

**Міністерство освіти і науки України**

**Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка**

**Кафедра архітектури та міського будівництва**



**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

**до самостійної роботи студентів «Теплотехнічний розрахунок  
огороджувальних конструкцій у курсовому проекті «Промислова  
будівля»**

**Полтава 2009**

Методичні вказівки до самостійної роботи студентів «Теплотехнічний розрахунок огорожувальних конструкцій у курсовому проекті «Промислова цивільна будівля». – Полтава: ПолтНТУ, 2009. – 14 с.

Укладачі: В.В. Чернявський, к.т.н., доцент кафедри архітектури та міського будівництва

В.О. Семко, к.т.н., доцент кафедри архітектури та міського будівництва

С.О. Складенко, к.т.н., доцент кафедри архітектури та міського будівництва

Відповідальний за випуск: О.В. Семко, завідувач кафедри архітектури та міського будівництва, доктор технічних наук, професор

Рецензент: О.Б. Кошлатий, доцент кафедри автомобільних доріг та сільських будівель

Затверджено науково-методичною радою університету  
Протокол №1 від 29.10.2009 р.

Комп'ютерна верстка В.О. Семко  
Коректор Н.В. Жигилій

## ВСТУП

Ці методичні вказівки містять вибірку основних нормативних вимог, які впливають на проектування теплоізоляції промислових будівель.

Метою методичних вказівок є допомога студентам спеціальності 6.060101 «Будівництво» в самостійній роботі з теплотехнічних розрахунків зовнішніх огорожувальних конструкцій при виконанні курсового проекту «Промислова будівля».

## ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Для зовнішніх огорожувальних конструкцій опалюваних будинків та споруд і внутрішніх конструкцій, що розділяють приміщення, температура повітря в яких відрізняється на 3 °С та більше, обов'язкове виконання умов:

$$R_{\Sigma пр} \geq R_{q \min} , \quad (1)$$

$$\Delta t_{пр} \leq \Delta t_{cr} , \quad (2)$$

$$\tau_{в \min} > t_{\min} , \quad (3)$$

де  $R_{\Sigma пр}$  – приведений опір теплопередачі непрозорої огорожувальної конструкції чи непрозорої частини огорожувальної конструкції (для термічно однорідних огорожувальних конструкцій визначається опір теплопередачі), приведений опір теплопередачі світлопрозорої огорожувальної конструкції,  $m^2 \cdot K/Вт$ ;

$R_{q \min}$  – мінімально допустиме значення опору теплопередачі непрозорої огорожувальної конструкції чи непрозорої частини огорожувальної конструкції, мінімальне значення опору теплопередачі світлопрозорої огорожувальної конструкції,  $m^2 \cdot K/Вт$ ;

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

$\Delta t_{cr}$  – допустима за санітарно-гігієнічними вимогами різниця між температурою внутрішнього повітря та приведеною температурою внутрішньої поверхні огорожувальної 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.

У ході курсового проектування підбір товщини утеплювача проводимо лише за умови (1).

Мінімально допустиме значення  $R_{q\min}$  опору теплопередачі непрозорих огорожувальних конструкцій, світлопрозорих огорожувальних конструкцій, дверей та воріт промислових (сільськогосподарських) будинків устанавлюється згідно з таблицею 1 залежно від температурної зони експлуатації будинку, що приймається за рисунком 1, тепловологісного режиму внутрішнього середовища, який визначають за таблицею 4, і теплової інерції огорожувальних конструкцій  $D$ , котра розраховується за формулою

$$D = \sum_{i=1}^n R_i s_{ip}, \quad (4)$$

де  $R_i$  – термічний опір  $i$ -го шару конструкції, що розраховується за формулою

$$R_i = \frac{\delta_i}{\lambda_{ip}}, \quad (5)$$

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

$\lambda_{ip}$  – теплопровідність матеріалу  $i$ -го шару конструкції в розрахункових умовах експлуатації (згідно з таблицею 6), Вт/(м · К);

$s_{ip}$  – коефіцієнт теплосасвоєння матеріалу  $i$ -го шару конструкції в розрахункових умовах експлуатації (згідно з таблицею 6), Вт/(м<sup>2</sup>·К);

$n$  – кількість шарів у конструкції за напрямком теплового потоку.

