

*В.А. Пашинський, д.т.н., професор, С.О. Карпушин, к.т.н., доцент,
Карюк А.М., к.т.н., доцент
Центральноукраїнський національний технічний університет
Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка*

ДОЦІЛЬНІ ЗНАЧЕННЯ ОПОРУ ТЕПЛОПЕРЕДАЧІ ОГОРОДЖЕНЬ ЦИВІЛЬНИХ БУДІВЕЛЬ В УМОВАХ УКРАЇНИ

Розроблена методика визначення доцільного опору теплопередачі огорожувальних конструкцій за критерієм мінімуму річних приведених витрат на опалення. Для кліматичних умов двох температурних зон України отримані та виражені аналітично залежності доцільного опору теплопередачі стін, суміщених покрівель, горищних перекриттів та перекриттів над підвалами від вартості теплової енергії. Отримані результати вказують на необхідність збільшення опору теплопередачі в умовах зростання вартості енергоносіїв.

Ключові слова: огорожувальні конструкції, опір теплопередачі, енергозбереження.

Разработана методика определения целесообразного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций по критерию минимума годовых приведенных затрат на отопление. Для климатических условий двух температурных зон Украины получены и выражены аналитически зависимости целесообразного сопротивления теплопередаче стен, совмещенных кровель, чердачных перекрытий и перекрытий над подвалами от стоимости тепловой энергии. Полученные результаты указывают на необходимость увеличения сопротивления теплопередаче в условиях роста стоимости энергоносителей.

Ключевые слова: ограждающие конструкции, сопротивление теплопередаче, энергосбережение.

The method of determining the appropriate heat transfer resistance of walling for the criteria of minimum annual heating costs are developed. For the climatic conditions of the two temperature zones of Ukraine received and analytically described dependencies of reasonable heat transfer resistances of the walls, combined roofs, attic floors and overlapping of the basements from the cost of thermal energy. Obtained results pointing to needs of increasing heat transfer resistance in terms of increasing energy costs.

Keywords: walling, heat transfer resistance, energy saving.

Постановка проблеми. Огороджувальні конструкції цивільних будівель проектуються за мінімально необхідним опором теплопередачі, який встановлено чинними нормами проектування. Зростання вартості теплової енергії, яке відбувається останнім часом, призводить до збільшення витрат на опалення, що можна компенсувати зменшенням втрат тепла за рахунок поліпшення теплових характеристик огорожень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Огороджувальні конструкції будівель в Україні повинні відповідати вимогам норм [1], котрі встановлюють мінімально необхідні значення опору теплопередачі залежно від виду конструкції та температурної зони, у якій споруджується будівля. Нова редакція цих норм, яка набула чинності з травня 2017 року, не містить принципів змін в частині мінімально необхідного опору теплопередачі огорожень. В огляді [2] показано, що встановлені нормами [1] значення опору теплопередачі загалом близькі до норм багатьох європейських країн (Польща, Словачія, Литва, Німеччина та інші), але в країнах Північної Європи (Швеція, Фінляндія) встановлені значно вищі вимоги до теплових характеристик. Директивою ЄС [3] від 2010 року заплановане поетапне зростання теплових характеристик огорожень на період до 2021 року. У роботі [4] запропоновано визначати оптимальний опір теплопередачі за критерієм мінімуму приведених витрат на опалення. На прикладі стін житлових будівель доведена необхідність збільшення опору теплопередачі при зростанні вартості теплової енергії.

Завданням даної роботи є виявлення доцільного опору теплопередачі непрозорих огороджувальних конструкцій цивільних будівель, який забезпечує мінімум річних приведених витрат на опалення в умовах України, та його залежностей від вартості теплової енергії.

