

УДК 691.31.536.21

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЇ ВЕРХНЬОЇ ЧАСТИНИ ВІКОННИХ РАМ БУДІВЕЛЬ

В. І. Риндюк, А. М. Власенко, С. В. Риндюк

Отримано методика розв'язання двовимірної багатослоєвої задачі теплопровідності, яка характеризує запропоновану технологію утеплення верхньої частини віконної рами.

Получена методика решения двухмерной многослойной задачи теплопроводности, которая характеризует предложенную технологию утепления верхней части оконной рамы.

Methodology of decision of two-dimensional multi-layered task of heat conductivity which characterizes the offered technology of warming of overhead part of window frame is got.

Вступ

Як в Україні, так і в нашому університеті є проблема зниження тепловтрат крізь захисні конструкції навчальних корпусів із забезпеченням архітектурно-естетичної виразності фасадів. Ефективним є рішення, за допомогою якого на фасаді будинку створюється суцільна теплоізоляційна оболонка з органічної (пінополістирольної), так і мінеральної (базальтової) плити. Але це потребує великих затрат. Роботи, пов'язані з улаштуванням зовнішньої скріпленої теплоізоляції стіни, потребують установа засобів підмоцнення (універсальні інвентарні трубчасті риштування)

Постановка проблеми (початкові передумови та припущення)

Таким чином теоретичний аналіз і результати обстежень, проведених за допомогою сучасних методів і приладів, дають можливість ефективно використовувати точковий метод утеплення. За допомогою тепловізора направлено під кутом (приблизно 45 градусів) визначаються найбільш вразливі місця втрат тепла захисних конструкцій (рис. 1, а,б).

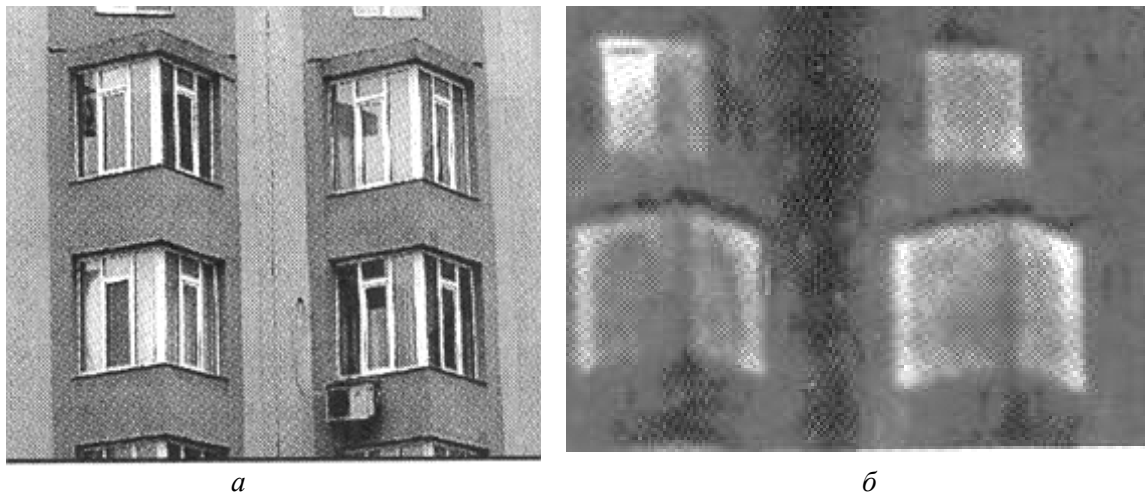


Рис. 1. Фрагмент фасаду з «містками холоду»
а – зовнішній вигляд; б- термограма

На передньому плані стіни (рис. 1, б) зображені теплові потоки біля віконної рами, які „рухаються” по найкоротшому шляху (світлі місця по периметру віконної рами). Одним з таких місць є примикання віконної рами до стіни та до перемички і підвіконника.

Отже, постає мета дослідження – оцінити можливість утеплення не всього будинку зовні, а визначити ефективність місцевого (точкового) утеплення більш вразливих місць. Для теплоізоляції простінка достатньо, не виходячи з будинку, утеплити відкоси віконного прорізу.

