

РОЗДІЛ ІV

МЕТОДИ ПРОЕКТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНОЇ ОБОЛОНКИ БУДІВЕЛЬ

4.1. Загальні положення

Основним документом для встановлення регламентів теплового захисту будівель є ДБН В.2.6 – 31:2006 «Конструкції будівель і споруд. Теплова ізоляція». З 1 липня 2013 р. набрала чинності Зміна № 1 до ДБН В.2.6 – 31:2006 «Конструкції будівель і споруд. Теплова ізоляція», що визначає оновлені показники теплотехнічних розрахунків. Діючі норми та правила декларують вимоги до теплового захисту будівель та споруд «... з метою забезпечення раціонального використання енергетичних ресурсів на обігрівання, забезпечення нормативних санітарно-гігієнічних параметрів мікроклімату приміщень, довговічності огорожувальних конструкцій під час експлуатації будинків та споруд».



Рис. 4.1. Система чинних норм та стандартів у сфері енергоефективності будівель

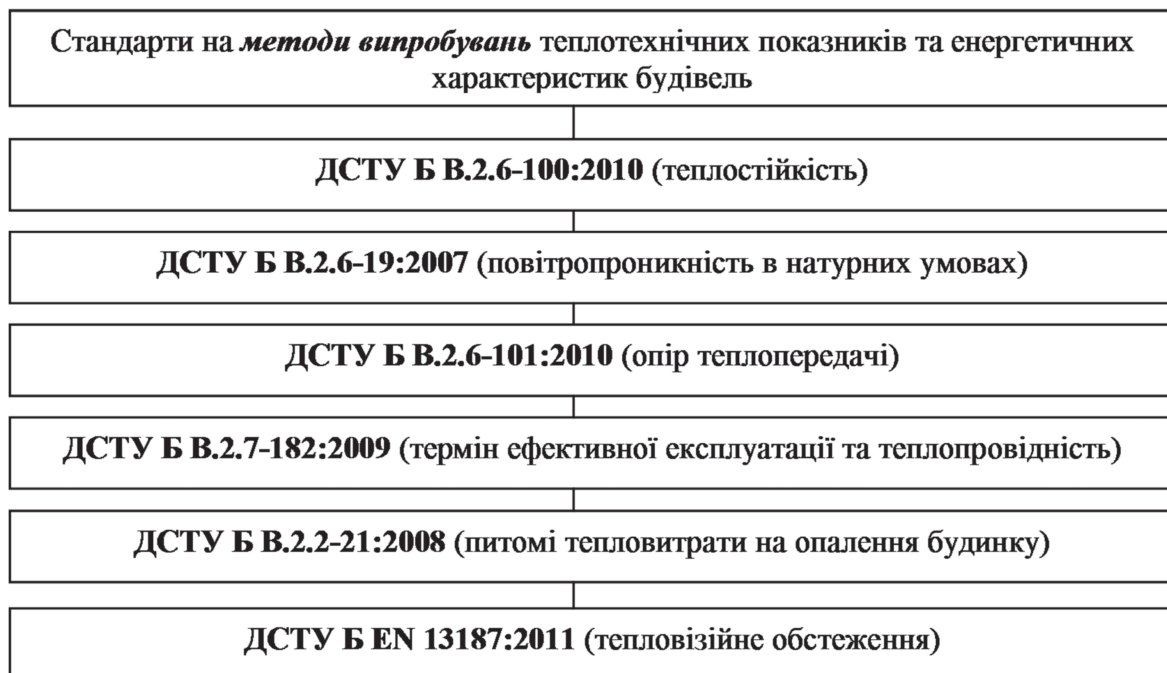


Рис. 4.2. Система стандартів на методи випробувань теплотехнічних показників та енергетичних характеристик будівель

