

## Лекція 7. ТЕПЛОВОЛОГІСНИЙ РЕЖИМ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ.

### Санітарно-гігієнічні вимоги до огороджувальних конструкцій.

Зовнішні огороджувальні конструкції треба проектувати таким чином, щоб крім вимоги

$$R_{\Sigma \text{ пр}} \geq R_{q \text{ min}}$$

виконувались умови

$$\Delta t_{\text{пр}} \leq \Delta t_{\text{сг}}, \quad (11.14)$$

$$\tau_{\text{в min}} \geq t_{\text{min}}, \quad (11.15)$$

де  $\Delta t_{\text{пр}}$ ,  $\Delta t_{\text{сг}}$  – розрахунковий і допустимий за санітарно-гігієнічними вимогами температурний перепад між температурою внутрішнього повітря і приведеною температурою внутрішньої поверхні огороджувальної конструкції, °С;

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

$t_{\text{min}}$  – мінімально допустиме значення температури внутрішньої поверхні, °С.

Температурний перепад  $\Delta t_{\text{пр}}$  для огороджувальних конструкцій розраховується в залежності від їх коефіцієнта скління за формулою

$$\Delta t_{\text{пр}} = t_{\text{в}} - \tau_{\text{в пр}},$$

$$\tau_{\text{в пр}} = \frac{\sum_i^n \tau_{\text{вi}} \cdot F_i}{F_{\Sigma}}$$

Значення  $\Delta t_{\text{сг}}$  наведені у табл. 5 ДБН В.2.6-31

Мінімально допустима температура внутрішньої поверхні  $t_{\text{min}}$  непрозорих огороджувальних конструкцій у зонах теплопровідних включень, у кутах і укосах віконних і дверних прорізів при розрахунковому значенні температури зовнішнього повітря (рис. 11.3), повинна бути не менше ніж температура точки роси  $t_{\text{р}}$  за розрахунковими значеннями температури й відносної вологості внутрішнього повітря (дод. 1).

Зовнішня температура  $\approx$  середня температура найбільш холодних 3-х діб.

I зона -22°С II зона -19°С

**Табл.5. Допустима за санітарно-гігієнічними вимогами різниця між температурою внутрішнього повітря і приведеною температурою внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції  $\Delta t_{cr}$ , °C (за [13])**

Призначення будинку	Вид огорожувальної конструкції		
	Стіни (зовнішні, внутрішні)	Покриття та перекриття горищ	Перекриття 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 <sup>3</sup> )	12	12	

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, повинна бути не менше ніж 6 °C, для виробничих будинків – не менше ніж 0 °C. Для непрозорих елементів – не менше ніж температура точки роси  $t_p$ ;

**Побудова графіка падіння температури в товщі термічно однорідного огороження.**

$$t(x) = t_b - \frac{t_b - t_3}{R_\Sigma} (R_b + R_x),$$

**Точка роси.**

**Основи розрахунку вологісного режиму огорожувальних конструкцій.**

Відсутність конденсату на внутрішній поверхні огорожуючої конструкції ще не гарантує, що вона знаходиться в задовільному вологісному стану, тому що зволоження може відбуватися внаслідок конденсації водяної пари у її товщі. Це може статися через те, що кількість води, що може вміщувати в собі повітря у вигляді водяної пари, різко зростає з температурою повітря, а взимку температура внутрішнього повітря зазвичай значно вище температури зовнішнього повітря. На рис. 11.12 наведено графік парціального тиску насиченої водяної пари у повітрі  $E$ , Па, в залежності від температури при нормальному атмосферному тиску. Отже, парціальний тиск насиченої водяної пари з внутрішнього боку огороження буде значно вище, ніж із зовнішнього її боку. Якщо припустити, що відносна вологість  $f$ , %, зовнішнього та внутрішнього повітря приблизно однакова, то згідно з формулою