Опір теплопередачі термічно однорідної непрозорої огорожувальної конструкції (одношарова чи багатшарова огорожувальна конструкція, що не має у своєму об'ємі теплопровідних уключень), розраховується за формулою

$$R_{\Sigma} = \frac{1}{\alpha_e} + \sum_{i=1}^n R_i + \frac{1}{\alpha_s} = \frac{1}{\alpha_e} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_{ip}} + \frac{1}{\alpha_s}, \quad (6)$$

де  $\alpha_e, \alpha_s$  – коефіцієнти тепловіддачі внутрішньої і зовнішньої поверхонь огорожувальної конструкції, Вт/(м<sup>2</sup> · К), які приймаються відповідно таблиці 2.

Розрахункові вологісні умови експлуатації при розрахунках опору теплопередачі огорожувальних конструкцій приймаються залежно від розрахункового вологісного режиму експлуатації приміщення згідно з таблицею 3. Розрахунковий вологісний режим експлуатації приміщення визначається за таблицею 4, виходячи з розрахункових значень температури та відносної вологості внутрішнього повітря, значення яких приймаються за таблицею 5. Розрахункові значення теплофізичних характеристик матеріалів приймаються згідно з таблицею 6.

Таблиця 1 – Мінімально допустиме значення опору теплопередачі огорожувальної конструкції промислових будинків  $R_{q \min}$ ,  $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$  (за таблицею 2 [1])

Вид огорожувальної конструкції та тепловологісний режим експлуатації будинків	Значення $R_{q \min}$ для температурної зони, $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$			
	I	II	III	IV
Зовнішні непрозорі стіни будинків — із сухим і нормальним режимом з конструкціями з: $D > 1,5$ $D \leq 1,5$ — з вологим і мокрим режимом з конструкціями з: $D > 1,5$ $D \leq 1,5$ — з надлишками тепла (більше ніж $23 \text{ Вт}/\text{м}^3$ )	1,5 2,0  1,6 2,2 0,55	1,3 1,8  1,4 2,0 0,45	1,2 1,7  1,2 1,8 0,45	0,7 1,2  0,9 1,5 0,35
Покриття й перекриття будинків — із сухим і нормальним режимом з конструкціями з: $D > 1,5$ $D \leq 1,5$ — з вологим і мокрим режимом з конструкціями з: $D > 1,5$ $D \leq 1,5$ — з надлишками тепла (більше ніж $23 \text{ Вт}/\text{м}^3$ )	  1,6 2,1  1,6 1,8 0,55	  1,5 2,0  1,5 1,7 0,45	  1,3 1,8  1,4 1,5 0,45	  0,9 1,1  1,2 1,4 0,35
Перекриття над проїздами й підвалами з конструкціями з: — $D > 1,5$ — $D \leq 1,5$	1,8 2,2	1,7 2,0	1,6 1,9	1,4 1,7
Двері й ворота будинків: — із сухим і нормальним режимом — з вологим та мокрим режимом — з надлишками тепла (більше ніж $23 \text{ Вт}/\text{м}^3$ )	0,55 0,72 0,2	0,55 0,65 0,2	0,5 0,6 0,2	0,42 0,54 0,2
Вікна й zenітні ліхтарі будинків: — із сухим і нормальним режимом — з вологим і мокрим режимом — з надлишками тепла (більше ніж $23 \text{ Вт}/\text{м}^3$ )	0,42 0,45 0,18	0,39 0,42 0,18	0,39 0,42 0,18	0,32 0,35 0,18



Рисунок 1 – Карта-схема температурних зон України (за додатком В [1])

Таблиця 2 – Розрахункові значення коефіцієнтів тепловіддачі внутрішньої  $\alpha_B$  та зовнішньої  $\alpha_3$  поверхонь огорожувальних конструкцій (за додатком Е [1])