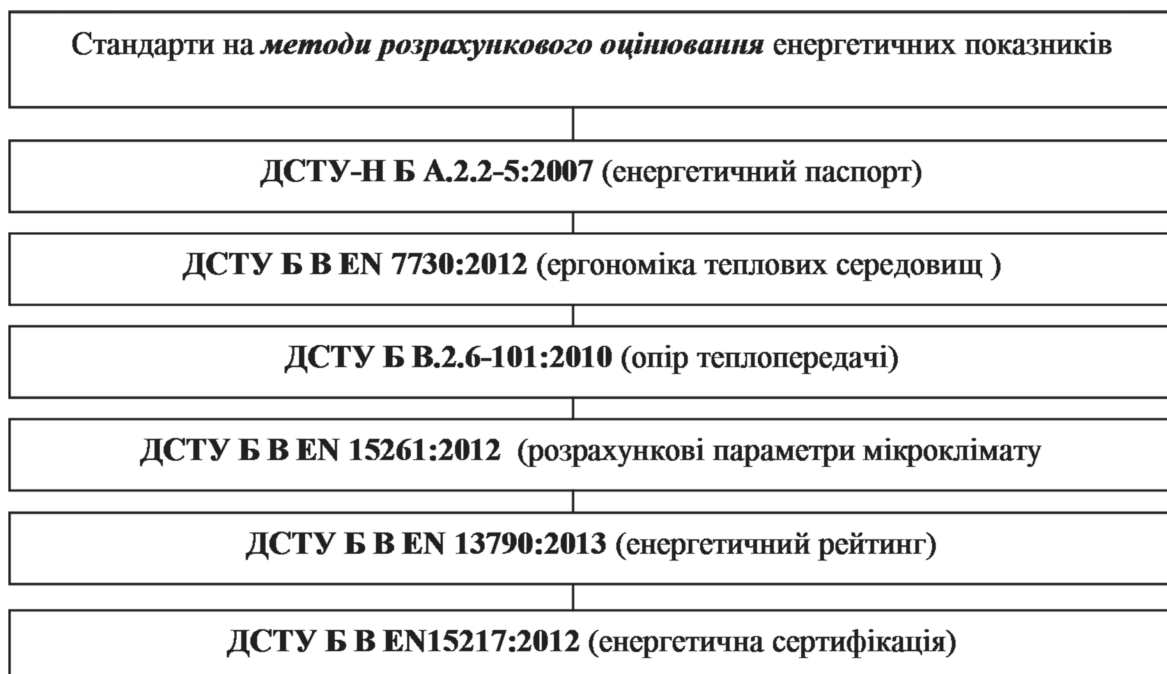


Рис. 4.3. Система стандартів методів розрахункового оцінювання енергетичних показників

ДБН В.2.6 – 31:2006 «Конструкції будівель і споруд. Теплова ізоляція» повинен використовуватися при проектуванні будинків і споруд, що опалюються, у разі нового будівництва, реконструкції та капітального ремонту (термомодернізації), при складанні енергетичного паспорту, визначенні витрат паливно-енергетичних ресурсів для опалення будинків, при проведенні енергетичного обстеження будівель та споруд [2].

Нормами запропоновано проектування теплоізоляційної оболонки будівель за двома методами: *метод проектування теплоізоляційної оболонки будівель за теплотехнічними показниками її елементів і метод проектування теплоізоляційної оболонки будівель за тепловитратами будівлі на опалення*. Стислий виклад цих методів розрахунку представлений у пункті 4.2. та 4.3.

4.2. Метод проектування теплоізоляційної оболонки будівель за теплотехнічними показниками її елементів [2,3]

Для зовнішніх огороджувальних конструкцій опалюваних будинків та споруд і внутрішніх міжквартирних конструкцій, що розділяють приміщення, температури повітря в яких відрізняються на 3 °С та більше, обов'язкове виконання умов:

$$\begin{aligned}R_{\Sigma \text{ пр}} &\geq R_{q \text{ min}} \\ \Delta t_{\text{пр}} &\leq \Delta t_{\text{cr}} \\ \tau_{\text{в min}} &> t_{\text{min}}\end{aligned}$$

де $R_{\Sigma \text{ пр}}$ – приведений опір теплопередачі непрозорої огороджувальної конструкції чи непрозорої частини огороджувальної конструкції (для термічно однорідних огороджувальних конструкцій визначається опір теплопередачі), приведений опір теплопередачі світлопрозорої огороджувальної конструкції, $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$;

$R_{q \text{ min}}$ – мінімально допустиме значення опору теплопередачі непрозорої огороджувальної конструкції чи непрозорої частини огороджувальної конструкції, мінімальне значення опору теплопередачі світлопрозорої огороджувальної конструкції, $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$;

$\Delta t_{\text{пр}}$ – температурний перепад між температурою внутрішнього повітря і приведеною температурою внутрішньої поверхні огороджувальної конструкції, °С;

Δt_{cr} – допустима за санітарно-гігієнічними вимогами різниця між температурою внутрішнього повітря і приведеною температурою внутрішньої поверхні огороджувальної конструкції, °С;

$\tau_{в min}$ – мінімальне значення температури внутрішньої поверхні в зонах теплопровідних включень в огорожувальній конструкції, °С;

t_{min} – мінімально допустиме значення температури внутрішньої поверхні при розрахункових значеннях температур внутрішнього й зовнішнього повітря, °С.