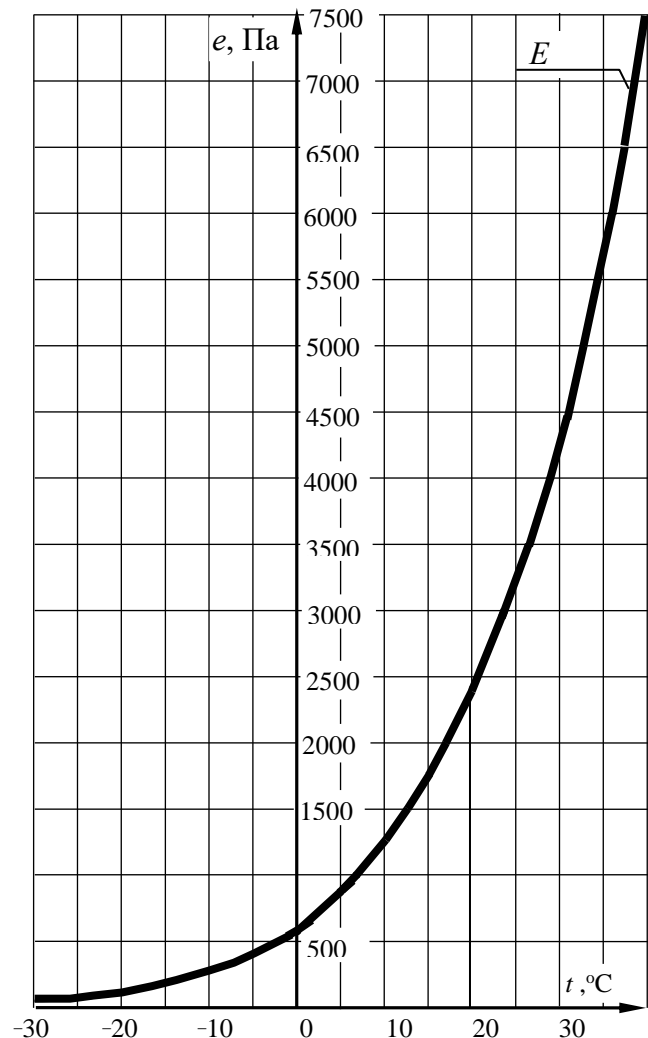
$$e = \frac{fE}{100} \quad (11.16)$$

дійсний парціальний тиск водяної пари  $e$ , Па, з внутрішнього боку огороження теж буде значно вищий, ніж із зовнішнього боку. Внаслідок цього буде мати місце дифузія водяної пари через огороження в напрямі від її внутрішнього боку до зовнішнього<sup>1</sup>.

Розрахунок  $E$ , Па, при температурі  $t$ , °С, от -40 до +40 можна визначити за формулою

$$E = 1,84 \cdot 10^{11} \exp\left(-\frac{5330}{272+t}\right)$$

Метою розрахунку опору паропроникності огорожувальної конструкції є



**Рис. 11.12.** Графік залежності максимального парціального тиску водяної пари у повітрі при нормальному атмосферному тиску

<sup>1</sup> Улітку дифузія водяної пари буде проходити в зворотному напрямку, але цей процес буде проходити значно повільніше внаслідок меншої різниці температур зовнішнього та внутрішнього повітря.

надання їй необхідних якостей, що гарантують відсутність конденсації вологи у її товщі взимку, чи, принаймні, її накопичення з роками.

Для зовнішніх огорожувальних конструкцій будинків, які опалюються, обов'язкове виконання умови:

$$\Delta w \leq \Delta w_d, \quad (11.17)$$

де  $\Delta w$  – збільшення вологості матеріалу у товщі шару конструкції, в якому може відбуватися конденсація вологи, за холодний період року, % за масою;

$\Delta w_d$  – допустиме збільшення вологості матеріалу, в шарі якого може відбуватися конденсація вологи, %, за масою, що визначається залежно від виду матеріалу згідно з табл. 11.6.