Тип конструкції	Коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м <sup>2</sup> · К)	
	$\alpha_B$	$\alpha_3$
Зовнішні стіни, дахи, покриття, перекриття над проїздами плоскі та з ребрами при відношенні висоти ребра $h$ до відстані між гранями $b$ сусідніх ребер $h/b \leq 0,3$ $h/b > 0,3$	8,7 7,6	23 23
Перекриття горищ та холодних підвалів	8,7	12
Перекриття над холодними підвалами і технічними поверхами, що розташовані нижче від рівня землі	8,7	6
Вікна, балконні двері, вітражі та світлопрозорі фасадні системи	8,0	23
Зенітні ліхтарі	9,9	23

Таблиця 3 – Вологісні умови експлуатації матеріалу в огорожувальних конструкціях (за додатком К [1])

Вологісний режим приміщень за таблицею 4	Умови експлуатації
Сухий	А
Нормальний	Б
Вологий	Б
Мокрий	Б
<u>Примітка.</u> Матеріали внутрішніх конструкцій будинків із нормальним режимом експлуатації розраховуються для умов експлуатації А.	

Таблиця 4 – Градація вологісного режиму приміщень (за табл. Г.1 додатка Г [1])

Вологісний режим	Вологість внутрішнього повітря $\varphi_B$ , %, за температури $t_B$		
	$t_B \leq 12$ °С	$12 < t_B \leq 24$ °С	$t_B > 24$ °С
Сухий	$\varphi_B < 60$	$\varphi_B < 50$	$\varphi_B < 40$
Нормальний	$60 \leq \varphi_B \leq 75$	$50 \leq \varphi_B \leq 60$	$40 \leq \varphi_B \leq 50$
Вологий	$75 < \varphi_B$	$60 < \varphi_B \leq 75$	$50 < \varphi_B \leq 60$
Мокрий	-	$75 < \varphi_B$	$60 < \varphi_B$

Таблиця 5 – Розрахункові значення температури і вологості повітря промислових цехів (за таблицею 1.23 [2])

Цех	Розрахункова температура внутрішнього повітря $t_{в}$ , °С	Розрахункове значення відносної вологості $\phi_{в}$ , %
Металоконструкцій, механічний, модельний, інструментальний, зварний	16	≤49
Залізобетонних виробів, керамічний, гальванічний	16	50-60
Гарячого штампування, ковальський, пресовий гарячий, термічний	20	≤45
Котельне відділення ТЕЦ, мартенівський, охолоджувальне відділення, пічний, склоплавильний	24	30

Таблиця 6 – Значення теплопровідності матеріалу в розрахункових умовах експлуатації (за таблицею Л.1 додатка Л [1])

№ з/п	Назва матеріалу	Густина $\rho_0$ , кг/м <sup>3</sup>	Теплопровідність $\lambda_p$ , Вт/(м·К)		Коефіцієнт теплотасвоєння $s$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	
			А	Б	А	Б
1	2	3	4	5	6	7
1	Плити з мінеральної вати на синтетичному зв'язуючому негофрованої структури	75	0,055	0,062	0,55	0,61
		125	0,060	0,070	0,73	0,82
		150	0,055	0,066	0,75	0,87
		175	0,058	0,072	0,83	0,98
		200	0,064	0,081	0,93	1,11
2	Плити з мінеральної вати на синтетичному зв'язуючому гофрованої структури	175	0,065	0,079	0,88	1,04
		200	0,071	0,087	0,98	1,16
3	Плити негорючі теплоізоляційні базальто-волокнисті	40	0,053	0,059	0,58	0,66
		90	0,050	0,054	0,48	0,54



