

УДК 669.86:536.21

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.241023.103.998

АНАЛІЗ РОЗРАХУНКОВО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕПЛОВИХ ВТРАТ ЧЕРЕЗ СВІТЛОПРОЗОРИ ОГОРОДЖУВАЛЬНІ КОНСТРУКЦІЇ

ОРЛОВА Н. О., *канд. техн. наук, с. н. с.*

Відділ моделювання та ідентифікації теплових процесів в енерготехнологічному обладнанні, Інститут проблем машинобудування ім. А. М. Підгорного НАН України, вул. Пожарського 2/10, 61000, Харків, Україна, тел. +38 (066) 170-16-95, e-mail: orlova@ipmach.kharkov.ua, ORCID ID: 0000-0002-9387-6823

Анотація. Постановка проблеми. Енергозбереження в умовах дефіциту та постійного зростання вартості енергоносіїв – основне завдання житлово-комунального комплексу. Наряду із застосуванням енергозберігального обладнання в системах життєзабезпечення будівель, суттєвого зниження енергоспоживання можна досягти впровадженням у будівництво енергоефективних конструктивних рішень. Світлопрозорі конструкції більш незахищені, оскільки тепловтрати через них можуть досягати 54 % від загальних, тому потребують нових підходів до визначення коефіцієнтів теплопередачі. На підставі аналізу процесів тепломасопереносу поелементно для віконних блоків нестандартної форми проведено коректне оцінення коефіцієнта теплопередачі. **Мета роботи** – на підставі аналізу формування теплофізичних процесів через світлопрозорі огороджувальні конструкції вдосконалити залежності для розрахунку коефіцієнта теплопередачі конструкцій склопакетів з урахуванням кліматичного навантаження і встановлення взаємозв'язку між їх основними теплотехнічними характеристиками. **Результати.** На підставі аналізу теплофізичних процесів, які відбуваються у світлопрозорих конструкціях, отримано залежності коефіцієнта теплопередачі віконного блока нестандартної форми від швидкості вітру, з урахуванням орієнтації, висоти будівлі з поелементним визначенням. Установлено основні фактори, що впливають на значення коефіцієнта теплопередачі віконного блока, тобто подані залежності можуть бути використані для оцінення енергозберігальних заходів під час проведення енергоаудиту будівель. **Наукова новизна і практична значимість.** Отримано залежності для визначення коефіцієнта теплопередачі світлопрозорих конструкцій, з урахуванням тепловтрат через віконні рами, місця розташування вікна в отворі стіни і конструктивних рішень. Аналіз теплофізичних процесів, які відбуваються у віконних блоках, дозволить не тільки розрахувати коефіцієнт теплопередачі для вікон нестандартної форми, а й запропонувати енергозберігальні заходи, направлені на зниження тепловтрат, оскільки актуальним наразі бачиться збільшення скління для забезпечення норм освітленості і комфортних умов. Отримано кількісні результати променистої і конвективної складової для поелементного визначення коефіцієнта теплопередачі віконних блоків і тепловтрат через них, які дозволяють установити першочерговість енергозберігальних заходів.

Ключові слова: коефіцієнт теплопередачі; тепловтрати; променистий теплообмін; конвективний теплообмін; швидкість повітря

ANALYSIS OF CALCULATION AND EXPERIMENTAL METHODS OF DETERMINING HEAT LOSSES THROUGH WINDOW CONSTRUCTION

ORLOVA N.O., *Cand. Sc. (Tech.), Sen. Res.*

A. Pidgorny Institute of Mechanical Engineering Problems of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2/10, Pozharskoho St., Kharkiv, 61000, Ukraine, tel. +38 (066) 170-16-95, e-mail: orlova@ipmach.kharkov.ua, ORCID ID: 0000-0002-9387-6823

