

УДК 728.1: 658.26

к.т.н., доц. Симонова І.М.,
к.т.н., доц. Соколенко В.М., к.т.н. Симонов С.І.,
Донбаський державний технічний університет, м. Лисичанськ

ДІАГНОСТИКА ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЖИТЛОВОГО ФОНДА ТА ОСНОВНІ МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕПЛОТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗОВНІШНІХ ОГОРОДЖЕНЬ ДЛЯ ВСТАНОВЛЕННЯ КЛАСУ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

Наведено дослідження способів визначення опорів теплопередачі зовнішніх огорожень в лабораторних і натурних умовах, а також результати дослідження енергетичного стану житлових будинків серії 1-480 м. Алчевська. Встановлений клас енергетичної ефективності будівлі і складений енергетичний паспорт.

Ключові слова: енергозбереження, теплові втрати, тепловізійна зйомка.

Постановка проблеми в загальному вигляді. Енергетична паспортизація житлових і громадських будівель розпочалася в Україні з 01.04.2007 р. після введення нормативних вимог ДБН В.2.6-31: 2006 «Теплова ізоляція будівель», а з 01.01.2009 р. енергетичний паспорт є обов'язковою складовою проектною документації для житлових і громадських будівель, як при новому будівництві, так і при реконструкції.

Сучасні норми по тепловому захисту будівель гармонізовані з аналогічними закордонними нормами розвинених країн. Ці норми не тільки в кілька разів збільшили необхідні опори теплопередачі огорожувальних конструкцій, закріпили правила проектування огорожень, але й потребували введення нових показників енергетичної ефективності будівель – питомої витрати теплової енергії на опалення за опалювальний період з урахуванням інфільтрації, теплонадходжень побутових та від сонячної радіації, встановлюють клас будівлі за показниками енергетичної ефективності [1]. Енергетичний паспорт є документом, який підтверджує рівень теплозахисту та експлуатаційної енергоємності будівлі в цілому, а також величини енергетичних навантажень на цю будівлю. По ньому можна перевірити правильність уявлення про те, що енергоефективність запроєктованого будинку відповідає вимогам норм, і встановити мінімально необхідне теплоспоживання будівлі за певний період часу при відповідності фактичних і проектних теплотехнічних характеристик зовнішніх огорож або виявити їх невідповідність у процесі натурних випробувань

Аналіз останніх досягнень і публікацій. В ДБН В.2.6-31: 2006 та ДСТУ-

Н Б А.2.2-5: 2007 встановлено 6 класів енергетичної ефективності будинку. Наявність 6-ти класів на шкалі маркування надає можливість уніфікації відповідних економічно обґрунтованих заходів з економії енергії в будинках, різних по періоду будівництва, конструктивним і інженерним рішенням, до норм проектування, умов експлуатації, а також оцінки інвестиційної привабливості будівництва, реконструкції, капітального ремонту (термомодернізації) та експлуатації будівель.

Клас енергетичної ефективності будинку встановлюють при проектуванні, введенні будинку в експлуатацію та за даними контролю і оцінки фактичного рівня тепловтрат на опалення будівлі, що експлуатується.

На думку фахівців, об'єкти ЖКГ вимагають постійного або вибіркового контролю, діагностики технічного стану та визначення теплотехнічних характеристик. Перед розробкою проекту утеплення фасадів будівель, що експлуатуються і відновлюються, необхідно проводити обов'язкове комплексне обстеження огорожувальних конструкцій з метою визначення їхнього реального опору теплопередачі як в цілому по будівлі, так і його окремих зон.

Останнім часом дуже часто в публікаціях ведуться дискусії з приводу застосування методів натурних досліджень теплотехнічних характеристик зовнішніх огорожень в умовах їх експлуатації. Надалі ми розглянемо ці методи.

Постановка завдання. Основним завданням досліджень є вивчення методів натурних обстежень теплового стану зовнішніх огорожень і встановлення класу енергетичної ефективності на прикладі житлового будинку серії 1-480 А в м. Алчевську.