## Продовження таблиці 6

1	2	3	4	5	6	7
4	Мати прошивні із мінеральної вати теплоізоляційні	75	0,060	0,064	0,55	0,61
		125	0,064	0,070	0,73	0,82
5	Мати мінераловатні прошивні будівельні	70	0,049	0,054	0,48	0,54
		95	0,053	0,059	0,58	0,66
6	Мати прошивні теплоізоляційні	50	0,045	0,048	0,39	0,43
7	Вата мінеральна	80	0,060	0,064	0,55	0,61
		100	0,064	0,070	0,71	0,80
8	Плити пінополістирольні	15	0,045	0,055	0,28	0,33
		25	0,043	0,053	0,34	0,40
		35	0,041	0,050	0,40	0,46
		50	0,040	0,045	0,46	0,53
9	Плити пінополістирольні екструзійні	50	0,038	0,043	0,47	0,54
		80	0,041	0,049	0,59	0,73
10	Плити пінополістирольні екструзійні	20	0,039	0,041	0,29	0,32
		25	0,038	0,040	0,32	0,36
		30	0,037	0,039	0,34	0,39
11	Плити пінополістирольні екструзійні	39	0,037	0,037	0,40	0,40
12	Газо- та пінозолобетон	1000	0,44	0,5	6,86	8,01
		1200	0,52	0,58	8,17	9,46
13	Дуб поперек волокон	700	0,18	0,23	5,0	5,86
14	Дуб уздовж волокон	700	0,35	0,41	6,9	7,83
15	Фанера клеєна	600	0,15	0,18	4,22	4,73
16	Картон облицювальний	1000	0,21	0,23	6,2	6,75
17	Картон будівельний багатошаровий	650	0,15	0,18	4,26	4,89
18	Кладка з цегли керамічної порожнистої густиною 1400 кг/м <sup>3</sup> (брутто) на цементно-піщаному розчині	1600	0,58	0,64	7,91	8,48

## Продовження таблиці 6

1	2	3	4	5	6	7
19	Кладка з цегли керамічної порожнистої густиною 1300 кг/м <sup>3</sup> (брутто) на цементно-піщаному розчині	1400	0,52	0,58	7,01	7,56
20	Кладка з цегли керамічної порожнистої густиною 1000 кг/м <sup>3</sup> (брутто) на цементно-піщаному розчині	1200	0,47	0,52	6,16	6,62
21	Залізобетон	2500	1,92	2,04	17,98	18,95
22	Бетон на гравії або щебені з природного каменю	2400	1,74	1,86	16,77	17,88
23	Розчин цементно-піщаний	1600	0,70	0,81	8,69	9,76
24	Розчин складний (пісок, вапно, цемент)	1700	0,70	0,87	8,95	10,42
25	Розчин вапняно-піщаний	1800	0,76	0,93	9,6	11,09
26	Кладка з цегли глиняної звичайної на цементно-піщаному розчині	1800	0,70	0,81	9,2	10,12
27	Кладка з цегли глиняної звичайної на цементно-шлаковому розчині	1700	0,64	0,76	8,64	9,7
28	Кладка з цегли глиняної звичайної на цементно-перлітовому розчині	1600	0,58	0,70	8,08	9,23
29	Кладка з цегли силікатної на цементно-піщаному розчині	1800	0,76	0,87	9,77	10,9
30	Листи азбестоцементні	1600	0,35	0,41	6,14	6,8
		1800	0,47	0,52	7,55	8,12
31	Матеріали бітумні, бітумно-полімерні покрівельні та гідроізоляційні	1000	0,17	0,17	4,56	4,56
		1200	0,22	0,22	5,69	5,69
		1400	0,27	0,27	6,8	6,8
32	Асфальтобетон	2100	1,05	1,05	16,43	16,43
33	Руберойд, пергамін	600	0,17	0,17	3,53	3,53

## ПРИКЛАД ТЕПЛОТЕХНІЧНОГО РОЗРАХУНКУ ЗОВНІШНЬОЇ СТІНИ

Обчислити товщину утеплювача зовнішньої стіни цеху залізобетонних виробів.

Згідно з вихідними даними на проектування:

Місце будівництва – м. Львів.

Конструкція зовнішньої стіни – цегляна кладка з утеплювачем з зовнішньої сторони стіни.

Товщину цегляної кладки несучої стіни приймаємо 510 мм конструктивно, за вимогами міцності. Розрахункова схема буде мати вигляд, представлений на рисунку 2.