**Табл. 11.6. Допустиме збільшення вологості матеріалу  $\Delta w_d$  в конструкції в холодний період року (за [13])**

Найменування матеріалу	Значення $\Delta w_d$ %
Мінераловатні та скловолокнисті вироби	2
Пінополістирол	2,5
Пінополіуретан	3
Плити з карбамідо-формальдегідних пінопластів	7
Ніздрюваті бетони (газобетон, пінобетон, газосилікат тощо.)	1,2
Бетони легкі	1,2
Вироби перлітові	2,0
Плити з природних органічних та неорганічних матеріалів	7
Вироби з кремнезиту	2,5
Цегляне мурування	1,5
Піногазоскло	1,5
Мурування з силікатної цегли	2,0
Засипки з керамзиту, шунгізиту	3
Важкий бетон, цементно-піщаний розчин	2

Зона конденсації визначається за характером розподілу парціального тиску водяної пари,  $e(x)$ , і насиченої водяної пари  $E(x)$  у товщі шарів огорожувальної конструкції. Парціальний тиск водяної пари в товщі шару матеріалу в перерізі  $x$ , Па, визначається за формулою:

$$e(x) = e_B - \frac{e_B - e_3}{R_{e\Sigma}} R_{ex}, \quad (11.18)$$

де  $e_B$  – парціальний тиск водяної пари внутрішнього повітря, Па, що визначається за формулою (11.16) при  $f = f_B$  і  $t = t_B$ ;

$e_3$  – парціальний тиск водяної пари зовнішнього повітря найбільш холодного місяця (дод. 2.);

$R_{e\Sigma}$  – опір паропроникненню огорожувальної конструкції,  $\text{м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{Па} / \text{мг}$ ;  
 $R_{ex}$  – опір паропроникненню частини огорожувальної конструкції від внутрішньої поверхні до перетину на відстані  $x$ ,  $\text{м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{Па} / \text{мг}$ .

Парціальний тиск насиченої водяної пари  $E(x)$ , Па, визначається в залежності від температури (рис. 11.12) в товщі конструкції  $t(x)$ , що розраховується за формулою

$$t(x) = t_B - \frac{t_B - t_{\text{н.х.м}}}{R_\Sigma} (R_B + R_x), \quad (11.19)$$

де  $t_B$ ,  $t_{\text{н.х.м}}$  – розрахункові температури внутрішнього (табл.11.1) і зовнішнього повітря найбільш холодного місяця (дод. 2),  $^{\circ}\text{C}$ ;

$R_\Sigma$ ,  $R_B$  – теж саме, що у формулі (11.4);

$R_x$  – опір теплопередачі частини огорожувальної конструкції від внутрішньої поверхні до перерізу  $x$ ,  $\text{м}^2 \cdot \text{K} / \text{Вт}$ .

Опір паропроникненню огорожувальної конструкції та окремих її шарів розраховується за формулами:

$$R_{e\Sigma} = \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\mu_i}, \quad (11.20)$$

$$R_{ex} = \sum_{i=1}^m \frac{\delta_i}{\mu_i} + \frac{x - \sum_{i=1}^m \delta_i}{\mu_{m+1}}, \quad (11.21)$$

де  $n$  – загальна кількість шарів в конструкції;

$m$  – кількість повних шарів від внутрішньої поверхні до перерізу  $x$ ;

$\delta_i$  – товщина  $i$ -го шару, м;

$\mu_i$  – коефіцієнт паропроникності матеріалу  $i$ -го шару,  $\text{мг} / (\text{м} \cdot \text{год} \cdot \text{Па})$ , що визначається за додатком К;

$\mu_{m+1}$  – коефіцієнт паропроникності матеріалу шару,  $\text{мг} / (\text{м} \cdot \text{год} \cdot \text{Па})$ , де розташований переріз  $x$ .

*Коефіцієнт паропроникності* характеризує ступень паропроникності матеріалів і показує кількість водяної пари  $g$ , мг, що проходить крізь матеріал площею  $1 \text{ м}^2$  і товщиною  $1 \text{ м}$  на протязі  $1 \text{ год}$  при різниці пружностей водяної пари з обох боків  $1 \text{ Па}$ . Його значення приймаються за [13].