Виклад матеріалу і його результати. Методи визначення опору теплопередачі в натурних умовах експлуатації будівель засновані на створенні в огорожувальній конструкції умов стаціонарного теплообміну та вимірюванні температури внутрішнього і зовнішнього повітря, температури поверхонь огорожувальної конструкції, а також щільності теплового потоку, що проходить через неї, за якими обчислюють відповідні шукані величини за формулами (1 – 4).

Опір теплопередачі R_0 для термічно однорідної зони огорожувальної конструкції обчислюють за формулою:

$$R_{0i} = R_{ei} + R_{кш} + R_{ні} = \frac{(t_{ei} - \tau_{ei})}{q_{\phi i}} + \frac{(\tau_{ei} - \tau_{ні})}{q_{\phi i}} + \frac{(\tau_{ні} - t_{ні})}{q_{\phi i}}. \quad (1)$$

Практика проведення натурних досліджень показала, що визначити температуру зовнішньої поверхні огорожувальної конструкції безпосередньо в

точках, відповідних місць встановлення перетворювача щільності теплового потоку на внутрішній поверхні огорожі, в більшості випадків, неможливо. Обумовлено це кількома причинами:

- технічно складно виміряти температуру зовнішньої поверхні огороження безконтактним термометром (пірометром) вище другого поверху будівлі;

- неможливо правильно встановити на зовнішній поверхні захисної конструкції точку для виміру температури, яка відповідає місцю установки перетворювача щільності теплового потоку на внутрішній поверхні огороження;

- застосування різних фасадних систем обробки будівель («сайдинг», навісний вентиляований фасад) не тільки згладжує температурні аномалії, що виникають на зовнішній поверхні огорожі, але й дає значну похибку у визначенні абсолютного значення температури.

Враховуючи ці особливості, при неможливості визначення температури зовнішньої поверхні огороження, для визначення опору теплопередачі R_0 , треба використовувати формулу:

$$R_0 = \frac{(t_g - t_n)}{q_{изм}^{cp}}, \quad (2)$$

де t_g , t_n – середня температура, відповідно, внутрішнього і зовнішнього повітря в період випробувань, $^{\circ}\text{C}$;

$q_{изм}^{cp}$ – середня виміряна щільність теплового потоку, що проходить через огорожу, $\text{Вт}/\text{м}^3$.

Приведений опір теплопередачі R_0^{np} визначають для огорожувальних конструкцій, які мають неоднорідні ділянки (стики, теплопровідні вклучення тощо) і відповідну їм нерівномірність температури поверхні, обчислюють за формулою:

$$R_0^{np} = \frac{F}{\left[\sum (F_i / R_{0i}) \right]}, \quad (3)$$

де F – площа випробовуваної огорожувальної конструкції, м^2 ;

$\sum (F_i)$ – площа характерної ізотермічної зони, м^2 ;

R_{0i} – опір теплопередачі характерної зони, $(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})/\text{Вт}$.

Допускається опір теплопередачі характерних зон R_{0i} обчислювати за формулою:

$$R_0 = \frac{(t_e - t_n)}{\alpha_e \cdot (t_e - \tau_e)}, \quad (4)$$

де t_e , t_n , τ_e – те ж, що у формулі (1);

α_e – коефіцієнт теплосприйняття у внутрішній поверхні зовнішнього огороження, Вт/(м²·°C).

Таким чином, існує два способи обчислення приведенного опору теплопередачі зовнішнього огороження:

1. Контактний спосіб полягає у визначенні величини щільності теплового потоку, що проходить через зовнішнє огороження. У цьому випадку перетворювачі теплових потоків не менш ніж два рази розташовуються в центрі термічно однорідних зон фрагментів огорожувальної конструкції, рівномірної по температурі поверхні та, відповідно, має однаковий колір на термограмі. Далі, відповідно до формул, наведених в ГОСТ, виходячи з середньої зафіксованої температури зовнішнього і внутрішнього повітря та середньої щільності теплового потоку, що проходить через зовнішнє огороження, обчислюється приведений опір теплопередачі захисної конструкції.