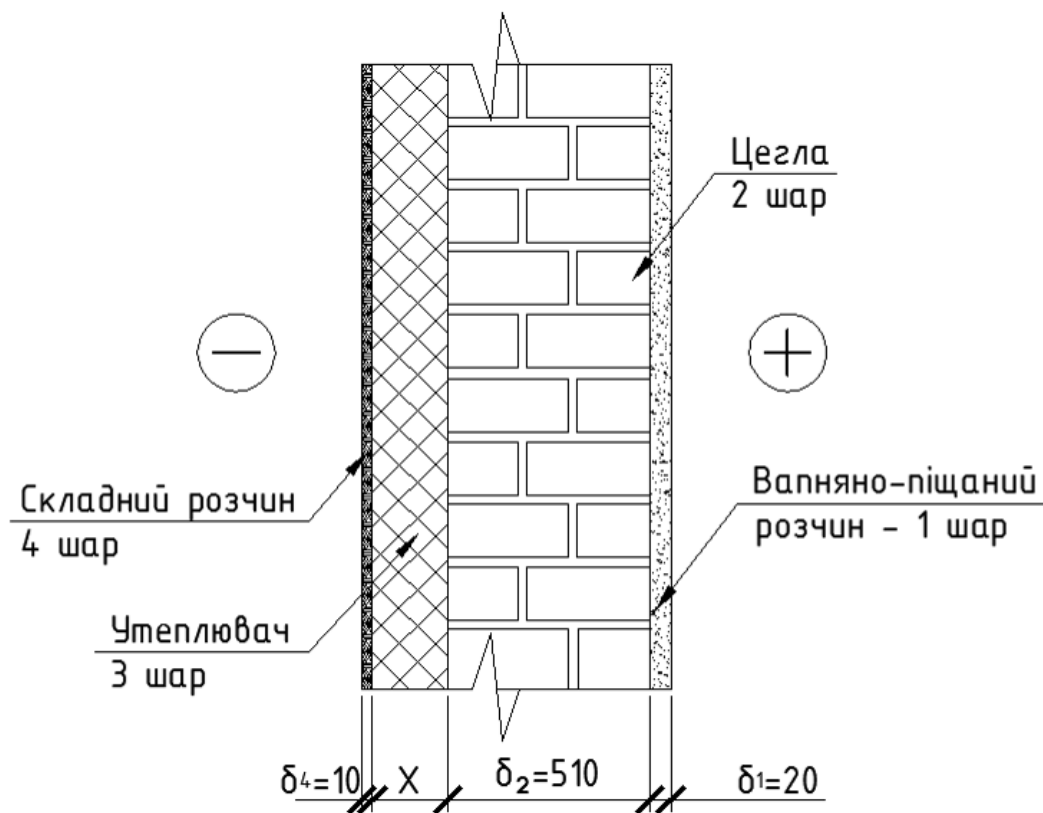


Рисунок 2 – Розрахункова схема зовнішньої стіни

У рамках курсового проекту виконуємо перевірку лише за формулою (1).

Для цеху залізобетонних виробів згідно з таблицею 5 цих методичних вказівок розрахункові значення можуть бути наступними: температура  $t_v = 16^\circ\text{C}$ , відносна вологість  $\varphi_v = 55\%$ .

Тоді, із зазначених умов, за таблицею 4 (таблицею Г1[1]) вологісний режим приміщення – нормальний.

Умови експлуатації, що встановлюються за таблицею 4 ( додатком К [1]), призначаються за літерою «Б».

Розрахункові значення теплопровідності ( $\lambda_B$ ) та коефіцієнта теплозасвоєння ( $s_B$ ) згідно із густиною матеріалу знаходимо за таблицею 6 (за додатком Л, таблиця Л1[1]) і наводимо в таблиці 7.

Таблиця 7 – Розрахункові дані до прикладу

№ шару	Найменування шару	Густина $\rho_o$ , кг/м <sup>3</sup>	Товщина $\delta$ , м	Теплопровідність $\lambda_{ip}$ , Вт/(м·К)	Коеф. теплозасвоєння $s_i$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·К)
1	Внутрішня штукатурка з вапняно-піщаного розчину	1800	0,02	0,93	11,09
2	Кладка цегляна з повнотілої глиняної цегли	1800	0,51	0,81	10,12
3	Плити з мінеральної вати на синтетичному зв'язуючому негофрованої структури	75	?	0,062	0,61
4	Фактурно-захисний шар (складний розчин)	1700	0,01	0,87	10,42

### Розрахунок

Розрахунок проведемо методом ітерацій. Для початку задамося, що значення теплової інерції  $D$  знаходиться в інтервалі  $D > 1,5$ .