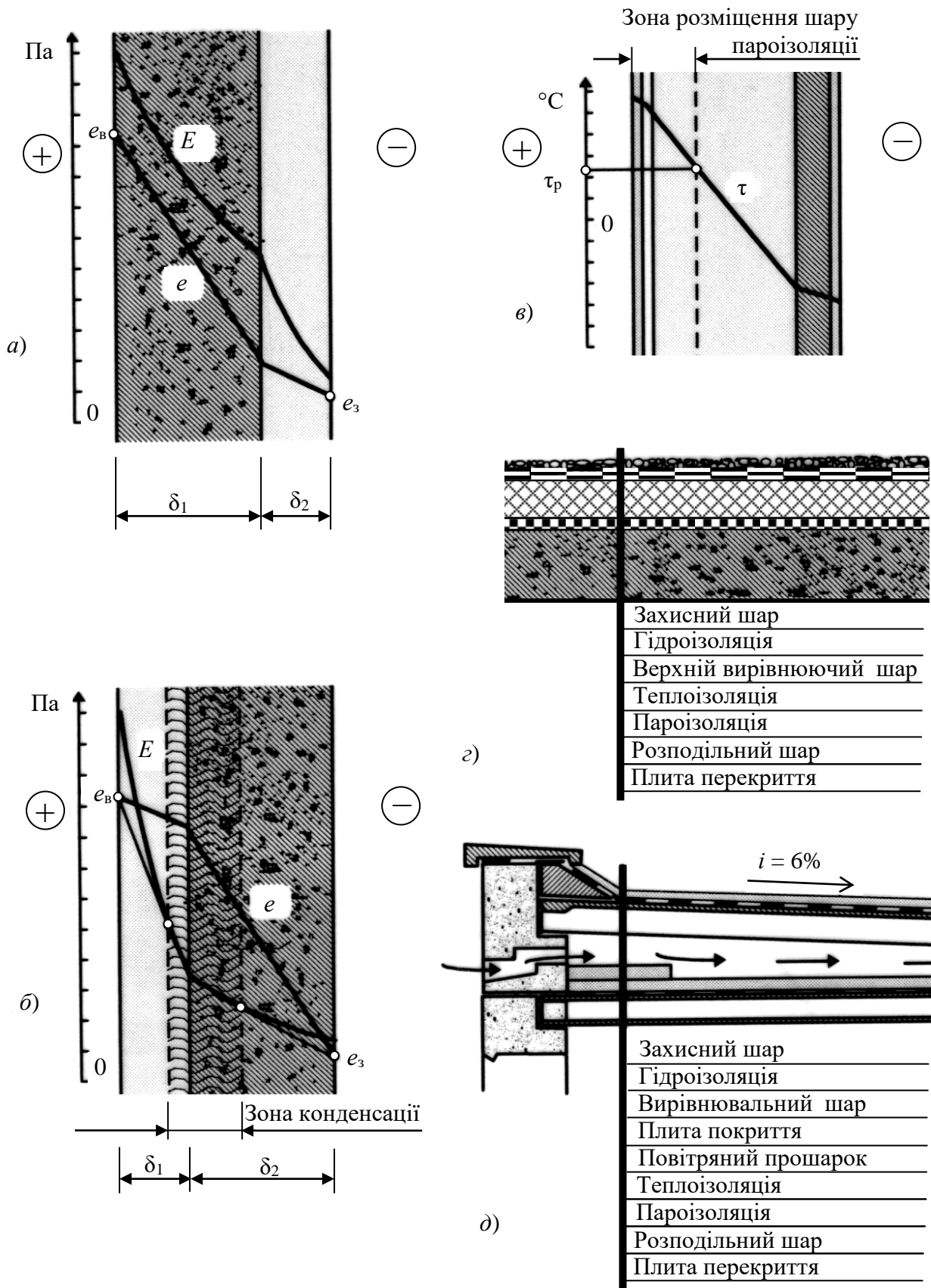
У разі, якщо  $e(x) < E(x)$  для будь-якого  $x \in [0, \delta]$  (рис. 11.13, а), умова за формулою (11.17) вважається виконаною.

У разі, якщо у результаті розрахунку у будь-якому з перерізів огорожувальної конструкції вийшло  $e(x) \geq E(x)$  (рис. 11.13, б), проводиться розрахунок приросту вологи у шарі матеріалу  $\Delta w$ , у якому відбувається конденсація вологи.