Мінімально допустиме значення, $R_{q min}$, опору теплопередачі непрозорих огорожувальних конструкцій, світлопрозорих огорожувальних конструкцій і дверей житлових і громадських будинків встановлюється згідно з Таблиця 4.1. залежно від температурної зони експлуатації будинку, що приймається згідно з додатком Г навчального посібника.

Таблиця 4.1

Мінімально допустиме значення опору теплопередачі огорожувальної конструкції житлових та громадських будинків, $R_{q min}$, м²·К/Вт [3]

№ поз.	Вид огорожувальної конструкції	Значення $R_{q min}$, м ² ·К/Вт, для температурної зони	
		I	II
1	Зовнішні стіни	3,3	2,8
2	Суміщені покриття	5,35	4,9
3	Горищні покриття та перекриття неопалювальних горищ	4,95	4,5
4	Перекриття над проїздами та неопалювальними підвалами	3,75	3,3
5	Світлопрозорі огорожувальні конструкції	0,75	0,6
6	Вхідні двері в багатоквартирні житлові будинки та в громадські будинки	0,5	0,45
7	Вхідні двері в малоповерхові будинки та в квартири, що розташовані на перших поверхах багатоповерхових будинків	0,65	0,6

У разі реконструкції будинків, що виконується з метою їх термомодернізації, допускається приймати значення $R_{q \min}$ згідно з табл. 4.1 з коефіцієнтом 0,8.

Мінімально допустиме значення, $R_{q \min}$, опору теплопередачі внутрішніх міжквартирних конструкцій, що розмежують приміщення з розрахунковими температурами повітря, які відрізняються більше ніж на 3 °С (стіни, перекриття), і приміщень з поквартирним регулюванням теплоспоживання визначають за формулою:

$$R_{q \min} = \frac{t_{\text{в1}} - t_{\text{в2}}}{\Delta t_{\text{ср}} \alpha_{\text{в1}}}, \quad (4.4)$$

де $t_{\text{в1}}, t_{\text{в2}}$ – розрахункові температури повітря в приміщеннях, °С, що приймаються згідно з табл. Д.2 навчального посібника або [2];

$\Delta t_{\text{ср}}$ – допустима за санітарно-гігієнічними вимогами різниця між температурою внутрішнього повітря і приведеною температурою внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції, °С;

$\alpha_{\text{в1}}$ – коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні конструкцій, Вт/(м² · К), що приймається згідно з додатком Е навчального посібника або [2].

Допустима за санітарно-гігієнічними вимогами різниця між температурою внутрішнього повітря і приведеною температурою внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції, $\Delta t_{\text{ср}}$, °С, встановлюється залежно від призначення будинку і виду огорожувальної конструкції згідно з табл. 4.2. [2].

Мінімально допустима температура внутрішньої поверхні, t_{min} , непрозорих огорожувальних конструкцій у зонах теплопровідних включень, у кутах і укосах віконних і дверних прорізів при розрахунковому значенні температури зовнішнього повітря, прийнятому залежно від температурної зони експлуатації будинку згідно з додатком Ж, повинна бути не менше ніж температура точки роси, t_p , за розрахунковими значеннями температури й відносної вологості внутрішнього повітря, які приймаються залежно від призначення будинку згідно з табл. Д.1. навчального посібника або В.2 [2].

Мінімальна температура на внутрішній поверхні, t_{min} , світлопрозорих огорожувальних конструкцій житлових і громадських будинків, включаючи стулки, коробки, імпости й зони дистанційних рамок, при розрахунковому значенні температури зовнішнього повітря, прийнятому згідно з додатком Ж, повинна бути не менше ніж 4 °С, а для непрозорих елементів – не менше ніж температура точки роси, t_p , за розрахунковими значеннями температури й відносної вологості внутрішнього повітря, для виробничих будинків – не менше ніж 0 °С за розрахунковим значенням температури внутрішнього повітря, прийнятими залежно від призначення будинку згідно з табл. Г.2. [2].

