструкції, показник компактності будівлі [Fareniuk & Tyshkovets, 2017].

Постановка проблеми

Сучасні будівлі характеризуються набагато більшою питомою площею світлопрозорих конструкцій, а це спонукає до спеціального аналізу впливу таких огорожувальних конструкцій на енергетичні показники будівель. Тому вирішення питань підвищення енергоефективності та енергоощадності будівель з використанням енергоефективних світлопрозорих конструкцій є одним з першочергових.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Конструктивно-архітектурні рішення сучасних будівель все частіше реалізують з використанням світлопрозорих конструкцій в оздобленні фасаду (див. таблицю). Висока популярність скла зумовлена його естетичними якостями. Скляний фасад надає будівлі ефектного сучасного вигляду. У сучасних висотних будівлях світлопрозорі конструкції можуть займати до 100 % фасаду [Pidgorny et al., 2006].

Діапазон значень коефіцієнта скління фасаду будівлі

Призначення будівлі	Мінімальне значення	Максимальне значення
Будинки житлові	0,10	0,30
Громадські будівлі адміністративного призначення, офіси	0,10	0,80
Будівлі навчальних закладів	0,10	0,50

Світлопрозорі огороження повинні забезпечувати гармонійне природне освітлення приміщень, одночасно захищаючи їх від зовнішнього шуму, температурних коливань, інтенсивного сонячного випромінювання та інших негативних факторів [Kiran Kumar et al., 2016]. Сьогодні світлопрозорі конструкції стали також незамінним інструментом реалізації архітектурної та дизайнерської думки (рис. 1).

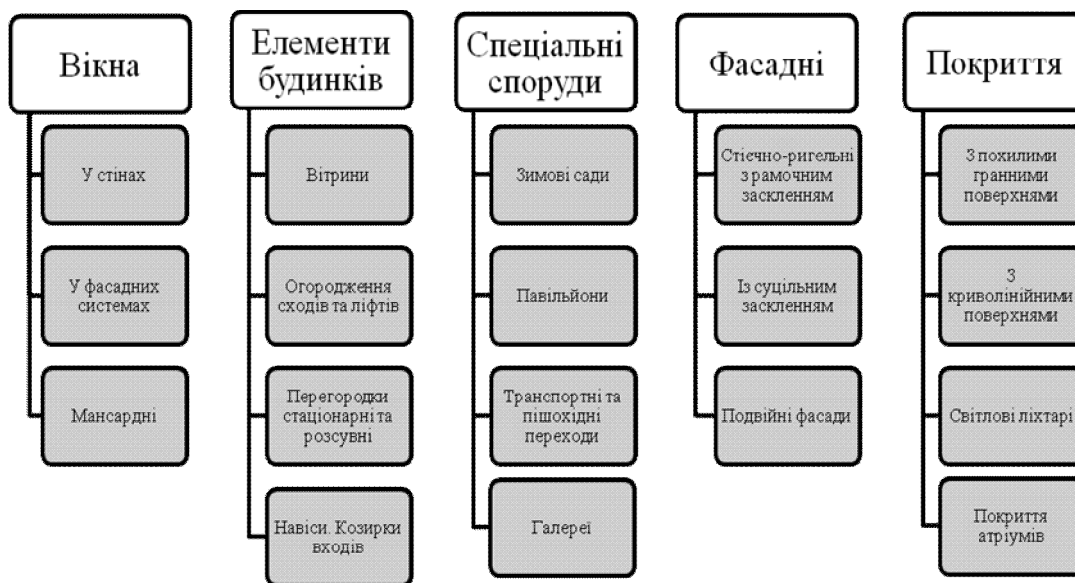


Рис. 1. Загальна класифікація світлопрозорих огорожень

До важливих функцій, які виконують світлопрозорі огорожувальні конструкції, належать природне освітлення приміщень і забезпечення прямого зорового контакту між інтер'єром і зовнішнім середовищем. Більшу частину часу людина перебуває у приміщенні, з усього об'єму інформації близько 80 % отримує візуально. Якість сприйнятої інформації залежить від правильного освітлення робочих місць, від нераціонального освітлення швидко втомлюються не тільки очі, а й увесь організм, знижується продуктивність праці та погіршується самопочуття. Згідно з сучасними нормами природного освітлення для житлових будівель відношення площі світлових прорізів житлових приміщень до площі підлоги цих приміщень повинно бути в межах від 1:5,5 до 1:8 [ДБН В.2.2-15:2019]. Істотне значення для формування нормального внутрішнього середовища за вимогами гігієнічних показників має провітрювання приміщень, зниження можливості конденсації вологи на огорожувальних конструкціях [Yalçın et al., 2012]. Неякісні, погано спроектовані світлопрозорі конструкції часто є слабкою частиною будівлі у плані втрат тепла, недостатньої інсоляції взимку та надлишкової влітку.