В роботі [1] розглянуто питання моделювання процесу теплопровідності віконної рами з утепленням в контактi зі стіною. Не менш вразливим місцем з точки зору теплових затрат є перемичка. Теплові потоки біля віконної рами та перемички зображені на рис. 2, які „рухаються” по сталевій арматурі плити перекриття, потім по залізобетонній перемичці, не зустрічаючи ніяких перешкод. Для збереження тепла необхідно це місце теплозахистити.

Розглянемо моделювання процесу теплопровідності віконної рами в верхній її частині.

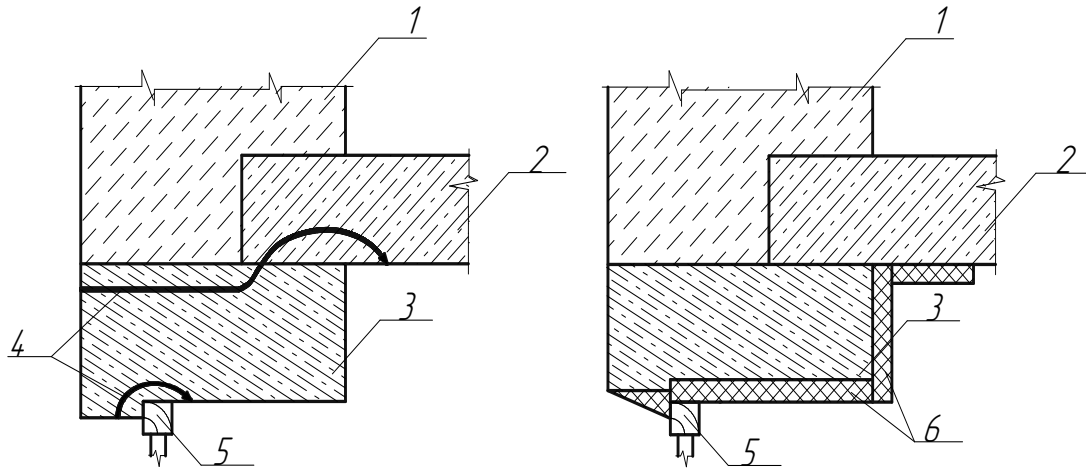


Рис. 2. Утеплення віконної пройма біля перемички:

a – переміщення «містків холоду» до утеплення; *б* – схема утеплення вікна
 1 – цегляна кладка; 2 – плита перекриття; 3 – перемичка; 4 – «містки холоду»; 5 – віконна рама; 6 – теплоізоляційні плити.

Постановка задачі, визначальні співвідношення

Розглянемо розповсюдження температури в поперечному перерізі (рис. 3).

Для простоти роздумів, контакт рами з теплоізоляційним матеріалом та складових поперечного перерізу будемо вважати ідеальним. Отже, розглядається двовимірна початково-крайова задача неоднорідного середовища, яка визначається так:

Нехай в області $Q = \Omega \times (0, T)$ ($\Omega = \Omega_A \cup \Omega_B \cup \Omega_C \cup \Omega_D \cup \Omega_E \cup \Omega_F$).

де Ω_A, Ω_E – теплоізоляційний матеріал,

Ω_B – перемичка, Ω_C – цегляна кладка, Ω_D – частина панелі,

Ω_F – рама без скла, яке замінимо крайовими умовами μ_8, μ_9 і μ_{10}), визначені двовимірні рівняння теплопровідності [4].

$$\frac{\partial^2 U_K}{\partial t} = a_K \left(\frac{\partial^2 U_K}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U_K}{\partial y^2} \right), \quad k = \overline{1,6}. \quad (1)$$

$k = 1$: $0 \leq x \leq d_{11} + d_{10} + d_9, 0 \leq y \leq d_1$ – область А;

$k = 2$: $0 \leq x \leq d_{11} + d_{10} + d_9, d_1 \leq y \leq d_2$ – область В;

$k = 3$: $0 \leq x < d_4, d_1 + d_2 \leq y < d_1 + d_2 + d_3$ – область С;

$k = 4$: $d_4 \leq x \leq d_4 + d_5, d_1 + d_2 \leq y \leq d_1 + d_2 + d_3$ – область D;

$k = 5$: $d_{11} + d_{10} + d_9 \leq x \leq d_{11} + d_{10} + d_9 + d_8, 0 \leq y \leq d_2 + d_1$ – область Е;

$k = 6$: $d_{11} \leq x \leq d_{11} + d_{10}, 0 \leq y < d_{12}$ – область F.