Температура внутрішньої поверхні термічно неоднорідної огорожувальної конструкції у зонах теплопровідних включень, у кутах, укосах віконних і дверних прорізів, температура внутрішньої поверхні світлопрозорих огорожувальних конструкцій у зонах стулки, коробки, імпостів, дистанційних рамок, $\tau_{b\ min}$, при перевірці виконання умови за формулою (4.3) визначається на підставі розрахунків двомірних або тримірних температурних полів.

Таблиця 4.2

Допустима за санітарно-гігієнічними вимогами різниця між температурою внутрішнього повітря і приведеною температурою внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції, Δt_{cr} , °С

Призначення будинку	Вид огорожувальної конструкції		
	Стіни (зовнішні, внутрішні)	Покриття та перекриття горищ	Переkritтя над проїздами та підвалами
Житлові будинки, дитячі установи, школи, інтернати	4,0	3,0	2,0
Громадські будинки, крім зазначених вище, адміністративні та побутові, за виключенням приміщень з вологим або мокрим режимом експлуатації	5,0	4,0	2,5
Виробничі будинки з сухим та нормальним режимом експлуатації	7,0	5,0	
Виробничі будинки з вологим та мокрим режимом експлуатації	$t_b - t_p$	$0,8(t_b - t_p)$	
Виробничі будинки з надлишками тепла (більше 23 Вт/м ³)	12	12	

4.3. Метод проектування теплоізоляційної оболонки будівель за тепловитратами будівлі на опалення [2]

Питомі тепловитрати на опалення будинків повинні відповідати умові

$$q_{\text{буд}} \leq E_{\text{max}}. \quad (4.5)$$

де $q_{\text{буд}}$ – розрахункові або фактичні питомі тепловитрати;

E_{max} – максимально допустиме значення питомих тепловитрат на опалення будинку за опалювальний період, кВт · год/м² або кВт · год/м³, що встановлюється згідно з табл. 3.3 додатку 3 навчального посібника залежно від призначення будинку, його поверховості, та температурної зони експлуатації будинку.

Виконання умови (4.5) для будинку, що проектується або експлуатується, перевіряється на підставі результатів енергетичного аудиту будинку, або з використанням математичних моделей теплового режиму будинку.

4.4. Методика розрахунку тепловитрат зовнішнього огороження при експлуатації будівель з урахуванням світлових та теплотехнічних властивостей вікон і рівня теплозахисту стін

Метою запропонованого методу є розрахунок рівня теплового захисту зовнішнього огороження (стіна + вікно), завдяки якому можливо обрати енергоефективну конструкцію, яка забезпечить оптимальний рівень витрат енергії при експлуатації будівлі, не порушуючи нормативні вимоги щодо природного та штучного освітлення [61].

Метод розрахунку полягає у порівнянні двох або декількох варіантів зовнішнього огороження (які забезпечують в розрахунковій точці приміщення нормативне значення КПО) з еталонним зовнішнім огороженням, світлотеплозахисні властивості якого незмінні. Зовнішнє огороження ділиться на дві частини: одна частина (стіна еталона) має постійний рівень теплозахисту, інша (стіна + вікно) – змінний.

Методика розрахунку. На рис. 4.4. (а) зображено зовнішнє огороження з площею $F_{\text{огр}}$ яке складається із вікна з площею $F_{\text{ок}}$ та стіни з площею $F_{\text{ст}} = F_{\text{огр}} + F_{\text{ок}}$. На рис. 4.4. (б) зображено огороження – еталон, з площею $F_{\text{огр}}^{\text{э}} = F_{\text{огр}}$. Огороження-еталон складається зі стіни, яка має дві частини $F_{\text{огр}}^{\text{э}} + F_{\text{ст}}^{\text{э}}$ та вікна-еталону з площею $F_{\text{ок}}^{\text{э}} = F_{\text{огр}}^{\text{э}} + F_{\text{ст}}^{\text{э}}$.

Вихідні параметри для проектування. Розрахункові параметри зовнішнього повітря приймаються згідно зі ДСТУ Н Б В.1.1-27-2010 «Будівельна кліматологія».