При розрахунку величини приведенного опору теплопередачі основна складність полягає у визначенні площі термічно однорідних зон фрагментів зовнішнього огороження, що мають однаковий колір на термограмі. Труднощі виникають і при встановленні перетворювача теплового потоку на поверхні зовнішнього огороження, оскільки в більшості випадків найбільш «холодна» колірною зона має невеликі розміри й вельми «розмиті» межі.

2. Безконтактний спосіб заснований на вимірюванні температури внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції портативним комп'ютерним термографом. При розрахунку використовуються рівняння (3) і (4). За рівнянням (4), виходячи з середніх зафіксованих температур зовнішнього і внутрішнього повітря та встановленого коефіцієнта теплосприйняття у внутрішній поверхні огорожувальної конструкції, портативний термограф в кожній точці термограми визначає опір теплопередачі зовнішнього огороження. Наприклад, чутливість портативного термографа «IRTIS-200» така, що температура поверхні фіксується з точністю до 0,05 °C в 65536 точках на одному термозображенні (роздільність кадру 256×256).

У цьому випадку рівняння (3), приймає наступний вигляд:

$$R_0^{np} = \frac{N}{\left[\sum_N (1/R_{0N}) \right]}, \quad (5)$$

де N – кількість точок, з яких складається термозображення;

R_{0N} – опір теплопередачі, обчислений за рівнянням (4) в кожній точці термозображення, ($\text{м}^2 \cdot \text{°C}$)/Вт;

1 – розміри однієї точки.

Виділяючи на термозображенні одну точку, можна визначити опір теплопередачі характерної колірної зони. У цьому випадку рівняння (5) набуває вигляду:

$$R_0^{np} = \frac{N}{\left[\sum_N (1/R_0) \right]} = R_0. \quad (6)$$

Наприклад, на внутрішньому термозображенні тришарової стінової панелі з утеплювачем визначено опір теплопередачі в одній точці колірної зони, що має червоний колір (точками Т1-Т4 показана температура внутрішньої поверхні зовнішнього огороження). З урахуванням рівняння (4), рівняння (5) матиме наступний вигляд:

$$R_{0i} = R_{ei} + R_{ки} + R_{ni} = \frac{(t_{ei} - \tau_{ei})}{q_{\phi i}} + \frac{(\tau_{ei} - \tau_{ni})}{q_{\phi i}} + \frac{(\tau_{ni} - t_{ni})}{q_{\phi i}}, \quad (7)$$

де N – роздільність кадру (кількість точок на одному термозображенні);
 t_e, t_n, α_e – те ж, що у формулі (4);

$\tau_{e(1)}, \tau_{e(2)}, \tau_{e(N)}$ – температури поверхні зовнішнього огороження (визначаються портативним термографом в кожній точці термозображення), $^{\circ}\text{C}$.

Методика визначення приведенного опору теплопередачі зовнішнього огороження автоматизованим безконтактним способом полягає в наступному (див. рис. 1):

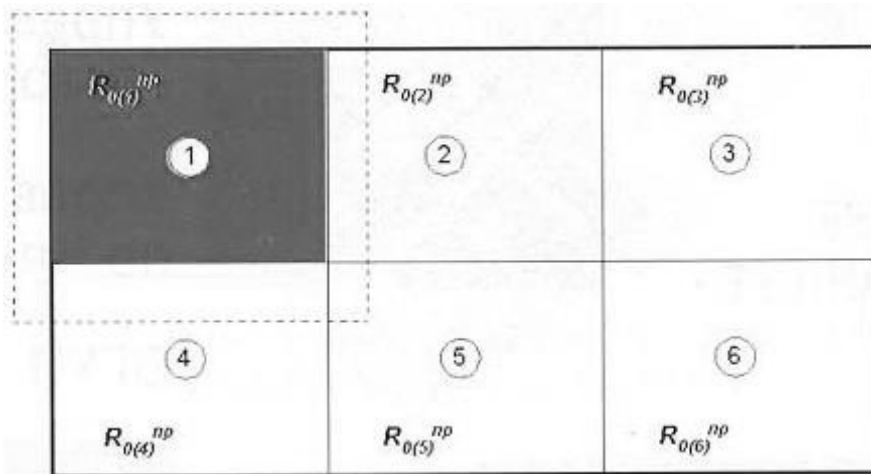


Рис. 1. Послідовність і обробка результатів термографування автоматизованим безконтактним способом [2]