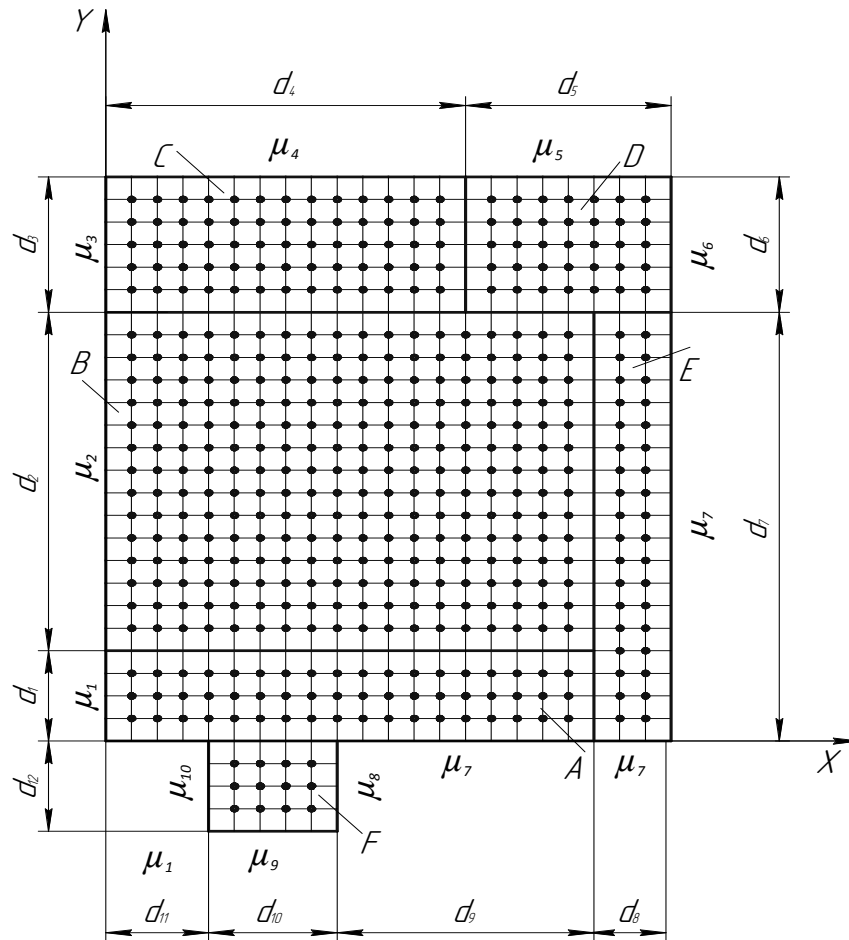


Рис. 3. Розрахункова схема теплопровідності

Початкові умови :

$$U_k(x, y, 0) = \varphi_k(x, y), \quad k = \overline{1, 6}. \quad (2)$$

Граничні умови:

$$\begin{aligned}
 U_1(0, y, t) &= \mu_1(t), \quad 0 \leq y \leq d_1; \quad U_1(x, 0, t) = \mu_1(t), \quad 0 \leq x \leq d_{11}; \\
 U_1(x, 0, t) &= \mu_7(t), \quad d_{11} + d_{10} \leq x \leq d_{11} + d_{10} + d_9; \\
 U_2(0, y, t) &= \mu_2(t), \quad d_1 \leq y \leq d_1 + d_2; \\
 U_3(0, y, t) &= \mu_3(t), \quad d_1 + d_2 \leq y \leq d_1 + d_2 + d_3; \\
 U_3(x, y, t) &= \mu_4(t), \quad 0 \leq x \leq d_4, \quad y = d_1 + d_2 + d_3; \\
 U_4(x, y, t) &= \mu_5(t), \quad d_4 \leq x \leq d_4 + d_5, \quad y = d_1 + d_2 + d_3; \\
 U_4(x, y, t) &= \mu_6(t), \quad x = d_{11} + d_{10} + d_9 + d_8, \quad d_7 \leq y \leq d_1 + d_2 + d_3; \\
 U_5(x, y, t) &= \mu_7(t), \quad x = d_{11} + d_{10} + d_9 + d_8, \quad 0 \leq y \leq d_7; \\
 U_5(x, 0, t) &= \mu_7(t), \quad d_{11} + d_{10} + d_9 \leq x \leq d_{11} + d_{10} + d_9 + d_8; \\
 U_6(x, y, t) &= \mu_8(t), \quad x = d_{11} + d_{10}, \quad 0 \geq y \geq d_{12}; \\
 U_6(x, y, t) &= \mu_9(t), \quad d_{11} \leq x \leq d_{11} + d_{10}, \quad y = d_{12}; \\
 U_6(x, y, t) &= \mu_{10}(t), \quad x = d_{11}, \quad 0 \geq y \geq d_{12}.
 \end{aligned} \quad (3)$$

Зауважимо, що граничні умови визначаються за рахунок температурного режиму зовнішнього та внутрішнього середовища.

Умови спряження:

$$\begin{aligned}
 U_1(x,0,t) &= U_6(x,0,t), \quad d_{11} \leq x \leq d_{11} + d_{10}; \\
 U_1(x,d_1,t) &= U_2(x,d_1,t), \quad 0 \leq x \leq d_{11} + d_{10} + d_9; \\
 U_2(x,d_1 + d_2,t) &= U_3(x,d_1 + d_2,t), \quad 0 \leq x \leq d_4; \\
 U_3(x,d_1 + d_2,t) &= U_4(x,d_1 + d_2,t), \quad d_4 \leq x \leq d_4 + d_5; \\
 U_2(x,d_1 + d_2,t) &= U_4(x,d_1 + d_2,t), \quad d_4 \leq x \leq d_5 - d_8; \\
 U_4(x,d_1 + d_2,t) &= U_5(x,d_1 + d_2,t), \quad d_{11} + d_{10} + d_9 \leq x \leq d_{11} + d_{10} + d_9 + d_8; \\
 U_2(d_{11} + d_{10} + d_9, y,t) &= U_5(d_{11} + d_{10} + d_9, y,t), \quad d_1 \leq y \leq d_7; \\
 U_1(d_{11} + d_{10} + d_9, y,t) &= U_5(d_{11} + d_{10} + d_9, y,t), \quad 0 \leq y \leq d_1;
 \end{aligned} \tag{4}$$

Методика розв'язання задачі

Для простоти розсудів будемо вважати, що товщина рами $d_{10} = r \cdot h_{Ax}$, $r = \overline{1.R}$ – кількість вузлових точок в області F по осі OX , а товщина утеплювального матеріалу $d_1 = p \cdot h_{Ay}$, $p = \overline{1.P}$, де $h_{Ay} = \frac{d_1}{k+1}$ – крок розбиття області Ω_A по осі OY (рис. 3), k – кількість вузлових точок відносно осі OY .

По осі OX виберемо сітку так, щоб крок розбиття областей Ω_A , Ω_B , Ω_C , Ω_D і Ω_E був рівномірним, тобто $h_{Ax} = h_{Bx} = h_{Cx} = h_{Dx} = h_{Ex} = \frac{d_8}{m+1}$, де m – кількість вузлових точок в області E . Нехай за рахунок вибору кроку h_{Ax} області Ω_A , Ω_B , Ω_C і Ω_D мають вздовж осі OX відповідно n, l, o і s вузлів рівномірної сітки ($n = \overline{1, N}$; $l = \overline{1, L}$; $o = \overline{1, O}$; $s = \overline{1, S}$).