Abstract. Problem statement. Energy conservation in the conditions of deficit and constant growth in the cost of energy carriers is the main task of the housing and communal complex. Along with the use of energy-saving equipment in life support systems, a significant reduction in energy consumption can be achieved by introducing energy-efficient structural solutions into construction. Translucent structures are considered more unprotected, since heat losses through them can reach 54 % of the total, so they require new approaches to determining heat transfer coefficients. On the basis of the analysis of heat and mass transfer processes element by element for window blocks of non-standard shape, a correct estimate of the heat transfer coefficient was made. **The purpose of the article** on the basis of the analysis of the thermophysical processes formation through translucent enclosing structures, improve the dependences for calculating

the heat transfer coefficient of double-glazed structures taking into account the climatic load and establishing the relationship between their main thermotechnical characteristics. **Results.** Based on the analysis of thermophysical processes occurring in opaque structures, the dependence of the heat transfer coefficient of non-standard shape window block on the wind speed, taking into account the orientation of the building height in the element-by-element determination, was obtained. The main factors affecting the value of the heat transfer coefficient of the window unit have been established, i. e., these dependencies can be used to evaluate energy-saving measures during an energy audit. **Scientific novelty and practical value.** Dependencies for determining the heat transfer coefficient of translucent structures, taking into account heat loss through window frames, the location of the window in the wall opening, and structural solutions are obtained. An analysis of the results of heat transfer coefficients for windows of non-standard shape, which are aimed at choosing the optimal technical solutions of window blocks from the standpoint of energy and resource saving, taking into account climatic parameters, was conducted. Quantitative results of the radiant and convective components for the element-by-element determination of the heat transfer coefficient of window blocks and heat losses through them are obtained, allowing to establish the priority of energy-saving measures.

Keywords: *heat transfer coefficient; heat loss; radiant heat exchange; convective heat exchange; air velocity*

Постановка проблеми. Забезпечення комфортних умов під час періодичних відключень і дефіциту енергоносіїв на сьогоднішній день – основне завдання житлово-комунального сектора. У зв'язку з тим, що до 50 % втрат (від загальних) тепла припадає на вікна, підвищуються вимоги до їх опору теплопередачі, оскільки світлопрозорі конструкції це не тільки елемент будівлі, а і складова частина системи кліматизації. Зовнішні збурення однаково впливають як на стіни, так і на світлопрозорі конструкції, однак останні більш незахищені, тому потребують нових підходів до визначення коефіцієнтів теплопередачі. Правильна оцінка коефіцієнта теплопередачі через світлопрозорі конструкції дозволить коректно оцінити енергозберігальні заходи.

Аналіз публікацій. Коефіцієнти теплопередачі світлопрозорих конструкцій визначаються декількома способами: це чисельне моделювання і визначення коефіцієнтів теплопередачі за методикою, викладеною в [1; 2].

У статтях [3; 4] наведено загальні методики визначення теплових втрат на основі [1; 2], а саме коефіцієнт тепловіддачі прийнятий 23 Вт/(м²·°C) для швидкості вітру 9 м/с, без урахування її зміни по висоті і турбулізації потоку. У праці [5] наведено узагальнення для проектування енерго-ефективних світлопрозорих конструкцій.

У роботі [6] описано вдосконалену методику оцінювання теплотехнічних параметрів віконних конструкцій з високим рівнем теплозахисту. Комплексний підхід до

визначення фактичного значення опору теплопередачі віконних систем, заснований на вимірюванні середньої температури внутрішньої поверхні конструкції та визначенні фактичного коефіцієнта тепловіддачі, проаналізовано в статті [7]. Цей метод дозволяє більш повно врахувати термічну неоднорідність і досягти високої точності дослідження, проте вимагає великої кількості вимірювань, щоб запобігти похибкам.

У праці [8] виконано аналіз різних методів підвищення опору теплопередачі склопакетів. Залежність опору теплопередачі вікон від різних чинників досліджено у статті [9]. Водночас застосування енергоефективних склопакетів вимагає адекватної оцінки цих якостей, що значно ускладнюється суперечливістю методологій розрахунку теплотехнічних якостей віконних конструкцій.

У роботі [10] наведено результати розгляду невідповідностей у викладенні вимог і формулювань для розрахунку віконних конструкцій, що містяться в різних нормативних документах, тобто першочерговим постає уточнення методологій розрахунку теплотехнічних якостей віконних конструкцій.

Робота [11] за негативних зовнішніх температур досліджує температури на різних частинах внутрішньої поверхні віконної конструкції та встановлює, що на склопакеті температура завжди нижча, ніж на профілі.

Передача тепла через вікна має складний характер і відбувається одночасно

з теплопровідністю, випромінюванням і конвекцією. Аналіз публікацій показав, що у вивчених статтях мало відображено питання визначення опору теплопередачі склопакетів залежно від кліматичних параметрів.