Світлопрозорі конструкції найнесприятливіші з теплотехнічних позицій місця в зовнішніх огороженнях будинків, через них відбувається найінтенсивніший обмін тепловою енергією між внутрішнім та зовнішнім середовищами. Ефективна їх площа – це компроміс між освітленістю та тепловтратами [Vanhouthehem et al., 2015]. Проектування світлопрозорих конструкцій, які

гарантують у приміщеннях умови перебування людей згідно з чинними гігієнічними вимогами, досягається забезпеченням необхідних теплоізоляційної, світлопропускної здатності; повітропроникнення; паропроникнення; водонепроникнення; стійкості до силових навантажень від вітру та вилому. Під час проектування світлопрозорих конструкцій необхідно враховувати дію кліматичних, механічних, експлуатаційних впливів та навантажень, що діють як ззовні, так і зсередини будинку, а також є забезпечувати надійність механічного кріплення віконних блоків, стійкість конструктивних елементів вікон до прогинання під дією статичних та динамічних навантажень [ДСТУ-Н Б В.2.6-146:2010]. Передавання теплоти світлопрозорими огороженнями залежить як від теплоізоляційної здатності власне конструкції, так і від правильності та якості виконання примикань конструкцій між собою чи з несучою конструкцією [Urbikain & Sala, 2009]. У традиційних будівлях житлового та громадського призначення площа вікон у три–п'ять разів менша від площі глухих стінових огорожувальних конструкцій, а тепловтрати крізь вікна перевищують тепловтрати крізь глухі стінові конструкції [Fareniuk & Kaliukh, 2014]. Величина тепловтрат через вікна визначається їх приведеним опором теплопередачі, за показником якого здійснюється класифікація віконних блоків (рис. 2) [ДСТУ Б В.2.6-23:2009].



Рис. 2. Класифікація віконних блоків за показником приведеного опору теплопередачі

Згідно з [ДБН В.2.6-31:2016] мінімально допустиме значення опору теплопередачі світлопрозорих огорожувальних конструкцій встановлюється на рівні $0,75 \text{ м}^2\text{К/Вт}$, що відповідає класу А2. Попри це, нині в будівлях експлуатують вікна з опором теплопередачі нижче за $0,35 \text{ м}^2\text{К/Вт}$ (мінімальні значення можуть досягати $0,25\text{--}0,28 \text{ м}^2\text{К/Вт}$), клас яким не присвоюють. Зауважимо, що сучасні вікна із двокамерним склопакетом та емісійним покриттям класу А характеризуються удвічі більшим опором теплопередачі ($R=1,05\text{--}1,11 \text{ м}^2\text{К/Вт}$) порівняно з традиційною неутепленою стіною конструкцією (цегляна кладка з повнотілої керамічної цегли, товщина $0,38 \text{ м}$, з опором теплопередачі $R=0,54 \text{ м}^2\text{К/Вт}$), що визначає їх енергоефективність [Sanytsky et al., 2014; Sanytsky et al., 2012].

Метою роботи є аналіз теплотехнічних показників світлопрозорих конструкцій різних типів та оптимізація їх параметрів.

Результати досліджень

Основною експлуаційною характеристикою світлопрозорих конструкцій за ДСТУ Б В.2.6-23:2009 є їх опір теплопередачі, до якого встановлюють мінімально допустимі вимоги, щоб забезпечити необхідні показники енергоефективності будинку. Крім того, до віконних конструктивних елементів будинку ставлять вимоги щодо мінімальної температури внутрішньої поверхні за розрахункових значень температур внутрішнього та зовнішнього повітря. Виконано перевірку світлопрозорих конструкцій з різними рівнями показників опору теплопередачі на відповідність умові теплової надійності ($\tau_{\text{вmin}} > t_{\text{min}}$). Як видно з рис. 3, світлопрозорі конструкції класу Д1 (опір теплопередачі $0,39 \text{ м}^2\text{К/Вт}$) та вище за розрахункових значень параметрів внутрішнього та зовнішнього повітря характеризуються температурою внутрішньої поверхні понад $6 \text{ }^\circ\text{C}$, що задовольняє нормативні вимоги. Однак для вікон з опором теплопередачі $0,35 \text{ м}^2\text{К/Вт}$, що відповідає нижньому рівню для класу Д2, умова теплової надійності не виконується.