Об'єктами дослідження є огороджувальні конструкції цивільних будівель:

- зовнішня несуча стіна з керамічної цегли товщиною 510 мм, внутрішньої штукатурки товщиною 20 мм, фасадної теплоізоляції з пінополістиролу та зовнішнього опоряджувального шару на цементній основі;

- суміщена покрівля із залізобетонних пустотних плит, шару ніздрюватого бетону марки D 400 та рулонної гідроізоляції з руберойду;
- орищне перекриття із залізобетонних пустотних плит, стяжки товщиною 20 мм та мінераловатних плит;
- перекриття над неопалюваним підвалом із залізобетонних пустотних плит, стяжки товщиною 20 мм, лінолеуму на теплоізоляційній основі, екструзійних плит з пінополістиролу та зовнішнього захисного шару.

Різні види теплоізоляційних матеріалів вибрані відповідно до їх звичного використання в конструкціях, а також з метою аналізу різних співвідношень теплопровідності та вартості цих матеріалів. Теплові характеристики описаних конструкцій вказані в таблиці 1, де наведене мінімально допустиме значення опору теплопередачі $R_{0,min}$ для обох температурних зон України за [1] та значення опору теплопередачі R_H несучої частини огорожувальної конструкції (без шару теплоізоляції та зовнішнього оздоблювального шару) в $m^2 \times K/Wt$.

Таблиця 1 – Теплові характеристики огорожувальних конструкцій

<i>Огороджувальні конструкції</i>	<i>Необхідний опір теплопередачі $R_{0,min}$</i>	<i>Опір теплопередачі несучої конструкції R_H</i>
Зовнішня стіна	3,3 – 2,8	1,06
Суміщена покрівля	5,35 – 4,9	0,34
Горищне перекриття	4,95 – 4,5	0,29
Перекриття над підвалом	3,75 – 3,3	0,32

Необхідна товщина теплоізоляційного шару обчислюється за результатами теплотехнічного розрахунку за [1] для ряду значень опору теплопередачі R_0 в межах від $2 m^2 \times K/Wt$ до $12 m^2 \times K/Wt$ з урахуванням наведеного в таблиці 1 опору теплопередачі несучих конструкцій.

Методика вибору доцільного опору теплопередачі базується на аналізі річних приведених витрат на опалення, які враховують початкову вартість $1 m^2$ конструкції (капітальні видатки) та вартість тепла, яке втрачається через $1 m^2$ огороження (поточні витрати) і обчислюються за формулою:

$$P = Q \times C_T + \left(\frac{C_H}{T_H} + \frac{C_Y}{T_Y} \right), \quad (1)$$

де Q – втрати тепла через огородження протягом опалювального періоду;

C_T – вартість теплової енергії (ціна однієї гікалорії тепла);

C_H і C_Y – вартості одного квадратного метра несучої конструкції та утеплення;

T_H і T_Y – встановлені терміни експлуатації несучої конструкції та утеплення.

Досвід розрахунків за (1) показує, що збільшення опору теплопередачі обумовлює зростання вартості утеплення огороджувальної конструкції, але зменшує щорічні втрати тепла. У результаті залежність приведених витрат (1) від опору теплопередачі огороджувальної конструкції має мінімум, який і визначає оптимальне значення опору теплопередачі.

Вихідні дані, необхідні для обчислення приведених витрат за формулою (1), встановлені за вказівками нормативних документів [1, 5], а також за результатами теплотехнічних і кошторисних розрахунків.

Втрати тепла через один квадратний метр огороджувальної конструкції протягом опалювального періоду дорівнюють

$$Q = 0,0000206 \frac{G_{оп}}{R_0} \text{ (Гкал)}, \quad (2)$$

де $G_{оп}$ – кількість градусо-днів опалювального періоду за даними [5];

R_0 – заданий опір теплопередачі огороджувальної конструкції.

Вартість тепла C_T (ціна однієї гікалорії) встановлюється постановами Уряду для кожної з областей України. При визначенні оптимального опору теплопередачі розглядалися можливі значення вартості тепла в межах від 600 грн/Гкал до 2400 грн/Гкал.