**ДСТУ-Н Б В.2.6-192:2013** Настанова з розрахункової оцінки тепловологісного стану огорожувальних конструкцій

### **Принципи утеплення огорожувальних конструкцій.**

Основним конструктивним заходом для недопущення конденсації вологи в огорожувальній конструкції є раціональне розташування в ній шарів з різних матеріалів. Краще за все матеріали в огорожувальній конструкції розміщувати таким чином, щоб із внутрішнього боку знаходились матеріали густі, теплопровідні та малопаропроникні, а із зовнішнього боку навпаки – пористі, малотеплопровідні та більш паропроникні (рис. 11.13, *a*). При такому розміщенні опір теплопередачі зростає, а опір паропроникності зменшується зсередини назовні. При цьому максимальна пружність водяної пари в огороженні (лінія *E*) в будь-якому місці буде мати значення вище, ніж значення дійсної пружності водяної пари (лінія *e*), що виключає можливість конденсації водяної пари. Розміщення ж матеріалів навпаки, може привести до того, що лінії *E* та *e*



**Рис. 11.13. Конструктивні заходи нормалізації вологісного стану огорджувальних конструкцій**

а – зовнішня стіна з утеплювачем, що розташований з зовнішнього боку; б – зовнішня стіна з утеплювачем, що розташований з внутрішнього боку; в – визначення місця для розміщення шару пароізоляції; г – невентильоване покриття; д – вентильоване покриття

будуть перетинатися (рис. 11.13, б). Це вказує на наявність в огороженні умов для конденсації в ньому водяної пари. При цьому для побудови лінії дійсної зміни пружності водяної пари в огороженні з точок на її поверхнях  $e_b$  та  $e_3$  проводяться дотичні до лінії  $E$ . Між точками дотику буде знаходитись зона конденсації, тобто та частина огороження, в якій буде мати місце конденсація водяної пари.

Якщо від раціонального з точки зору дифузії водяної пари розміщення матеріалів в огороджувальній конструкції доводиться відступати з якихось технічних чи конструктивних міркувань, то для захисту від конденсації в ній вологи можна використовувати пароізоляційні шари, тобто шари з паронепроникних матеріалів чи з матеріалів, що мають дуже незначну паропроникність<sup>2</sup>. При цьому пароізоляційний шар необхідно розташовувати в огороджувальній конструкції біля внутрішньої поверхні не далі площини, температура якої дорівнює точці роси внутрішнього повітря (рис. 1.13, в).

Якщо в якості пароізоляційного шару стіни застосовується глазурована чи скляна плитка на цементному розчині, то для підвищення його пароізоляційних якостей у розчин треба додати речовини, які зроблять його водонепроникним (цезезит, рідке скло і т. ін.). Покриття внутрішньої поверхні масляною фарбою дає хороший результат лише у тому випадку, якщо фарба наноситься на суху поверхню огороження після її ретельного шпаклювання.

При проектуванні та улаштуванні невентильованої покрівлі (рис. 11.13, з) для забезпечення її задовільного вологісного стану необхідно пам'ятати наступне:

1. Захист зовнішньої поверхні покрівлі піщаною чи гравійною посипкою, плитами і т. ін. запобігає передчасному старінню та надмірному нагріванню покрівельного покриття. Крім того, покрівля завжди повинна мати ухил для стоку води. Калюжі на покрівельному килимі викликають створення тріщин та прискорюють їх розвиток;
2. Бітумні покриття повинні бути, в крайньому випадку, трьохшарові та мати три шари обмазки. При цьому треба ретельно, без пропусків, приклеювати кожен окремий шар покриття. При використанні інших покрівельних матеріалів необхідно мати на увазі, що мінімальну кількість шарів треба вибирати з урахуванням необхідної механічної стійкості;
3. Помилки при улаштуванні верхнього вирівнювального шару (над шаром утеплювача) призводять до ушкодження покрівельного покриття;
4. Теплоізоляційний шар повинен бути розрахований таким чином, щоб увесь необхідний для покрівлі теплозахист був забезпечений за його рахунок. Теплоізоляційний шар при укладанні треба зберігати сухим;
5. Під шаром теплоізоляції повинна бути посилена пароізоляція. Для цього придатні: алюмінієва фольга, рулонний покрівельний матеріал на основі