Для отримання залежностей, які повно відображають теплотехнічні якості вікон, необхідно виявити взаємозв'язок між кількістю передачі тепла і розглянути кожну складову окремо, а також установити їх взаємний вплив.

Мета роботи – вдосконалення розрахунку коефіцієнта теплопередачі конструкцій склопакетів з урахуванням кліматичного навантаження і встановлення взаємозв'язку між їх основними теплотехнічними характеристиками.

Виклад матеріалу. Світлопрозорі конструкції являють собою комбінацію твердих прозорих пластин (скла) і повітряних прошарків, з'єднаних рамною конструкцією. Теплоперенесення через світлопрозорі огороження відбувається досить швидко і може розглядатися як квазістаціонарний процес.

Коефіцієнт теплопередачі вікна дорівнює:

$$K = \frac{1}{R_{\text{СКЛ}}} = \frac{1}{R_{\text{г}} + \sum_{i=1}^{i-1} R_{\text{с}} + \sum_{i=1}^{i-1} R_{\text{п. пр}} + R_{\text{з}}}, \quad (1)$$

де $R_{\text{в}} = 1/\alpha_{\text{в}}$, $R_{\text{с}}$, $R_{\text{п. пр}} = 1/(\alpha_{\text{к}} + \alpha_{\text{пр}})$, $R_{\text{з}} = 1/\alpha_{\text{СКЛ}}$ – термічний опір: на внутрішній поверхні скління, самого скла, повітряного прошарку та на зовнішній поверхні скління, відповідно.

Для визначення коефіцієнта тепловіддачі (КТВ) температура скління розглядається як середня за товщиною прийнявши для внутрішнього скла значення t_1 і для зовнішнього t_2 .

В інженерних розрахунках прийнято тепловіддачу на зовнішніх поверхнях не поділяти на променисту і конвективну складові. Коефіцієнт тепловіддачі на зовнішній або внутрішній поверхні за фізичним змістом – це щільність теплового потоку, що віддається відповідною поверхнею навколишньому середовищу (або

навпаки) за різниці температури поверхні та середовища в 1°C .

Складова природної конвекції на внутрішній поверхні огорожі визначається коефіцієнтом тепловіддачі на вертикальній площині внутрішнього скла. У разі ламінарного режиму перебігу повітряного потоку поверхнею скла можна визначити з наступного критеріального рівняння [12]:

$$\text{Nu}_x = 0,12 \cdot \text{Gr}_x^{\frac{1}{3}}, \quad (2)$$

де $\text{Nu}_x = \frac{\alpha_{\text{г}} \cdot x}{\lambda_{\text{г}}}$ – критерій Нуссельта;

$\text{Gr}_x = g\beta \cdot \frac{\Delta t \cdot x^3}{\nu^2}$ – критерій Грасгофа; x – поточний розмір уздовж поверхні скління за напрямом руху повітря.

Підставивши у (2) фізичні характеристики повітря в діапазоні зміни температур від 20°C до 50°C , а також $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ отримаємо $\alpha_{\text{к}} = 6,95 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$.

Конвективний теплообмін між склом характеризується:

$$\text{Nu}_x = 0,231 \text{Gr}_x^{0,3}. \quad (3)$$

Аналіз опору повітряного прошарку проводиться на прикладі віконного блока, (рис. 1), схема конвективного теплообміну в приміщенні наведена на рисунку 2.

Перехід від ламінарного до турбулентного режиму течії повітря між склом здійснюється за

$$\text{Gr}_{\text{в}} = g \cdot \beta \cdot \frac{\Delta t \cdot b^3}{\nu_{\text{в}}^2}, \quad (4)$$

де $\Delta t' = \frac{t_{\text{вн}} - t_{\text{з}}}{2} = 21,5$; $t_{\text{ср}} = t_{\text{вн}} - \Delta t'$; $\Delta t = 20^\circ\text{C}$, $\nu_{\text{в}} = 13,15 \cdot 10^{-6}$, підставивши значення в (4), отримаємо, що $\text{Gr}_{\text{в}} = 14,1 \gg 10^3$, отже, режим руху повітря між склом турбулентний.