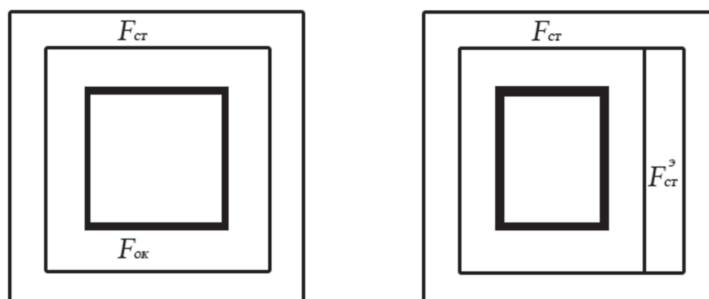


Рис 4.4. а) Зовнішнє огороження з площею $F_{ст} = F_{ок} + F_{ок}$
 б) Зовнішнє огороження – еталон з площею $F_{ст}^3 = F_{ок}$

t_u – середня температура найбільш холодної п'ятиденки забезпеченістю 0,92;

$Z_{ом.пер.}$ – тривалість опалювального періоду.

Розрахункові температури внутрішнього повітря $t_в$ приймається згідно з ДБН В.2.6-31:2006 «Теплова ізоляція будівель».

Кількість градусо-днів, S , °C·днів/рік, опалювального періоду визначається згідно ДСТУ Н Б В.1.1-27-2010 «Будівельна кліматологія» за формулою:

$$S = (t_в - t_{ом.пер.}) / Z_{ом.пер.}$$

де S - кількість градусо-днів опалювального періоду;

$t_в - 18\text{ °C}$ – розрахункова температура внутрішнього повітря;

$t_{ом.пер.}$ та $Z_{ом.пер.}$ – відповідно середня температура, °C і тривалість днів опалювального періоду.

Приведений опір теплопередачі стін $R_{ст}^{np}$ узгоджується з ДБН В.2.6-31:2006 «Теплова ізоляція будівель».

Приведений опір теплопередачі вікон $R_{ок}^{np}$ приймається на підставі сертифікаційних випробувань в кліматичній камері або розрахунком за ДСТУ Б В.2.6-17-2000 (ГОСТ 26602.1-99) «Блоки віконні та дверні. Методи визначення опору теплопередачі».

Загальний коефіцієнт світлопропускання вікон τ_0 визначається на підставі сертифікаційних випробувань за ДСТУ Б В.2.6-20-2000 (ГОСТ 26602.4-99) «Блоки віконні та дверні. Метод визначення загального коефіцієнта пропускання світла» або розрахунком.

При експлуатації будівлі рівень теплозахисту зовнішнього огороження характеризується питомими тепловтратами за опалювальний період (за рік) і питомими максимальними тепловтратами, необхідними для розрахунку потужності опалювальних приладів (за годину).

Питомі тепловтрати зовнішнього огороження (стіна + вікно) за опалювальний період розраховують за формулою:

$$q_{озр} = \frac{q_{ок} F_{ок} + q_{ст} F_{ст}}{F_{озр}} = q_{озр} \frac{F_{ок}}{F_{озр}} + q_{ст} \frac{F_{ст}}{F_{озр}}$$

Так як метод розрахунку передбачає при порівнянні варіантів поділ зовнішнього огороження на дві частини, то в нашому випадку формулу зручно записати у вигляді:

$$q_{озр} = A q_{ок} + B q_{ст}$$

$$\text{де } A = \frac{F_{ок}}{F_{озр}}; B = \frac{F_{ст}}{F_{озр}} = \frac{F_{озр} - F_{ок}}{F_{озр}} - \text{постійні величини.}$$

Для еталонного зовнішнього огороження формула набуває вигляду:

$$q_{озр}^* = \frac{q_{озр}^* F_{ок} + q_{ст}^* F_{ст}}{F_{озр}} = A q_{озр}^* + B q_{ст}^*$$