---

<sup>2</sup> В якості пароізоляційних шарів можуть застосовуватися: плівка поліетиленова –  $R_n = 7,3 \text{ м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{па} / \text{мг}$  (при  $\delta = 0,16 \text{ мм}$ ); руберойд –  $R_n = 1,5 \text{ м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{па} / \text{мг}$  (при  $\delta = 1,5 \text{ мм}$ ); пофарбування емалевою чи олійною фарбою –  $R_n = 0,48 \div 0,64 \text{ м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{па} / \text{мг}$  та інші матеріали.



склотканини, який клеїться бітумною мастикою, або покрівельний матеріал на бітумній основі;

6. Під шаром пароізоляції бажано улаштування розподільного шару, який вирівнює по горизонталі місцеві надмірні тиски, що виникають при випаровуванні надмірної кількості конденсату. Для цього може використовуватися перфорований картон чи склотканина на бітумній основі тощо;

7. Нижче пароізоляції не повинно бути ніяких теплоізоляційних шарів. Пустоти плит покриття повинні провітрюватися внутрішнім повітрям.

При проектуванні та улаштуванні вентиляованої покрівлі (рис. 11.13, д) необхідно виконувати наступне:

1. Висота повітряного прошарку повинна бути не менше 15 см. Ще краще, щоб вона досягла 30-60 см. Максимальна довжина прошарку повинна бути не більше 24 м. Якщо покрівля робиться з керамзитобетонних плит з каналами-продухами, що розташовані у підпокрівельній зоні, то розгорнута поверхня каналів повинна приблизно дорівнювати площі покрівлі;

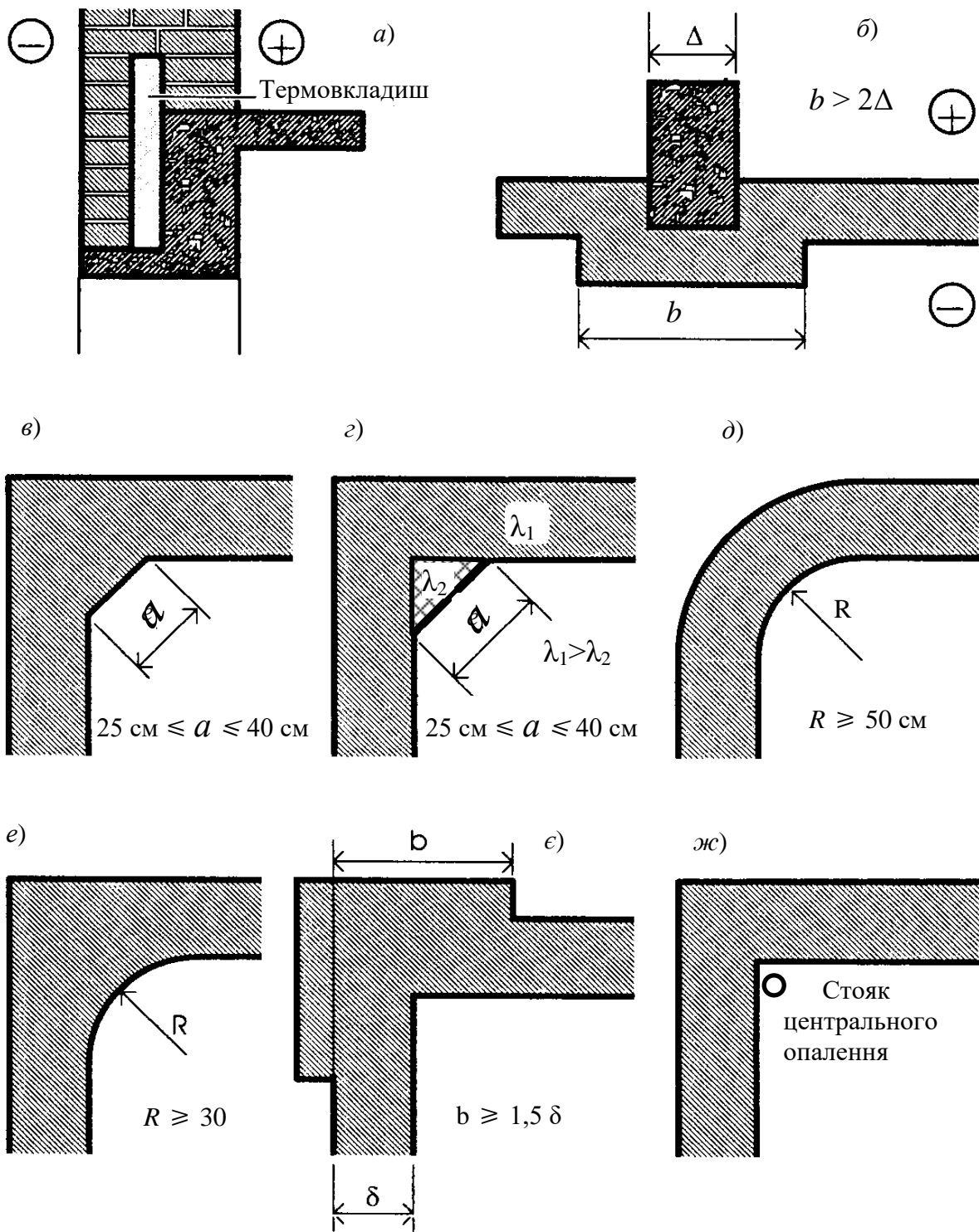
2. Щоб забезпечити хоч невелике теплове тягнення, похил покрівлі повинен бути не менше 6%;