1. Обстежувані огорожувальні конструкції розбиваються на ділянки (наприклад, на рис. 1 їх шість), зручні для термографування, з тим, щоб при подальшій обробці можна було відтворити цілісну картину зовнішнього огороження.

2. Послідовна тепловізійна зйомка кожної ділянки дає зображення, показане на рис. 1 пунктирною лінією з N -ою кількістю точок.

3. Виділивши на термограмі ділянку з відповідною кількістю точок (наприклад, на рис. 1, ділянка зображена зеленим кольором), вводяться вихідні дані, необхідні для обчислення приведенного опору теплопередачі $R_{0(1)}^{np}$: температури внутрішнього і зовнішнього повітря та коефіцієнт теплосприйняття у внутрішній поверхні.

4. ЕОМ для кожної ділянки обчислює приведений опір теплопередачі: $R_{0(1)}^{np}, R_{0(2)}^{np}, \dots, R_{0(6)}^{np}$.

5. Приведений опір теплопередачі всього зовнішнього огороження визначається таким чином:

$$\left[R_{0(1)}^{np} + R_{0(2)}^{np} + \dots + R_{0(N)}^{np} \right] / n, \quad (8)$$

де n – кількість ділянок, зручних для термографування.

Для визначення фактичного значення термічного опору огорожувальних конструкцій згідно з нормативними документами ці два методи доцільно використовувати комплексно, тому що натурні випробування дадуть повну картину розподілу температури в товщі огороження, а тепловізійний контроль дозволить обстежити усю будівлю, а не окремі її елементи, виявити області аномальних температур.

Слід зазначити, що при проведенні обстеження на етапі здачі об'єкту в експлуатацію одержують фактичні показники опору теплопередачі огорожувальних конструкцій з урахуванням накопиченої будівельної та атмосферної вологи, тому вони можуть бути дещо нижче нормативних.

Отже, говорити про виконання нормативних вимог можливо тільки після висихання матеріалів, яке відбувається поступово в режимі експлуатації будівлі. За різними оцінками потрібно від 2 до 5 – 6 років для стабілізації режиму вологості огорожувальних конструкцій. Усе це необхідно враховувати при заповненні енергетичного паспорта при новому будівництві.

Для визначення опору теплопередачі в натурних умовах експлуатації будівель використовують той температурний перепад, який встановився на огорожувальній конструкції внаслідок різниці температур зовнішнього і внутрішнього повітря.

В наш час на пострадянському просторі зовнішні огорожувальні

конструкції більшості будівель і споруд не відповідають сучасним нормативним вимогам по опору теплопередачі. Тому дуже важливим є проведення масового та оперативного обстеження фактичного теплотехнічного стану будівель або, інакше кажучи, фактичного розподілу температурних полів на поверхні зовнішніх огорожувальних конструкцій будівель і споруд. Це можливо тільки проведенням тепловізійного обстеження будівлі.

Цей метод має перевагу перед традиційними натурними випробуваннями, тому що дозволяє значно швидше та із суттєво меншими витратами зробити виміри температур поверхонь будівельних конструкцій. Якщо користуватися традиційними методами, то для визначення теплофізичного стану огорожувальних конструкцій будівлі необхідно встановити кілька сотень або тисяч термодатчиків. Зрозуміло, що велика трудомісткість та висока вартість такої роботи утрудняє здійснення необхідного контролю теплофізичних властивостей під час приймання будівель в експлуатацію й, особливо, перед капітальним ремонтом або реконструкцією.

Однак тепер на озброєнні фахівців є ефективний метод контролю та визначення просторового розподілу теплових потоків (температур) по поверхні огорожуючих конструкцій будівель, заснований на застосуванні приладу за назвою «тепловізор».

