

ЕКОНОМІЧНО ДОЦІЛЬНИЙ ОПІР ТЕПЛОПЕРЕДАЧІ ЗОВНІШНІХ ОГОРОДЖУЮЧИХ КОНСТРУКЦІЙ БУДИНКІВ

В теплотехнічних розрахунках зовнішніх огорожень будинків часто виникають деякі ускладнення при використанні формул, рекомендованих СНиП II-3-79** [1], для визначення економічно доцільного опору теплопередачі. Необхідний мінімально допустимий опір теплопередачі $R_0^{\text{необх.}}$ обумовлений, як відомо, санітарно-гігієнічними обмеженнями, які не допускають зниження температури $t_{в.п}$ на внутрішній поверхні огороження. Нижче допустимої $t_{в.п}^{\text{доп.}}$ ця температура повинна бути вищою температури точки роси $t_{т.р}$ внутрішнього повітря приміщення за умови недопустимості конденсації вологи на внутрішніх поверхнях. Будівельними нормами встановлені значення температур $t_{в}$ в приміщеннях різного призначення та нормативні перепади температур $t_{в} - t_{в.п} = \Delta t^{\text{н}}$.

Виходячи з цього, необхідний опір теплопередачі $R_0^{\text{необх.}}$ огороження визначають, у відповідності з будівельними нормами, за формулою: $R_0^{\text{необх.}} = \frac{t_{в} - t_{з}}{\alpha_{в} \cdot \Delta t^{\text{н}}}$, а огорожуючу конструкцію вибирають за умови, щоб її опір теплопередачі R_0 був не нижчим необхідного, $R_0 > R_0^{\text{необх.}}$. Для підвищення рівня теплового захисту будинків та для спрощення економічних розрахунків до величини $R_0^{\text{необх.}}$ вводиться коефіцієнт $r_{\text{еф.}}$, значення якого знаходиться в межах 1,1...2,0.

Мінбудархітектури України своїм наказом № 247 від 27.12.93 р. з метою зменшення витрат паливно-енергетичних ресурсів ввело в дію нові нормативні значення опору теплопередачі $R_0^{\text{н}}$ огорожуючих конструкцій житлових та цивільних будинків. Відповідні зміни внесені [2] до діючих норм [1]. Нормативні значення $R_0^{\text{н}}$ встановлені для кожної з чотирьох температурних зон України в залежності від конструкції зовнішнього огороження будинку.

Застосування сучасних ефективних теплоізоляційних матеріалів дає можливість проектувати більш утеплені зовнішні огороження будинків, ніж це необхідно за санітарно-гігієнічними вимогами і конструювати огороження за умови $R_0 > R_0^{\text{ек}}$. Але задача визначення економічно доцільного опору теплопередачі $R_0^{\text{ек}}$ досить складна і вирішується лише з врахуванням деяких спрощуючих передумов [3].

При даній вартості теплової енергії та теплоізоляційних матеріалів економічно доцільний опір теплопередачі огороження буде відповідати мінімуму приведених витрат.

Якщо при визначенні капітальних витрат K на спорудження будинку обмежитись лише вартістю огорожуючих конструкцій, а експлуатаційні витрати E прийняти рівними вартості теплоти Q_T , яка втрачається за рік через 1 м^2 огороження, то можемо записати

$$K = K_k + \delta_{i3} \cdot B_{i3}, \quad (1)$$

де K_k — вартість будівельних конструкцій без теплоізоляційного шару, Грн/м²; δ_{i3} — товщина теплової ізоляції, м; B_{i3} — вартість матеріалу теплоізоляції, Грн/м³. Вартість вітчизняних теплоізоляційних матеріалів (пінопласт, пакети з мінераловатних плит, гравій керамзитовий, мати будівельні та ін.) $B_{i3} = 80 \dots 160 \text{ Грн/м}^3$.

$$E = Q_T \cdot B_T = \frac{(t_B - t_{0п}) Z_{0п} \cdot 24 \cdot 3600}{R_k + \frac{\delta_{i3}}{\lambda_{i3}}} \cdot B_T, \quad (2)$$

де B_T — вартість теплової енергії, Грн/ГДж, $B_T = 15 \dots 20 \text{ Грн/ГДж}$; R_k — термічний опір огороження без шару теплоізоляції, м²°С/Вт;

$$R_k = \frac{1}{\alpha_B} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_3},$$

$t_B, t_{0п}$ — розрахункові температури внутрішнього та зовнішнього повітря за опалювальний період, °С; $Z_{0п}$ — тривалість опалювального періоду, дб; λ_{i3} — коефіцієнт теплопровідності матеріалу теплоізоляційного шару, Вт/м°С.

Приведені витрати визначаються за формулою:

$$ПВ = K + E \cdot \eta = K_k + \delta_{i3} \cdot B_{i3} + \frac{(t_B - t_{0п}) Z_{0п} \cdot 24 \cdot 3600}{R_k + \frac{\delta_{i3}}{\lambda_{i3}}} \cdot \eta \cdot B_T, \quad (3)$$

де $\eta = \sum_{t=1}^T \frac{1}{(1+d)^t}$ — коефіцієнт приведення різночасових експлуатаційних витрат за T років; d — дисконтна ставка приймається на рівні банківського проценту ($d = 0,3$); T — нормативний термін окупності додаткових капітальних вкладень.