Вартість огороджувальних конструкцій встановлена в результаті виконання локальних кошторисних розрахунків у середовищі програмного комплексу АВК з урахуванням цін на матеріали кінця 2016 року. Вартість одного квадратного метра несучих конструкцій C_H є незмінною величиною, вказаною в таблиці 2, а вартість утеплення C_Y описана залежностями від заданого опору теплопередачі огороджувальної конструкції, наведеними в таблиці 2.

Таблиця 2 – Цінові характеристики огорожувальних конструкцій

Огороджувальні конструкції	C_H , грн/м ²	C_Y , грн/м ²
Зовнішня стіна	756,00	$C_Y = 82,14 \times R_0 - 88,57$
Суміщена покрівля	632,00	$C_Y = 183,62 \times R_0 - 61,82$
Горищне перекриття	431,00	$C_Y = 35,45 \times R_0 + 18,48$
Перекриття над підвалом	792,00	$C_Y = 150,48 \times R_0 - 12,52$

Термін експлуатації несучих конструкцій житлових і громадських будівель прийнятий рівним $T_H=100$ років. Виходячи з вимог норм [1], характеристик використаних теплоізоляційних матеріалів та реальних можливостей їх заміни у процесі експлуатації будівель, у подальших розрахунках прийняті терміни експлуатації утеплення $T_Y=100$ років для суміщеної покрівлі, $T_Y=50$ років для перекриття над підвалом і $T_Y=25$ років для стін та горищного перекриття.

Приклад оптимізації утеплення суміщеної покрівлі виконаний для умов м. Кропивницький. З урахуванням $G_{OP}=3553$ градусо-доби та наведених вище інших вихідних даних збудовані залежності приведених витрат (1) від опору теплопередачі покрівлі при різних вартостях теплової енергії. З рисунка 1 видно, що з ростом вартості теплової енергії C_T оптимальне значення опору теплопередачі, яке дає мінімум приведених витрат, зростає від $6,2 \text{ м}^2 \times \text{К/Вт}$ при $C_T= 1000$ грн/Гкал до $9,4 \text{ м}^2 \times \text{К/Вт}$ при $C_T= 2200$ грн/Гкал.

Зображена на рисунку 2 залежність оптимального опору теплопередачі покрівлі від вартості теплової енергії описується аналітичним виразом

$$R_{opt} = A\sqrt{C_T}, \quad (3)$$

де C_T – вартість теплової енергії у грн/Гкал;

A – коефіцієнт апроксимуючої залежності, який згідно з рисунком 2 для суміщеної покрівлі в умовах м. Кропивницький дорівнює $0,19$.

Рисунок 2 та формула (3) показують, що опір теплопередачі суміщеної покрівлі, який в [1] встановлений рівним $R_{0,min}=5,35$, відповідає вартості теплової енергії $C_T=838$ грн/Гкал. При сучасній ціні близько 1400 грн/Гкал опір теплопередачі суміщеної покрівлі слід збільшити до $7,1 \text{ м}^2 \times \text{К/Вт}$.

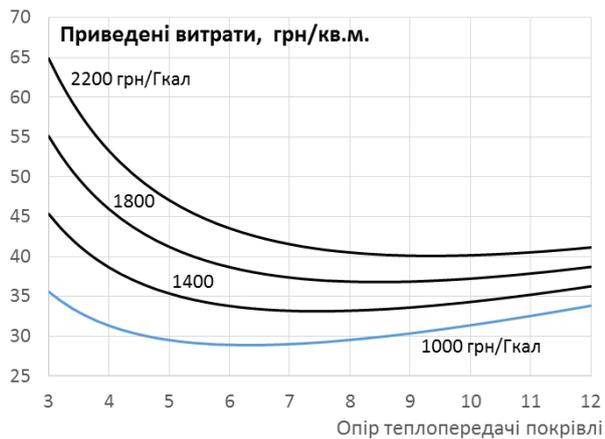


Рис. 1 Залежність приведених витрат від вартості теплової енергії та опору теплопередачі покрівлі