Складанню енергетичного паспорту повинен передувати енергоаудит будівлі, який полягає в тому, що - виконується обмір зовнішніх поверхонь опалювальної частини будівлі; виділяються площі віконних прорізів, орієнтованих на різні сторони світу; встановлюється склад кожного зовнішнього огороження (товщина кожного шару при багатошаровій конструкції, коефіцієнт теплопровідності матеріалу) і розраховується його приведений опір теплопередачі; залежно від конструкції вікон призначається величина інфільтрації зовнішнього повітря за кількістю кімнат у квартирах; встановлюються тип системи опалення та схема її підключення до теплових мереж. Результати обстеження розрахункових параметрів житлових будинків серії 1-480 А наведені в таблиці 1.

Проведення енергетичних обстежень стає, таким чином, одним з необхідних етапів вирішення проблеми енергозбереження. Головна мета підготовки енергетичного паспорта - поетапна робота по створенню енергетичного балансу житлового фонду, контроль над споживанням енергетичних ресурсів і визначення заходів щодо економії енергії, що, в кінцевому рахунку, вигідно в першу чергу самому домовласникові.

Таблиця 1.

Розрахункові параметри житлового будинку

| Найменування розрахункових параметрів | Позначення | Одиниці вимірювання | Величина |
|---|-------------|----------------------------------|----------|
| 1. Розрахункова температура внутрішнього повітря | t_e | $^{\circ}\text{C}$ | 20 |
| 2. Розрахункова температура зовнішнього повітря | t_z | $^{\circ}\text{C}$ | -25 |
| 3. Розрахункова температура теплового горища | t_{e2} | $^{\circ}\text{C}$ | 14 |
| 4. Розрахункова температура техпідпілля | t_n | $^{\circ}\text{C}$ | 2 |
| 5. Тривалість опального періоду | z_{on} | доба | 180 |
| 6. Середня температура зовнішнього повітря за опалювальний період | $t_{on\ z}$ | $^{\circ}\text{C}$ | -1,6 |
| 7. Розрахункова кількість градусо-днів опалювального періоду | D_d | $^{\circ}\text{C} - \text{доба}$ | 3750 |

Результати обстеження енергетичних показників житлового дома серії 1-480А наведені в таблиці 2.

Таблиця 2.

Геометричні, теплотехнічні та енергетичні показники

| Показник | Позначення і розмірність показника | Нормативне значення показника | Розрахункове (проектне) значення показника | Фактичне значення показника |
|--|------------------------------------|-------------------------------|--|-----------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Загальна площа зовнішніх огорожувальних конструкцій будинку, | $F_{\Sigma}, \text{м}^2$ | - | 3261,225 | 3262 |
| в тому числі: | | | | |
| - стін; | $F_{ст}, \text{м}^2$ | - | 1569,86 | 1570 |
| - вікон і балконних дверей | $F_{cd}, \text{м}^2$ | - | 843,525 | 845 |
| - перекриттів теплих горищ; | $F_{\partial}, \text{м}^2$ | - | 423,92 | 424 |
| - перекриттів над неопалюваними підвалами | $F_{\partial 2}, \text{м}^2$ | - | 423,92 | 424 |
| Площа опалювальних приміщень | $F_h, \text{м}^2$ | - | 4251 | 4252 |
| Площа житлових приміщень і кухонь | $F_l, \text{м}^2$ | - | 2462,67+250,2=2712,87 | 2714 |
| Опалюваний об'єм | $V_h, \text{м}^3$ | - | 11478 | 11478 |
| Коефіцієнт скління фасадів будинку | F | - | 0,35 | 0,35 |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--|--|----------|---------------|-------------|
| Показник компактності будинку | $k_{к буд}$ | - | 0,278 | 0,278 |
| Теплотехнічні та енергетичні показники | | | | |
| Теплотехнічні показники | | | | |
| Приведений опір теплопередачі зовнішніх огорожень, в тому числі: | $R_{\sum np}$, м ² ·°K/Вт | - | - | - |
| - стін | $R_{\sum np ст}$ | 2,8 | 0,842 - 1,025 | 0,7 - 1,3 |
| - вікон і балконних дверей | $R_{\sum np в}$ | 0,5 | 0,301 - 0,3 | 0,28 - 0,32 |
| - вхідних дверей, воріт | $R_{\sum np вд}$ | 0,44 | 0,3307 | 0,32 |
| - горищних перекриттів (холодного горища) | $R_{\sum np з}$ | 3,3 | 1,854 | 1,3 |
| - перекриттів над неопалюваними підвалами або підпіллями | $R_{\sum np пн}$ | 2,8 | 0,822 | 0,79 |
| Енергетичні показники | | | | |
| Розрахункові питомі тепловтрати | $q_{буд}$, кВт·год./м ² , [кВт·год./м ³] | 79 29 | 196,3 72,7 | - - |
| Максимально допустиме значення питомих тепловитрат на опалення будинку | E_{max} , кВт·год./м ² , [кВт·год./м ³] | 79 29 | - - | - - |
| Клас енергетичної ефективності | | | 148,5 – F | |