Рис. 3. Температура внутрішньої поверхні вікон різних типів

Проектування світлопрозорих конструкцій житлового будинку виконують з урахуванням їх раціональної площі для забезпечення необхідного рівня природного освітлення згідно з ДБН В.2.5-28 та рівня енергоефективності будівлі, що визначається опором теплопередачі вікон. Для оптимізації конструктивних параметрів світлопрозорих конструкцій за критеріями мінімізації трансмісійних тепловтрат та емісії парникових газів проведено математичне планування [Sanytsky et al., 2014]. Як об'єкт досліджень вибрано модель житлового одноповерхового будинку з опалюваною площею 100 м^2 . Експериментальні дослідження виконано відповідно до плану двофакторного трирівневого експерименту, змінним фактором якого вибрано опір теплопередачі світлопрозорих конструкцій ($X_1=0,39; 0,75; 1,11 \text{ м}^2\text{К/Вт}$). Значення теплотехнічних параметрів світлопрозорих огорожень охоплювало діапазон опору теплопередачі від $0,39$ до $1,1 \text{ м}^2\text{К/Вт}$, що відповідає нижньому рівню енергоефективності Д2 (подвійні вікна в дерев'яних рамах – $R_{\Sigma\text{пр}}=0,39 \text{ м}^2\text{К/Вт}$) та рівню високої енергоефективності А+++ (енергоефективне вікно – $R_{\Sigma\text{пр}}=1,11 \text{ м}^2\text{К/Вт}$), які задовольняють умову теплової надійності (рис. 4). Середній рівень варіювання ($R_{\Sigma\text{пр}}=0,75 \text{ м}^2\text{К/Вт}$) відповідає мінімально допустимому значенню згідно з вимогами ДБН В.2.6-31:2016.

Другим фактором варіювання під час оптимізації вибрано геометричний параметр, що відповідає відношенню площі світлопрозорих конструкцій до площі підлоги ($X_2=1:6; 1:7; 1:8$). Для площі підлоги 100 м^2 геометричні показники світлопрозорих конструкцій становили відповідно $13; 15; 17 \text{ м}^2$. Розрахунок трансмісійних втрат через світлопрозорі конструкції виконували з

урахуванням тривалості опалювального періоду для м. Львова, який становить $Z_{оп}=179$ діб, середньої температури зовнішнього повітря за опалювальний період $t_{оп} = 0,4$ °С.

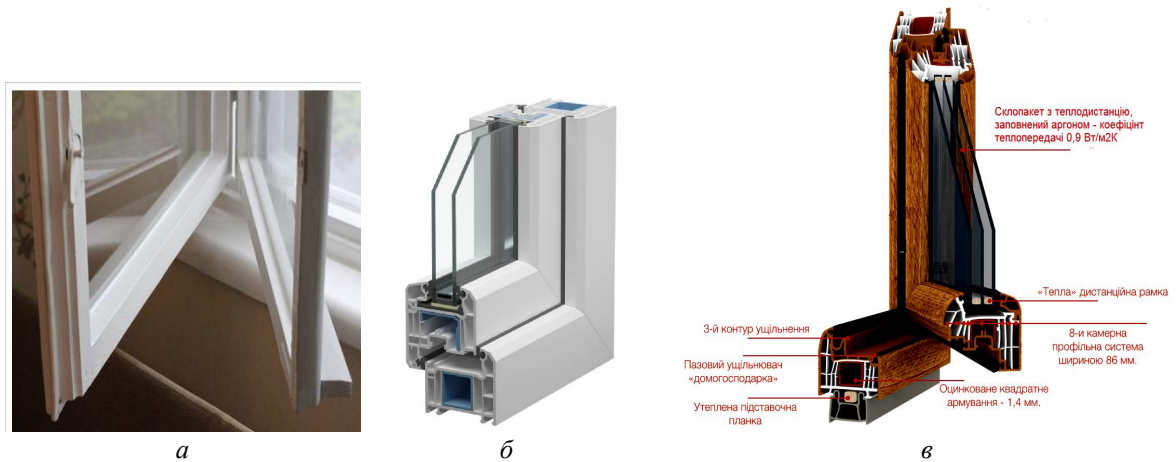


Рис. 4. Світлопрозорі конструкції: а – вікно подвійне в дерев'яних рамах ($R_{\Sigma пр} = 0,39$ м² К/Вт), б – пластикове вікно ($R_{\Sigma пр} = 0,75$ м² К/Вт), в – енергоефективне вікно ($R_{\Sigma пр} = 1,11$ м² К/Вт)