Найдемо мінімум приведених витрат.

$$\frac{\partial \text{ПВ}}{\partial \delta_{i3}} = B_{i3} - \frac{0,864 \cdot 10^{-4} (t_B - t_{0.п}) Z_{0.п} \cdot B_T \cdot \eta}{\lambda_{i3} \left(R_K + \frac{\delta_{i3}}{\lambda_{i3}} \right)^2} = 0. \quad (4)$$

Позначимо $R_K + \frac{\delta_{i3}}{\lambda_{i3}} = R_0^{\text{ЕК}}$. Тоді з рівняння (4) одержимо:

$$R_0^{\text{ЕК}} = \sqrt{\frac{0,864 \cdot 10^{-4} (t_B - t_{0.п}) Z_{0.п} \cdot B_T \cdot \eta}{\lambda_{i3} \cdot B_{i3}}}. \quad (5)$$

Якщо прийняти термін окупності $T = 8$ років, то формулу (5) можна записати так:

$$R_0^{\text{ЕК}} = 1,6 \cdot 10^{-2} \sqrt{\frac{(t_B - t_{0.п}) Z_{0.п} \cdot B_T}{\lambda_{i3} \cdot B_{i3}}}. \quad (6)$$

Розрахункова температура зовнішнього повітря за опалювальний період $t_{0.п}$ в першій температурній зоні України має значення від $-2,5$ °С (м. Суми) до $-0,5$ °С (м. Рівне), в другій зоні від $-1,0$ °С (м. Дніпропетровськ) до $+0,3$ °С (м. Львів), в третій зоні від $+0,4$ °С (м. Миколаїв) до $+1,9$ °С (м. Сімферополь) і в четвертій зоні від 0 °С (м. Севастополь) до $+5,2$ °С (м. Ялта) [4]. Відповідно змінюються і тривалості опалювального сезону в різних населених пунктах України. Не впливаючи на результати розрахунків більше, ніж на ± 2 %, можна прийняти середні значення розрахункових величин $t_{0.п}$ і $Z_{0.п}$ для кожної температурної зони.

Тоді, прийнявши $t_B = 18$ °С, запишемо формули розрахунку $R_0^{\text{ЕК}}$ для кожної з чотирьох температурних зон України (табл. 1).

Формули для визначення економічно доцільного опору теплопередачі зовнішніх огорожень

Значення	Температурна зона			
	I	II	III	IV
$t_{0,н}, ^\circ\text{C}$	-1	0	+1	+3
$Z_{0,н}$, діб	188	178	163	139
$R_0^{ек}$, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$	$0,95 \sqrt{\frac{B_T}{\lambda_{из} \cdot B_{из}}}$	$0,9 \sqrt{\frac{B_T}{\lambda_{из} \cdot B_{из}}}$	$0,84 \sqrt{\frac{B_T}{\lambda_{из} \cdot B_{из}}}$	$0,73 \sqrt{\frac{B_T}{\lambda_{из} \cdot B_{из}}}$

Деякі порівняння $R_0^{ек}$ з нормативними значеннями $R_0^н$ та з $R_0^{необх.}$ наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Опір теплопередачі, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$, огорожуючих конструкцій будинку

Огорожуюча конструкція	Температурна зона			
	I	II	III	IV
1. Зовнішня стіна з повнотілої цегли з утеплювачем				
Необхідний опір теплопередачі $R_0^{необх}$ [1]	0,90	0,85	0,75	0,65
Нормативний опір теплопередачі $R_0^н$ [2]	2,1	2,0	1,8	1,6
Економічно доцільний опір теплопередачі $R_0^{ек}$:				
а) утеплювач – пінопласт ($B_{из} = 160 \text{ Грн}/\text{м}^3$);	1,4	1,3	1,2	1,1
б) утеплювач – мінеральна вата ($B_{из} = 126 \text{ Грн}/\text{м}^3$)	1,6	1,5	1,4	1,2
2. Перекриття даху				
Необхідний опір теплопередачі $R_0^{необх}$ [1]	1,1	1,0	0,9	0,7
Нормативний опір теплопередачі $R_0^н$ [2]	2,7	2,5	2,4	2,0
Економічно доцільний опір теплопередачі $R_0^{ек}$:				
а) утеплювач-гравій керамзитовий ($B_{из} = 120 \text{ Грн}/\text{м}^3$);	1,6	1,5	1,4	1,2
б) утеплювач – мати будівельні МС-50 ($B_{из} = 82 \text{ Грн}/\text{м}^3$)	1,9	1,8	1,7	1,5

Розрахунки за наведеними формулами показують, що із зростанням вартості теплової енергії термічний опір огорожуючих конструкцій необхідно збільшувати, а із збільшенням ціни теплоізоляційних матеріалів економічно вигідніше дещо збільшити експлуатаційні витрати, тобто зменшити товщину шару теплоізоляції в огорожуючій конструкції. В кожному разі економічно доцільний опір теплопередачі R_0^{ex} більший, ніж розрахований за санітарно-гігієнічними вимогами, але менший за нормативний R_0^H .

Використана література

1. СНиП II-3-79**. Строительная теплотехника: — М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. — 32 с.
2. Изменение № 1 к СНиП II-3-79** Строительная теплотехника // Будівництво України. — К.: 1996. — № 6.
3. Богословский В. Н. Строительная теплофизика (теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха).— М.: Высшая школа, 1982. — 415 с.
4. СНиП 2.01.01-82. Строительная климатология и геофизика: — М.: Госстрой СССР, 1983. — 136 с.