Еквівалентну теплопровідність знаходимо з формули:

$$\varepsilon = \frac{\lambda_{\text{СКЛ}}}{\lambda_{\text{в}}} = 0,4 \cdot (\text{Gr} \cdot \text{Pr})^{0,2} = 10,04,$$

$$\lambda_{\text{СКЛ}} = \varepsilon \cdot \lambda_{\text{в}} = 10,04 \cdot 0,0272 = 0,243 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}},$$

тоді термічний опір повітря:

$$R_{в.пр.} = \frac{\delta}{\lambda_{ек}} = \frac{10,15}{0,243} = 0,6173 \frac{м^2 \cdot К}{Вт}$$

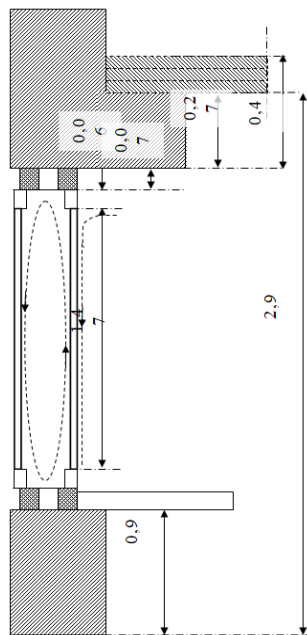


Рис. 1. Схема віконного отвору

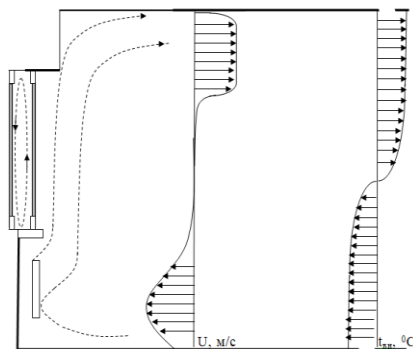


Рис. 2. Схема конвективного теплообміну у приміщеннях

Для вікон $\delta = 0,4$ м, отже $G_{гп}$ за тих саме теплофізичних параметрів:

$$G_{гв} = 9,81 \cdot \frac{20}{271,5} \cdot \frac{0,4^3}{(13,15 \cdot 10^{-6})^2} = 2,634,$$

$$Gr \cdot Pr = 2,634 \cdot 0,707 = 1,8625 \cdot 10^8,$$

$$\epsilon_K = 0,4 \cdot (Gr \cdot Pr)^{0,2} = 18,03,$$

$$\lambda_{ек} = \epsilon \cdot \lambda_B = 18,03 \cdot 0,0242 = 0,4364 \frac{Вт}{м \cdot К},$$

$$R_{в.пр.} = \frac{\delta}{\lambda_{ЭК}} = \frac{0,4}{0,4364} = 0,9166 \frac{м^2 \cdot К}{Вт},$$

$$G_{гкр} = 10^8 \cdot 10^9,$$

$$x_{кр} = (1 + 0,007636 \cdot t)^{\frac{2}{3}} \cdot \left(\frac{\Delta t}{273 + t} \right).$$

Якщо $\Delta t = 10$ °С, $t_{ср} = 15$ °С,
 $\nu = 14,61 \cdot 10^{-6}$ м²/с, $\lambda = 0,0255$ $\frac{Вт}{м \cdot К}$,

$Gr_h = 7,6036 \cdot 10^9$, $Gr \cdot Pr = 5,3529 \cdot 10^9$,
 $\overline{Nu}_h = 1623,43$, $\alpha = 28,16$ $\frac{Вт}{м^2 \cdot К}$, а термічний опір

$$R = 0,0355 \frac{м^2 \cdot К}{Вт}.$$

Променистий теплообмін у просторі між поверхнями скління, зверненими одна до одної, який з урахуванням діатермічності середовища, стаціонарності процесу, наведеного коефіцієнта випромінювання $\epsilon_{пр} = 0,8815$, постійної Стефана–Больцмана для абсолютно чорного тіла $\sigma_0 = 5,67$ $\frac{Вт}{м^2 \cdot К^4}$

може бути визначений відповідно до рівняння:

$$Q_{1-2} = q_{1-2} \cdot F_1 = 4,998 \cdot \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right],$$

де T_1 , T_2 – абсолютна температура внутрішнього та зовнішнього скла.