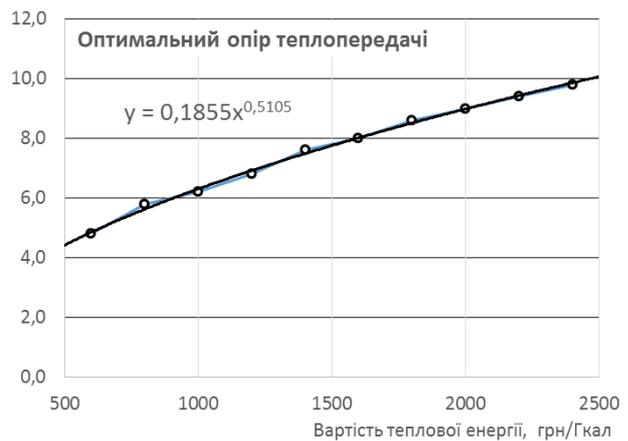


Рис. 2 Залежність оптимального опору теплопередачі покрівлі від вартості теплової енергії

Рекомендації щодо вибору доцільного опору теплопередачі огорожень цивільних будівель розроблені за результатами аналогічних розрахунків з урахуванням 4000 градусо-днів опалювального періоду для першої та 3200 градусо-днів для другої температурної зони України згідно з [5]. Залежності доцільного опору теплопередачі огорожень усіх видів від вартості теплової енергії описується формулою (3) з коефіцієнтами, наведеними в таблиці 3.

Таблиця 3 – Коефіцієнти А для формули (3)

Вид огорожувальної конструкції	Коефіцієнти А для температурних зон згідно норм [1]	
	першої	другої
Зовнішні стіни	0,16	0,14
Суміщені покриття	0,21	0,19
Перекриття над неопалюваним підвалом	0,17	0,15
Перекриття неопалюваних горищ	0,24	0,21

Розрахунки за формулою (3) показують, що при сучасних цінах на будівельні матеріали та вартості теплової енергії опір теплопередачі розглянутих огорожувальних конструкцій доцільно збільшити в 1,3...2,5 рази порівняно з мінімально необхідними значеннями, встановленими в нормах [1]. Згідно з формулою (3), подальше зростання вартості тепла повинно приводити до зростання доцільних опорів теплопередачі огорожувальних конструкцій. Однак зростання вартості теплової енергії обумовить ріст цін на будівельні

матеріали, при виробництві яких ця енергія також використовується. Тому доцільні значення опору теплопередачі залишаться близькими до визначених за (3) на сьогоднішній день.

Висновки:

1. Виходячи з критерію мінімуму приведених витрат на опалення, для обох температурних зон України отримані залежності доцільних значень опору теплопередачі стін, суміщених покрівель, горищних перекриттів та перекриттів над підвалами цивільних будівель від вартості теплової енергії.
2. Виконаний аналіз вказує на доцільність подальшого підвищення мінімально необхідного опору теплопередачі огорожувальних конструкцій цивільних будівель в умовах зростання вартості енергоносіїв.

Список використаних джерел:

1. ДБН В.2.6-31:2006. Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція будівель. (зі зміною № 1 від 2013 року). – К., 2006. – 66 с.
2. Енергозбереження в будівлях. // Електронний журнал енергосервісної компанії "Екологічні системи". – 2012. – № 4. [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://www.journal.esco.co.ua/2012_4/art133.htm.
3. Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings. // Official Journal of the European Union. – 2010. – L 153, S. 13-35. Режим доступу: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:153:0013:0035:en:PDF>
4. Карюк А.М., Кошлатий О.Б. Теплотехнічні характеристики стін цивільних будівель в умовах зростання вартості енергоносіїв. – Будівництво України. – 2015. – № 5. – С. 12–14.
5. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівельна кліматологія. – К., 2010. – 101 с.