На основі результатів розрахунків отримано математичні моделі трансмісійних втрат через світлопрозорі конструкції та кількість парникових газів у перерахунку на CO₂ за опалювальний період у вигляді рівнянь регресії:

$$Q = 1752,11 - 1093,17X_1 + 280,33X_2 - 145,75X_1X_2 + 524,83X_1^2 + 0,33X_2^2, \text{ [кВт}\cdot\text{год/рік]}.$$

$$M_{CO_2} = 424,44 - 264,50X_1 + 67,83X_2 - 35,0X_1X_2 - 0,16X_1^2 + 126,83X_2^2, \text{ [кг/рік]}.$$

Аналіз коефіцієнтів рівняння регресії для тепловтрат показав, що коефіцієнт b_1 в 3,9 рази перевищує коефіцієнт b_2 . Це вказує на вирішальний вплив теплотехнічних параметрів вікон на річні тепловтрати порівняно з їх геометричними показниками. На основі одержаного рівняння регресії побудовано ізопараметричну поверхню тепловтрат через світлопрозорі конструкції ($Y_1 = \text{const}$) (рис. 5).

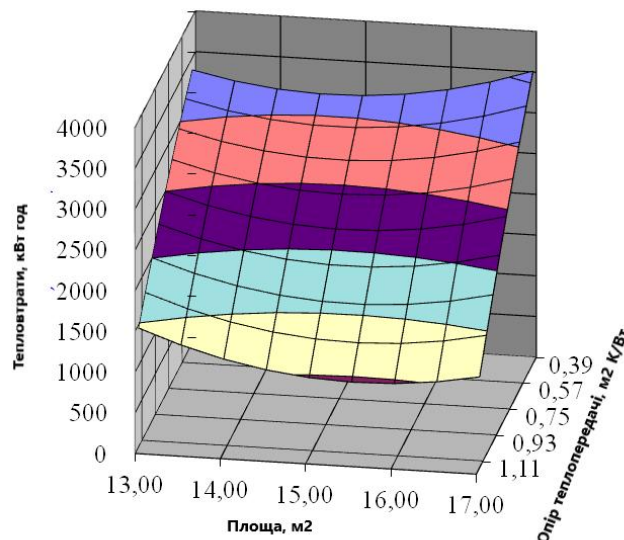


Рис. 5. Ізопараметрична поверхня тепловтрат через світлопрозорі конструкції

Математична модель пошуку оптимальних показників світлопрозорих конструкцій будівлі формулюється з умови мінімізації теплових втрат та емісії CO₂ протягом року. Для житлового

будинку з мінімально допустимою площею світлопрозорих конструкцій за показниками природного освітлення та максимальним опором теплопередачі мінімальний рівень тепловтрат досягається за значення 1026,40 кВт·год/рік, тобто тепловтрати зменшуються в 3,7 разу порівняно з вихідною розрахунковою моделлю. Екологічний показник такого житлового будинку з урахуванням факторів первинної енергії та коефіцієнта викидів парникових газів у перерахунку на CO₂ становить 248 кг за рік.

Висновок

Під час дослідження встановлено, що величина трансмісійних втрат через світлопрозорі конструкції може коливатися у межах 1000–3800 кВт·год/рік, а емісія CO₂ – 248–925 кг/рік залежно від зміни геометричних та теплотехнічних показників. Найменшими тепловтратами характеризуються енергоефективні вікна ($R_{\Sigma пр} = 1,11 \text{ м}^2\text{К/Вт}$) з відношенням площі світлових прорізів приміщення до площі його підлоги 1:8. Температура внутрішньої поверхні вікна становить 15,3 °С, що відповідає вимогам теплової надійності.