3. На обох протилежних боках покрівлі повинні бути отвори для повітря з робочим перерізом площею, що дорівнює 1/500 площі поверхні покрівлі. Зв'язок між внутрішнім повітрям та прошарком неприпустимий;

4. В усіх випадках, коли достатня вентиляція не може бути гарантована, краще використовувати невентильовану покрівлю;

5. Шари теплоізоляції на нижньому боці несучої оболонки покрівлі розташовувати не слід.

Для усунення конденсату в місцях теплопровідних включень зазвичай застосовують утеплення цих місць термовкладишами (рис. 11.10, а), або влаштовують місцеве потовщення огорожуючої конструкції зі зовнішньої сторони (рис. 11.10, б). Необхідну товщину термовкладиша, або розміри потовщення визначають на основі розрахунку температурних полів [37].



**Рис. 11.10. Утеплювання теплопровідних місць огорожувальних конструкцій**

*a* – використання термовкладишу; *б* – місцеве стовщення стіни; *в* – скошування кутка матеріалом, з якого складена стіна; *г* – скошування кутка матеріалом, що має менший коефіцієнт теплопровідності; *д* – заокруглення рогу будинку з обох його боків; *е* – заокруглення кутка; *з* – улаштування на розі будинку пілястр; *ж* – розміщення у кутку стояка центрального опалення

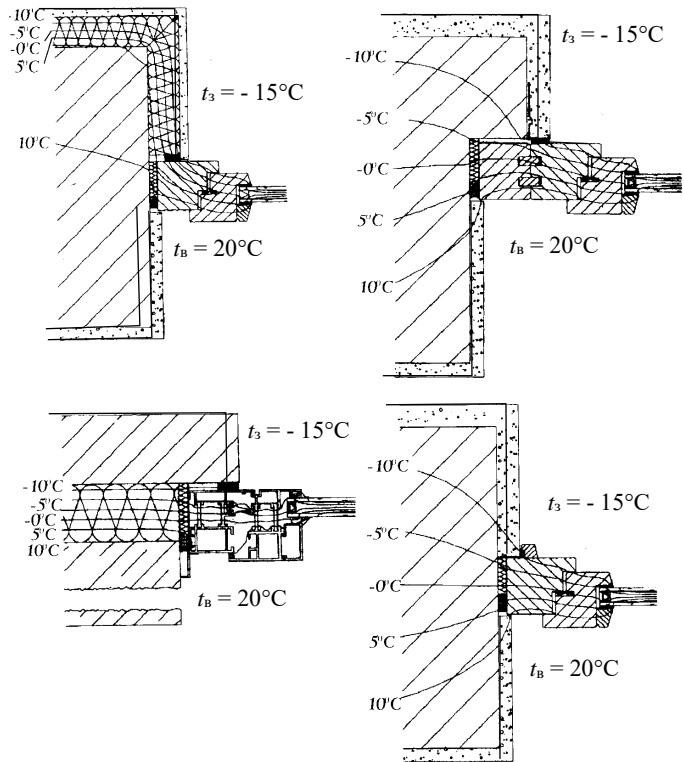
Утеплення кутків можна робити наступними способами:

1. За допомогою скошування кутка вертикальною площиною (рис. 11.10, в). У цьому випадку з внутрішньої сторони рогу будинку прямий кут замінюється на два тупих кута. Ширина скосу повинна бути не менше 25 см, а краще – біля 40 см. Це скошування можна робити або матеріалом, з якого складена стіна, або іншим матеріалом, який має менший коефіцієнт теплопровідності (рис. 11.10, з). Скошування кутка при ширині скосу 25 см знижує різницю температур між гладдю стіни та кутком приблизно на 30 %.
2. За допомогою заокруглення рогу будинку (рис. 11.10, д). Внутрішній радіус заокруглення повинен бути не менше 50 см. Заокруглення рогу при радіусі 50 см знижує різницю температур між гладдю стіни та кутком приблизно на 30%. Заокруглення рогу будинку можна робити як з обох його боків, так і з одного внутрішнього боку (рис. 11.10, е). В останньому випадку утеплення виходить аналогічним до скошування кутка і радіус заокруглення можна зменшити до 30 см.
3. Улаштуванням на розі будинку пілястр (рис. 11.10, є). Ширина пілястр, якщо рахувати від зовнішньої грані рогу, повинна бути не менш ніж півтори товщини стіни. Пілястри повинні мати достатній термічний опір (орієнтовно не менш  $0,22R_{\Sigma}$ ).
4. За допомогою встановлення у кутках стояків центрального опалення (рис. 11.10, ж). Цей засіб є найбільш ефективним, так як в цьому випадку температура кутка може стати навіть вище температури на гладі стіни. Крім того, при цьому не треба додаткових витрат будівельних матеріалів.

Проблема боротьби з конденсацією вологи виникає також у місцях примикання вікон та дверей до стіни. При установленні віконної коробки важно правильно визначити глибину посадки вікна у стінному прорізі, щоб точка роси знаходилась усередині вікна та частини стіни, що до нього примикає. Тільки у цьому випадку водяна пара не буде конденсуватися на внутрішньому боці вікна та стіни. Утворення конденсату всередині віконного блоку, а також у конструкції, що межує з ним, залежить від місця розташування вікна.

У стінах, які виконані з одного матеріалу, шар можливої конденсації розташований від половини до двох третин товщини конструкції від її внутрішньої поверхні, а у багатошаровій стіні – співпадає з шаром утеплювача. В зв'язку з цим, у однорідних стінах рекомендується розміщувати вікна посередині зовнішніх стін, а у стінах з утеплювачем – так, щоб внутрішня поверхня віконної рами була ближче до приміщення, ніж внутрішня поверхня утеплювача. Бажано також використовувати додаткове утеплення укосів [33].

На рис. 11.11 наведені різні варіанти вірного розташування віконних блоків у прорізі, які забезпечують сухість місця з'єднання вікна з огорожуючою конструкцією. На рисунку показано проходження кривих рівних температур (*ізотерм*) у товщі огороження, що отримані при значеннях температур  $t_B = 20\text{ }^\circ\text{C}$  і  $t_3 = -15\text{ }^\circ\text{C}$ . При розрахунковій вологості повітря 50% точка роси в приміщенні  $t_p = 9,3\text{ }^\circ\text{C}$ . Проходження ізотерми  $10\text{ }^\circ\text{C}$  у товщі огороження гарантує при цих умовах сухий стан внутрішніх поверхонь конструкції у місцях приєднання.



**Рис. 11.11. Проходження ізотерм у місцях приєднання при різних варіантах розташування вікна у прорізі**