де $q_{озр}^*$ – питомі тепловтрати вікна-еталона і частини стіни, площею $F_{ст}^*$, які визначається з формули:

$$q_{озр}^* = \frac{q_{ок}}{k_{эф}^{озр}}$$

Критерій енергетичної ефективності зовнішнього огороження згідно з визначенням дорівнює:

$$k_{эф}^{озр} = \frac{q_{ок}}{q_{озр}^*} = \frac{R_{озр}^*}{R_{ок}^{np}}$$

де $R_{озр}^*$ – приведений опір теплопередачі вікна-еталона площею $F_{ок}^*$ та стіни-еталона площею $F_{ст}^*$

$R_{ок}^{np}$ – приведений опір теплопередачі віконного блоку.

$$q_{озр} = A \cdot q_{ок} + B \cdot q_{ст}$$

$$q_{озр}^* = \frac{A}{k_{эф}^{озр}} q_{ок} + B \cdot q_{ст}^*$$

Економію теплової енергії можна визначити за формулою:

$$\Delta q_{озр} = q_{озр} - q_{озр}^* = A q_{ок} \left(1 - \frac{1}{k_{эф}^{озр}} \right) + B (q_{ст} - q_{ст}^*), \text{ Вт/м}^2$$

Враховуючи, що питомі тепловтрати за опалювальний період визначаються за формулою:

$$q = 0,024 \cdot S / R_0^{np}, \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2\cdot\text{год}$$

економію енергії $\Delta q_{озр}$ можна отримати за формулою:

$$\Delta q_{озр} = 0,024 \cdot S \cdot \left[\frac{A}{R_{ок}^{np}} \left(1 - \frac{R_{ок}^{np}}{R_{озр}^э} \right) + B \left(\frac{1}{R_{ст}^{np}} - \frac{1}{R_{ст}^э} \right) \right], \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2\cdot\text{год}$$

Беручи як еталон віконний блок, виконаний за ГОСТ 11214-86 «Вікна та балконні двері дерев'яні з подвійним склінням для житлових і громадських будівель», приведений опір теплопередачі якого складає $R_{ок}^э = 0,4 \text{ м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{Вт}$, а загальний коефіцієнт світлопропускання $\tau_0 = 0,61$ та рівні теплозахисту стін порівнюваних варіантів $R_{ст}^{*э} = R_{ст}^{npэ} \text{ м}^2\text{ } ^\circ\text{C}/\text{Вт}$, отримаємо:

$$\Delta q_{озр} = 0,024 \cdot S \cdot \frac{F_{ок}}{F_{озр}} \left(\frac{1}{R_{ок}^{np}} - \frac{1}{R_{озр}^э} \right), \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2\cdot\text{год}$$

$$\text{де } R_{озр}^{*э} = \frac{1}{(1 - 1,64 \cdot \tau_0) R_{ст}^{np} + 4,1 \cdot \tau_0}, \text{ м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{Вт}$$

Таким чином, знаючи загальний коефіцієнт світлопропускання вікон і теплозахисні властивості зовнішнього огороження, можна швидко і точно за формулою визначити найбільш оптимальну конструкцію зовнішнього огороження, яка при експлуатації будівлі буде мати мінімальні енергетичні витрати.

4.5. Метод теплового неруйнівного контролю

Метод теплового неруйнівного контролю заснований на дистанційному вимірюванні тепловізором температурних полів поверхонь огорожуючих конструкцій, між внутрішніми і зовнішніми поверхнями яких створено перепад температур. В якості показників теплозахисних властивостей, приймають обчислені опори теплопередачі ділянок конструкції. Температурні поля поверхонь огорожувальних конструкцій отримують на екрані тепловізора у вигляді чорно-білого або кольорового зображення, градація яскравості або кольору якого відповідають різним температурам. Тепловізори обладнані пристроєм для висвічування на екрані ізотермічних поверхонь та вимірювання вихідного сигналу, значення якого функціонально пов'язано з вимірюваною температурою поверхні [82].

Методика дає можливість:

- Оперативно протягом декількох годин провести разові натурні обстеження об'єкта, що виключає тривалі (до 2-х місяців зимового часу) натурні спостереження з установкою в конструкції різних датчиків з подальшою обробкою їх свідчень.

- Організувати при необхідності періодичний чи систематичний контроль якості зовнішніх огорожувальних конструкцій в експлуатаційних умовах.

- Змінити рішення по теплозахисту та повітропроникності запроектованих стиків та дати рекомендації по заміні або додатковому застосуванню теплоізоляційних і теплопровідних матеріалів при плановому, аварійному ремонті або при скаргах осіб (організацій), які експлуатують будівлю (споруду).