Список літератури

- Fareniuk, G. G., & Tyshkovets, A. V. (2017). Global trends in energy efficiency of buildings. *Science and construction*, 4, 4–10 [in Ukrainian].
- Pidgorny, O. L., Shepetova, I. M., Sergeychuk, A. V., Zaytsev, O. M., & Protsyuk, V. P. (2006). *Windows of buildings*. Kyiv : KNUBA [in Ukrainian].
- Kirankumar, G., Saboor, S., & Ashok Babu, T. P. (2016). Simulation of various wall and window glass material buildings for energy efficient building design. *Key Engineering Materials*, 692, 9–16.
- Yalçın Yaşar, & Sibel Maçka Kalfa. (2012). The effects of window alternatives on energy efficiency and building economy in high-rise residential buildings in moderate to humid climates. *Energy Conversion and Management*, 64, 170–81.
- Vanhoutteghem, L., Skarning, G. C. J., Hviid, C. A., & Svendsen, S. (2015). Impact of façade window design on energy, daylighting and thermal comfort in nearly zero-energy houses. *Energy and Buildings*, 102, 149–156.
- Urbikain, M. K., & Sala, J. M. (2009). Analysis of different models to estimate energy savings related to windows in residential buildings. *Energy and Buildings*, 41, 687–695.
- Fareniuk, E. G., & Kaliukh, Y. I. (2014). For the analysis of computational methods for determining the thermal characteristics of window structures. *Architecture and pages in Azerbaijan*, 3, 18–24.
- Sanytsky, M. A., Marushchak, U. D., Sekret, R., & Wojcikiewicz, M. (2014). Energy and economic indicators of individual houses. *Building structures*, 80, 176–181 [in Ukrainian].
- Sanytsky, M., Sekret, R., & Wojcikiewicz, M. (2012). Energetic and ecological analysis of energy-saving and passive houses. *SSP-Journal of Civil Engineering*, 7. 1, 71–78.
- Sanytsky, M. A., Kotiv, M. V., & Marushchak, U. D. (2014). Mathematical modeling in research of energy efficiency of building objects. *Energy efficiency in construction and architecture*, 6, 254–259 [in Ukrainian].

Ulyana Marushchak¹, Oksana Poznyak¹, Roman Soltysik², Yevgen Prots¹

Lviv Polytechnic National University,

¹ Department of Building Production,

² Department of Civil Safety

OPTIMIZATION OF PARAMETERS OF WINDOW STRUCTURES

© Maruschak U., Poznyak O., Soltysik R., Prots Y., 2019

The influence of structural and thermal parameters of window structures on energy consumption in a house of a residential type is analyzed in this article from the standpoint of providing the required level of natural lighting and minimizing of transmission losses. It was shown, that modern buildings are characterized by a much larger proportion of the area of window structures, which requires a special analysis of the effect of translucent enclosures on the energy performance of buildings. The window structures should provide harmonious natural lighting of the rooms, while

protecting them from external noise, temperature fluctuations, intense solar radiation and other negative factors. The classification of window blocks by the parameter of the thermal resistance was presented. Window structures with different levels of thermal resistance parameter in accordance to thermal reliability condition ($\tau_{\text{imin}} > t_{\text{min}}$) were calculated. It was established that the window structures of class D1 (thermal resistance is $0.39 \text{ m}^2\text{K/W}$) and above are characterized by an interior surface temperature higher than $6 \text{ }^\circ\text{C}$, which meet the standard requirements. The thermal parameters of window structures have been optimized to provide energy performance in the direction of creating an energy-efficient building. The parameters of optimization such as thermal resistance of window structures ($X_1 = 0.39; 0.75; 1.11 \text{ m}^2\text{K/W}$) and geometric parameter corresponding to the ratio of the area of window to the floor area ($X_2 = 1:6, 1:7, 1:8$) were chosen. For a residential house with a minimum allowable area of window structures in terms of natural lighting and maximum thermal resistance, the minimum level of heat loss is reached $1026.40 \text{ kW}\cdot\text{h/year}$, and CO_2 emissions – 248 kg/year , heat losses and greenhouse gas emissions decrease by 3.7 times compared to the calculation model. It was established that the smallest heat losses occur through energy efficient windows (thermal resistance is $1.11 \text{ m}^2\text{K/W}$) with the ratio of the area of window structures to the floor area of the room, which equal 1:8.

Key words: window structures; heat loss; thermal resistance; energy efficiency.