1. Місто Львів за рисунком 1 (додаток В [1]) знаходиться в II температурній зоні України. Мінімально допустиме значення опору теплопередачі зовнішньої стіни при  $D > 1,5$  згідно з таблицею 1 (таблиця 2 [1]) становить

$$R_{qmin} = 1,3 \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}.$$

2. Записуємо формулу (6) опору теплопередачі для цієї чотиришарової конструкції

$$R_{\Sigma} = \frac{1}{\alpha_B} + \frac{\delta_1}{\lambda_{1p}} + \frac{\delta_2}{\lambda_{2p}} + \frac{\delta_3}{\lambda_{3p}} + \frac{\delta_4}{\lambda_{4p}} + \frac{1}{\alpha_3}.$$

3. Приймаючи  $R_{\Sigma} = R_{q\min}$ , знаходимо товщину утеплювача

$$\delta_3 = \left( R_{q\min} - \frac{1}{\alpha_B} - \frac{\delta_1}{\lambda_1} - \frac{\delta_2}{\lambda_2} - \frac{\delta_4}{\lambda_4} - \frac{1}{\alpha_3} \right) \cdot \lambda_3,$$

де  $\alpha_B = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$  – коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні, приймається за таблицею 2 (додатком Е [1]),

$\alpha_3 = 23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$  – коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні, приймається за таблицею 2 (додатком Е [1]).

Тоді

$$\begin{aligned} \delta_3 &= \left( 1,3 - \frac{1}{8,7} - \frac{0,02}{0,93} - \frac{0,51}{0,81} - \frac{0,01}{0,87} - \frac{1}{23} \right) \cdot 0,062 = \\ &= (1,3 - 0,115 - 0,022 - 0,630 - 0,011 - 0,043) \cdot 0,062 = 0,479 \cdot 0,062 = 0,03 \text{ м}. \end{aligned}$$

4. Згідно з розрахунком можна запропонувати утеплювач товщиною 50 мм, як найближчу більшу за мінімально необхідну його уніфіковану товщину.

5. Опір теплопередачі, з урахуванням запропонованої товщини утеплювача, становить

$$\begin{aligned} R_{\Sigma} &= \frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,93} + \frac{0,51}{0,81} + \frac{0,05}{0,062} + \frac{0,01}{0,87} + \frac{1}{23} = \\ &= 0,115 + 0,022 + 0,630 + 0,806 + 0,011 + 0,043 = 1,627 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}. \end{aligned}$$

6. Значення теплової інерції зовнішньої стіни при прийнятій товщині утеплювача буде

$$\begin{aligned} D &= \frac{\delta_1}{\lambda_{1p}} \times s_1 + \frac{\delta_2}{\lambda_{2p}} \times s_2 + \frac{\delta_3}{\lambda_{3p}} \times s_3 + \frac{\delta_4}{\lambda_{4p}} \times s_4 = \\ &= \frac{0,02}{0,93} \times 11,09 + \frac{0,51}{0,81} \times 10,12 + \frac{0,05}{0,062} \times 0,61 + \frac{0,01}{0,87} \times 10,42 = \\ &= 0,244 + 6,376 + 0,492 + 0,115 = 7,277. \end{aligned}$$

7. Умови (1) [1]  $R_{\Sigma} > R_{qmin}$  та припущення  $D > 1,5$  виконуються. Товщина утеплювача прийнята правильно.

## ЛІТЕРАТУРА

1. ДБН В.2.6-31-2006. Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція будівель. – К.: Мінбуд України, 2006. – 71 с.
2. Трепененков Р.И. Альбом чертежей конструкций и деталей промышленных зданий: Учеб. пособ. для вузов. – М.: Стройиздат, 1980. – 284 с.