З урахуванням орієнтації промениста складова дорівнює на східній та південній стороні $Q_{пр} = 1144,5$ $\frac{Вт}{м^2}$, на північній

$$Q_{пр} = 1051,1 \frac{Вт}{м^2},$$

$$Q_{пр} = 1034,0 \text{ Вт}.$$

Виходячи з аналізу умов натікання повітряного потоку на навітряну стіну, можна зазначити, що велика частина вікон потрапляє в область загальмованого потоку, в якій формування тепловіддачі на зовнішній поверхні відбувається за впливу пульсаційної складової U' . Значення α у цьому випадку може бути прийняте згідно з $\alpha_{max} = 21 \cdot \rho_g \cdot U'$.

В області поблизу кута будівлі, в якій відбувається стік повітряного потоку з навітряного боку, показник КТО визначається згідно з $\alpha_H^{пр} = 0,708 \cdot \alpha_{max}$.

Для віконних прорізів, розташованих в області течій, що рухаються вздовж поверхні стіни (це в основному області відривних течій) через поглиблення зовнішнього скління на величину $\delta = 0,10-0,12$ м очислення значень α_k може бути проведене як для відривної ділянки циркуляційної течії за уступом згідно із залежностями:

$$St = 0,115 \cdot 10^{-3} \frac{x}{\delta} \text{ при } 0 \leq \bar{x} \leq 7,$$

$$St = 1,5995e^{-0,0282 \frac{x}{\delta}} \text{ при } 7 < \bar{x} \leq 20,$$

в яких $St = \frac{\alpha_k}{c_p \cdot \rho \cdot U_{\text{відр}}}$ – критерій Стентона,

де $c_p = 1005$ Дж/(кг·К) теплоємність повітря в діапазоні зміни температури повітря $-30 \leq t \leq 50$ °С; $U_{\text{відр}}$ – швидкість повітря в зоні відриву потоку, ρ – щільність зовнішнього повітря.

Після перетворення ці залежності можуть бути подані у вигляді:

$$\text{при } 0 < (x/\delta) < 7 \quad \alpha_{\text{скл}} = 0,115 \cdot \rho \cdot U_{\text{відр}} \cdot \bar{x},$$

$$\text{при } 7 < (x/\delta) < 40 \quad \alpha_{\text{скл}} = (-6 \cdot 10^{-4} \bar{x}^4 + 0,03 \bar{x}^3 + 0,4 \cdot \bar{x}^2 - 53,9 \cdot \bar{x} + 1683,6) \cdot \rho \cdot U_{\text{відр}}$$

Середнє значення $\alpha_{\text{скл}}$ на поверхні скління для вікон стандартної довжини $l_{\text{вік}} = 1,3$ м, $((x/\delta) = 13)$ може бути прийняте $\bar{\alpha}_{\text{скл}} = 1,1 \cdot \rho \cdot U_{\text{відр}}$.

Коефіцієнт тепловіддачі на зовнішній поверхні віконного блока може бути прийнятий рівним (з урахуванням $U_{\text{відр}} = 1,41 U_0$) і має вигляд:

$$\alpha_{\text{скл}} = 1,51 \cdot \rho \cdot U_0.$$

Для навітряного боку приймається з урахуванням зміни за висотою:

$$\alpha_{\text{скл}} = 1,51 \cdot \rho \cdot U_0 \cdot \left(\frac{h}{H}\right)^{0,33},$$

де h – висота розташування вікон від рівня землі, H – висота, на якій замірюється швидкість U_0 .

Опір теплопередачі алюмінієвої віконної рами та її елементів визначається за схемою рисунку 3.

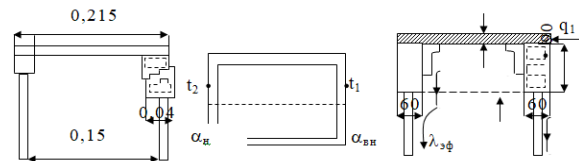


Рис. 3. Схема елементів віконного блока

Як відомо, $q = \frac{\lambda_{\text{эф}}}{1} \Delta t$, при цьому $t_2 = t_3$, теплопровідність алюмінієвої частини віконної рами $\lambda \approx 204 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$, а алюмінієвої із залізом $\lambda_1 = \lambda_2 \approx 159 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$.