Завдяки тепловому випромінюванню можливо виявити:

- якість ізолюючих і герметизуючих матеріалів (визначаються ділянки з підвищеним виходом тепла) неправильність функціонування опалювальних систем, систем охолодження, обігріву та кондиціонування повітря;

- часткові та загальні тепловтрати;

- приховані дефекти будівництва – місця протікання повітря та води, відшарування плівки мастики від бетонної поверхні, дефекти віконних блоків і прорізів, неякісне ущільнення, наскрізні щілини;

- погіршення опору теплопередачі — відсутність теплоізоляції, неякісна цегляна кладка, некоректні архітектурні та будівельні рішення тощо;

- дефектні панелі огорожувальних конструкцій — порушення товщини і розстановки утеплювача, осідання утеплювача тощо;

При теплотехнічних обстеженнях зовнішніх стін з тепловізором здійснюють:

- Дослідження температурно-вологісного і повітряного режиму приміщень будівлі;

- Вимірювання температур і термографування заздалегідь визначених ділянок зовнішньої і внутрішньої поверхонь стіни;

- Розшифровку термограмм, отриманих за допомогою тепловізора, і в поданні їх у вигляді ізотерм, тобто лінії однакових радіаційних температур поверхонь;

- Виявлення можливих теплотехнічних неоднорідностей стіновий панелі, заповнень стиків і віконних блоків (скління віконних і дверних блоків допускається тільки обстежити тепловізорами, працюючими в діапазоні електромагнітних хвиль понад 7 мікрон);

- Розрахунку максимальних, мінімальних і середніх температур окремих ділянок внутрішньої і зовнішньої поверхонь огорожувальної конструкції і на підставі їх коефіцієнтів теплотехнічної однорідності (при необхідності), локальних або наведених опорів теплопередачі.

Проведення обстежень зовнішніх огорожувальних конструкцій методом ТНК може здійснюватися за одним із способів:

- пасивному або активному;
- одно- або двосторонньому, комбінованому методу.

До пасивного способу відноситься метод, що дозволяє визначати розподіл температури на поверхні виробу без застосування спеціальних джерел теплової енергії (тобто здійснюється контроль якості виробу без спотворення теплових характеристик виробу).

Односторонній спосіб являє собою реєстрацію температурних полів на одній з поверхонь (внутрішній чи зовнішній) захисної конструкції і може застосовуватися в залежності від мети проведеного обстеження. Так, наприклад, зйомка зовні може бути рекомендована при обстеженні протяжних (багатоповерхових) будівель з метою пошуку конструктивних аномальних ділянок та визначення величини приведенного опору теплопередачі.

Двосторонній спосіб застосовується при детальнішому обстеженні та реєструє розподіл температурних полів з обох сторін огорожі.

Комбінований метод теплового неруйнівного контролю – метод заснований на одночасному застосуванні одностороннього і двостороннього методів теплового неруйнівного контролю.

При проведенні обстежень з застосуванням інфрачервоної камери можна виділити 2 основних етапи:

1. Підготовка та проведення тепловізійної зйомки зі збором всієї необхідної інформації;
2. Обробка результатів: якісний і кількісний аналіз.

Перший етап полягає в реєстрації температурно-вологісних показників оточуючих конструкцію середовищ та інших умов проведення обстеження.

Важливу роль на даному етапі відіграє визначення тривалості (в добах) збору інформації, необхідної для проведення подальших аналізів та отримання об'єктивних результатів обстеження. Слід відзначити той факт, що в ряді випадків даними показником нехтують, створюючи тим самим похибку в визначенні приведенного опору теплопередачі від 50 до 300%.

Другий етап включає проведення двох послідовних стадій: якісного і кількісного аналізу. Якісний (попередній) аналіз термограм полягає в аналізі температурних аномалій і розробці попереднього висновку про стан контрольованого об'єкта або його частини. Кількісний аналіз полягає у комп'ютерній обробці термограмм і рішенні зворотної задачі нестационарної теплопередачі в багатошаровій тривимірній області з відповідними граничними і початковими умовами з подальшим визначенням приведенного опору теплопередачі обстежуваного об'єкта та його окремих елементів. В результаті кількісного аналізу також виробляється фіксування дефектних зон зовнішньої оболонки будівлі.