Висновки і перспективи подальшого розвитку.

Для визначення фактичного значення термічного опору огорожувальних конструкцій згідно з нормативними документами доцільно використовувати комплексно контактний та безконтактний методи, тому що натурні випробування дадуть повну картину розподілу температури в товщі огороження, а тепловізійний контроль дозволить обстежити усю будівлю, а не окремі її елементи, виявити області аномальних температур.

Слід зазначити, що при проведенні обстеження на етапі здачі об'єкту в експлуатацію одержують фактичні показники опору теплопередачі огорожувальних конструкцій з урахуванням накопиченої будівельної та атмосферної вологи, тому вони можуть бути дещо нижче нормативних.

Отже, говорити про виконання нормативних вимог можливо тільки після висихання матеріалів, яке відбувається поступово в режимі експлуатації будівлі. За різними оцінками потрібно від 2 до 5 – 6 років для стабілізації режиму вологості огорожувальних конструкцій. Усе це необхідно враховувати при заповненні енергетичного паспорта при новому будівництві.

В наш час на пострадянському просторі зовнішні огорожувальні конструкції більшості будівель і споруд не відповідають сучасним нормативним вимогам по опору теплопередачі. Тому дуже важливим є проведення масового та оперативного обстеження фактичного теплотехнічного стану будівель. Це можливо тільки проведенням тепловізійного обстеження будівлі. Цей метод має перевагу перед традиційними натурними випробуваннями, тому що дозволяє значно швидше та із суттєво меншими витратами зробити виміри температур поверхонь будівельних конструкцій. Зрозуміло, що велика трудомісткість та висока вартість такої роботи утрудняє здійснення необхідного контролю теплофізичних властивостей під час приймання будівель в експлуатацію й, особливо, перед капітальним ремонтом або реконструкцією.

Бібліографічний список

1. Конструкції будівель і споруд. Теплова ізоляція будівель: ДБН В.2.6-31:2006. – [Чинний від 01.04.2007]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2006. – 68 с.
2. Гурьянов Н.С. Способ оценки фактической величины приведенного сопротивления теплопередаче наружных ограждений/ Н.С. Гурьянов// Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2002. – № 12(47). – С. 20 – 24.

Аннотация

Приведены исследования способов определения сопротивлений теплопередачи наружных ограждений в лабораторных и натуральных условиях, а также результаты исследования энергетического состояния жилых домов серии 1-480 г. Алчевска. Установлен класс энергетической эффективности здания и составлен энергетический паспорт.

Ключевые слова: энергосбережение, тепловые потери, тепловизионная съемка.

Abstract

The article presents a research on ways to define the resistances to heat transfer of cladding in laboratory and full-scale conditions, as well as on of research of a power condition of houses of a series of 1-480 g of Alchevsk are given. The class of power efficiency of a building is established and the power passport is made.

Key words: energy saving, heat losses, thermovision shooting.