Опір теплопередачі горизонтальної частини віконної рами дорівнює:

$$R_{\text{гор}} = \frac{1}{\alpha_{\text{вн}}} + \frac{l_1}{\lambda_1} + \frac{l_2}{\lambda_2} + \frac{1}{\alpha_{\text{зов}}},$$

де $l_1 = l_2 = 0,06$ м, $\lambda_{\text{эф}} \approx 0,243$, в результаті підстановки отримуємо:

$$R_{\text{гор}} = \frac{1}{\alpha_{\text{вн}}} + 0,6827.$$

Опір теплопередачі верхньої віконної рами визначимо через Gr_x за $l = 100$ м, тоді для $\Delta t = 25$ °С, $t_{\text{ср}} = 0$ °С, $\nu = 13,28 \cdot 10^{-6}$ м²/с.

$$Gr_x = 9,81 \cdot \frac{1}{273} \cdot \frac{25 \cdot 0,1^3}{(13,28 \cdot 10^{-6})^2} = 5,0939 \cdot 10^6.$$

Тоді $Gr_x \cdot Pr = 3,617 \cdot 10^6$, $\varepsilon = 0,4 \cdot (Gr \cdot Pr)^{0,2} = 8,198$, $\lambda_{\text{эф}} = 0,20004 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$.

Опір теплопередачі горизонтальної частини віконної рами становить:

$$R_{\text{гор}} = \frac{1}{\alpha_{\text{вн}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{зов}}} + 0,5008 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}.$$

Опір теплопередачі горизонтальної планки віконної рами визначаємо аналогічно, з урахуванням того, що $\Delta t = 10$ °С, $t_{\text{ср}} = 15$ °С, $\nu = 14,5 \cdot 10^{-6}$ м²/с,

$\lambda_{\text{в}} = 0,0254 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$. Кількість планок $Z = 2$.

Якщо довжина $L = 4,5$ м, висота $0,06$ м, тоді $F = 2 \cdot 4,5 \cdot 0,06 = 0,54$ м².

Вертикальні стійки різні:

- $Z = 2$, але $b = 0,06$, $L = 1,6$ м, тоді $F = 0,192 \text{ м}^2$;

- $Z = 1$, але $b = 0,15$, $L = 1,47$ м, тоді $F = 0,221 \text{ м}^2$;

- $Z = 2$, але $b = 0,09$, $L = 1,47$ м, тоді $F = 0,2646 \text{ м}^2$;

Опір теплопередачі вертикальної планки, якщо $\alpha_{\text{вн}} = 3,694 \frac{\text{м}^2\text{К}}{\text{Вт}}$,

$$R_{\text{верт}} = \frac{1}{\alpha_{\text{вн}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{зов}}} + 0,501 = \frac{1}{\alpha_{\text{зов}}} + 0,7171 \frac{\text{м}^2\text{К}}{\text{Вт}}.$$

Результати дослідження. Опір теплопередачі і відповідні тепловтрати визначаються для віконного блока, показаного на рисунку 4.

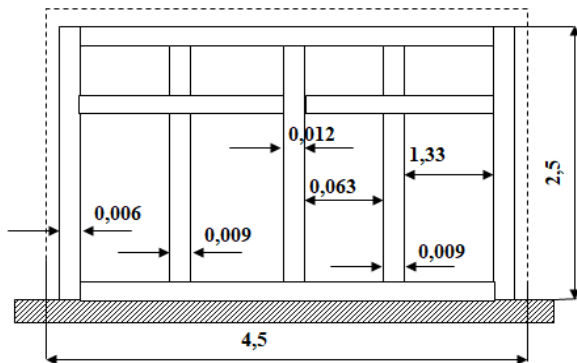


Рис. 4. Схема склопакета

Площа поверхні скла становить $F_{\text{ст}} = 4,08 \cdot 2,29 = 9,34 \text{ м}^2$, площа рами $F_{\text{гор}} = 0,857 \text{ м}^2$, $F_{\text{верт}} = 1,05 \text{ м}^2$.