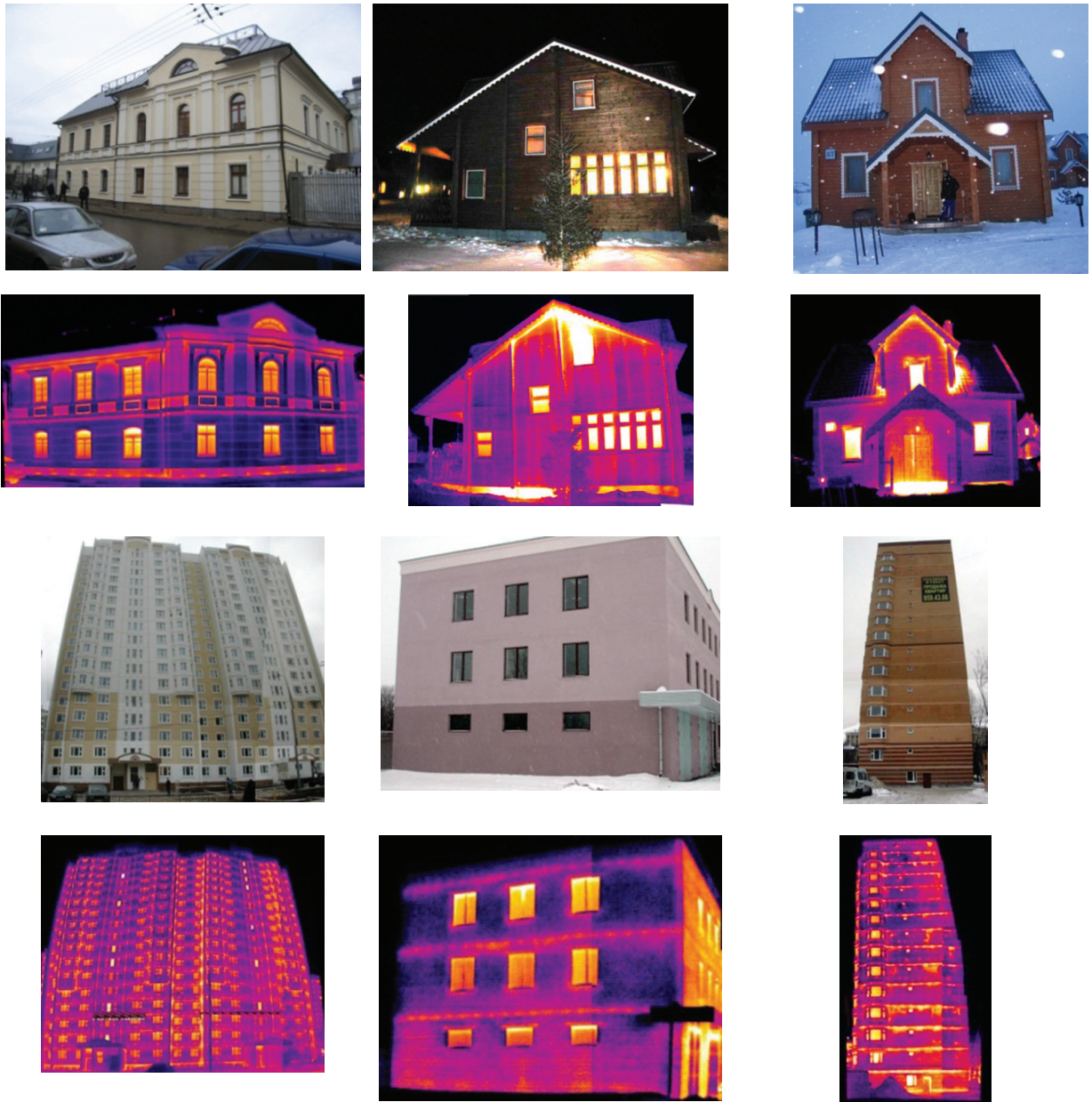


Рис. 4.5. Термограми і фотографії фасадів будівель, отримані при тепловізійному обстеженні

На рис. 4.5. приведені термограми і фотографії фасадів будівель, отримані при тепловізійному обстеженні, на яких градаціями кольору (світло-жовтий і білий) показані ділянки підвищених витрат тепла через конструктивні елементи будівель.