По осі OY області Ω_B , Ω_C , Ω_D і Ω_E мають відповідно b, c, d і e вузлів рівномірної сітки ($b = \overline{1, B}$; $c = \overline{1, C}$; $d = \overline{1, D}$; $e = \overline{1, E}$).

Розв'язок задачі в околі кожного вузла областей будемо шукати у вигляді квадратичного поліному:

$$P_A(x, x_n, y, y_k, t) = \sum_{i,j=0}^2 = A_{ij}^{nk}(t)(x-x_n)^i(y-y_n)^j;$$

$$P_A(x, x_l, y, y_b, t) = \sum_{i,j=0}^2 = B_{ij}^{lb}(t)(x-x_l)^i(y-y_b)^j;$$

$$P_C(x, x_o, y, y_c, t) = \sum_{i,j=0}^2 = B_{ij}^{oc}(t)(x-x_o)^i(y-y_c)^j;$$

$$P_D(x, x_s, y, y_d, t) = \sum_{i,j=0}^2 = D_{ij}^{sd}(t)(x-x_s)^i(y-y_d)^j;$$

$$P_E(x, x_m, y, y_e, t) = \sum_{i,j=0}^2 = E_{ij}^{me}(t)(x-x_m)^i(y-y_e)^j;$$

$$P_F(x, x_g, y, y_v, t) = \sum_{i,j=0}^2 = A_{ij}^{nk}(t)(x-x_g)^i(y-y_v)^j.$$

Використовуючи методику, яку застосовано в роботі [2, 3] отримуємо відповідно систему диференціальних рівнянь відносно значень температури у кожному вузлі усіх областей A_{oo}^{nk} , B_{oo}^{lb} , C_{oo}^{oc} , D_{oo}^{sd} , E_{oo}^{ml} і F_{oo}^{gv} . Змінюючи межі інтегрування основних диференціальних рівнянь отримуємо розв'язок згідно з різними різницевиими схемами, які дозволяють отримати достовірні результати для отримання вибору утеплювальних матеріалів та конструкції прорізів віконних рам.

Висновки

- Створена математична модель для розрахунку теплопровідності утеплення віконного пройому.
- Запропонована технологія утеплення верхньої частини віконної рами та методика розрахунку температурних полів кожної області конструкції, яка дозволить вибрати конструктивні параметри утеплення.

Список літератури

1. Риндюк В. І. Моделювання процесу теплопровідності віконної рами з утепленням / В. І. Риндюк, А. М. Власенко, С. В. Риндюк // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. Науково-технічний збірник. – 2009. – №2. – С. 101-105.
2. Риндюк В. І. Методика теплотехнічного розрахунку багат шарового середовища / В. І. Риндюк, Т. В. Прилипко // Вісник ВПІ. – 2003. – №3. – С. 35-38.
3. Риндюк В. І. Моделювання теплопровідності двовимірних неоднорідних багат шарових середовищ / В. І. Риндюк, Т.О. Міщук, С.В. Риндюк // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. Науково-технічний збірник. – 2006. – №3. – С. 105-111.
4. Ликов А. В. Теория тепло- и масопереноса / А. В. Ликов, Ю. А. Михайлов // - М.: - Л.: Госенергоиздат, 1963. – 536 с.
5. Рындюк В. И. Применение улучшенного интегрального метода прямых к решению задач о теплопроводности с кусочно-постоянным коэффициентом / В. И. Рындюк // Ред. Инженерно-физический журнал. – Минск, 1989. – 9 с. деп. в ВИНТИ 30.02.89, №2069-В.

Риндюк Володимир Іванович – к.ф.-м.н., доцент кафедри теплогазопостачання і вентиляції Вінницького національного технічного університету.

Власенко Анатолій Миколайович – к.т.н., доцент кафедри теплогазопостачання і вентиляції Вінницького національного технічного університету.

Риндюк Світлана Володимирівна – магістрантка Вінницького національного технічного університету.