Термічний опір теплопередачі вікна розраховується окремо за його елементами, при цьому при обчисленні тепловтрат через скло розраховуються окремо його конвективна та промениста складові, а саме конвективний потік становить:

$$R_{\text{ст}}^{\text{кон}} = \frac{1}{\alpha_{\text{зов}}} + 0,910,$$

$$q_{\text{конв}} = \frac{\Delta t}{R_{\text{ст}}^{\text{кон}}} = \frac{\Delta t}{\frac{1}{\alpha_{\text{зов}}} + 0,910}.$$

Променисту складову приймаємо згідно з вищенаведеними розрахунками. Конвективний потік через переплетення дорівнює:

$$R_{\text{гор}}^{\text{кон}} = \frac{1}{\alpha_{\text{зов}}} + 0,6827,$$

$$R_{\text{вер}}^{\text{кон}} = \frac{1}{\alpha_{\text{зов}}} + 0,7171,$$

тоді тепловтрати складають:

$$Q_{\text{гор}}^{\text{кон}} = \frac{37}{\frac{1}{\alpha_{\text{зов}}} + 0,6827},$$

$$Q_{\text{вер}}^{\text{кон}} = \frac{45,15}{\frac{1}{\alpha_{\text{зов}}} + 0,7171}.$$

Результати розрахунку тепловтрат наведені в таблиці.

Таблиця

Тепловтрати через віконні отвори

№	$F_{\text{гор}}, \text{м}^2$	$F_{\text{пр}}, \text{м}^2$	$F_{\text{верт}}, \text{м}^2$	$Q_{\text{л}}, \text{Вт}$	$Q_{\text{к}}, \text{Вт}$	$Q_{\text{гор}}, \text{Вт}$	$Q_{\text{верт}}, \text{Вт}$
Вікно № 1	0,54		0,42	1 597	429,5 480 (на 1 вікно 2-го поверху вестибюля)	29	21
Вікно № 2	0,54	10,8	0,42	1 220	328	29	21
Вхідні двері		10,58	3,015	1 195 $Q_{\text{л}}^{\text{ex}} = 340,7$	363	29	21

Як видно з таблиці, промениста складова теплового потоку віконного блока 2–3 рази конвективну складову. Для зниження тепловтрат необхідно знизити інтенсивність променистого теплообміну, оскільки це один з найбільш ефективних способів підвищення опору теплопередачі вікон.

Отримані результати свідчать про правильність запропонованого поелементно-го методу розрахунку опору теплопередачі для вибору енергоефективних світлопрозорих огороджувальних конструкцій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ Б В.2.6-23:2009. Блоки віконні та дверні. Загальні технічні умови. Київ : Мінрегіон України, 2009.
2. ДБН Б В.2.6-31:2016. Теплова ізоляція будівель. Київ : Мінрегіон України, 2016, 31с.
3. Маляренко В. А., Редько А. Ф., Чайка Ю. И., Поволочко В. Б. Техническая теплофизика ограждающих конструкций и сооружений. Под ред. проф. Маляренко В. А. Харьков : Рубикон, 2000.
4. Дешко В. И., Шовкалюк М. М., Ленкин А. В. Моделирование теплового состояния помещений при измерении режимов параметров отопления. *Промышленная теплотехника*. Т. 31, № 6. 2009. С. 75–80.
5. Гагарин В. Г. Макроэкономические аспекты обоснования энергосберегающих мероприятий при повышении теплозащиты ограждающих конструкций зданий. *Строительные материалы*. 2010. № 3. С. 8–16.
6. Тарасов А. Е. Новые технологии. Энергия стекла. *Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века*. 2012. № 3 (158). С. 39–41.
7. Савин В. К., Дворцов В. Н. Инженерный метод расчета теплопередачи через световые проемы. *Исследования по строительной теплофизике* : науч. тр. Москва : НИИСФ, 1984. С. 22–29.
8. Дроздов В. А., Савин В. К., Александров Ю. П. Теплообмен в светопрозрачных ограждениях. Москва : Стройиздат, 1979. 306 с.
9. Мурадян М., Саркисов М., Спиридонов А., Морозов А. Некоторые тенденции развития производства современных стеклопакетов. *Окна и двери*. 2001. № 3 (48). С. 32–36.
10. Фаренюк Е. Г., Калюх Ю. И. К анализу расчетных методов для определения теплотехнических характеристик светопрозрачных конструкций. *Архитектура и строительство в Азербайджане*. 2014. № 3. С. 18–24.
11. Подковырина К. А. Светопрозрачные ограждающие конструкции (методы снижения тепловых потерь и мировой опыт применения). *Архитектура и дизайн*. 2018. № 1. С. 46–51.

REFERENCES

1. DSTU B V.2.6-23:2009. *Bloky vikonni ta dverni. Zahal'ni tekhnichni umovy* [DSTU B V.2.6-23:2009. Window and door blocks. General technical conditions]. Kyiv : Ministry of Regional Development of Ukraine, 2009, 36 p. (in Ukrainian).
2. *DBN B V.2.6-31:2016. Teplova izolyatsiya budivel'* [DBN B V.2.6-31:2016. Thermal insulation of buildings]. Kyiv : Ministry of Regions of Ukraine, 2016, 31 p. (in Ukrainian).
3. Malyarenko V.A., Redko A.F., Chaika Yu.I. and Povolochko V.B. *Tekhnicheskaya teplofizi ka ogradhdayushchikh konstruksiy i sooruzheniy* [Technical thermal physics of enclosing structures and structures]. Ed. Prof. Malyarenko V.A. Kharkiv : Rubikon Publ., 2000. (in Russian).
4. Deshko V.I., Shovkalyuk M.M. and Lenkin A.V. *Modelirovaniye teplovogo sostoyaniya pomeshcheniy pri izmerenii rezhimov parametrov otopleniya* [Modeling of the thermal state of premises when measuring heating parameters]. *Promyshlennaya teplotekhnika* [Industrial Heating Engineering]. Vol. 31, no. 6, 2009, pp. 75–80. (in Russian).
5. Gagarin V.G. *Makroekonomicheskiye aspekty obosnovaniya energosberegayushchikh meropriyatiy pri povyshenii teplozashchity ogradhdayushchikh konstruksiy zdaniy* [Macroeconomic aspects of substantiation of energy-saving measures when increasing the thermal protection of building envelopes]. *Stroitel'nyye materialy* [Construction Materials]. 2010, no. 3, pp. 8–16. (in Russian).
6. Tarasov A.E. *Novyye tekhnologii. Energiya stekla* [New technologies. Energy of glass]. *Stroitel'nyye materialy, oborudovaniye, tekhnologii XXI veka* [Construction Materials, Equipment, Technologies of the 21st Century]. 2012, no. 3 (158), pp. 39–41. (in Russian).
7. Savin V.K. and Dvortsov V.N. *Inzhenernyy metod rascheta teploperedachi cherez svetovyye proyemy* [Engineering method for calculating heat transfer through light openings]. *Issledovaniya po stroitel'noy teplofizike : nauch. tr.* [Research on Building Thermal Physics : scient. works]. Moscow : NIISF Publ., 1984, pp. 22–29. (in Russian).
8. Drozdov V.A., Savin V.K. and Aleksandrov Yu.P. *Teploobmen v svetoprozrachnykh ogradhdeniyakh* [Heat transfer in translucent fences]. Moscow : Stroyizdat Publ., 1979, 306 p. (in Russian).
9. Muradyan M., Sarkisov M., Spiridonov A. and Morozov A. *Nekotoryye tendentsii razvitiya proizvodstva sovremennykh steklopaketov* [Some trends in the development of production of modern double-glazed windows]. *Okna i dveri* [Windows and Doors]. 2001, no. 3 (48), pp. 32–36. (in Ukrainian).
10. Farenjuk E.G. and Kalyukh Yu.I. *K analizu raschetnykh metodov dlya opredeleniya teplotekhnicheskikh kharakteristik svetoprozrachnykh konstruksiy* [On the analysis of calculation methods for determining the thermal characteristics of translucent structures]. *Arkhitektura i stroitel'stvo v Azerbaydzhanе* [Architecture and Civil Engineering in Azerbaijan]. 2014, no. 3, pp. 18–24. (in Russian).
11. Podkovyrina K.A. *Svetoprozrachnyye ogradhdayushchiye konstruksii (metody snizheniya teplovykh poter' i mirovoy opyt primeneniya)* [Translucent enclosing structures (methods for reducing heat losses and world experience in application)]. *Arkhitektura i dizayn* [Architecture and Design]. 2018, no. 1, pp. 46–51. (in Russian).

Надійшла до редакції: 16.09.2023.