

АНАЛІЗ РОЗВИТКУ НОРМАТИВНИХ ВИМОГ ДО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕПЛОВОЇ НАДІЙНОСТІ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ

Керівник – к.т.н., доц. Юрін О.І.

Магістрант – Прозоров Д.О.

Мета:

проаналізувати зміни вимог до опору теплопередачі огороджувальних конструкцій в нормах проектування різних років, а також вплив цих змін на рівень теплової надійності та економічні показники стін цивільних будівель

Завдання:

1. За результатами бібліографічного огляду проаналізувати етапи розвитку та відмінності нормативних документів різних років видання, зміни вимог до огороджувальних конструкцій будівель та засоби забезпечення їх теплової надійності.

2. Сформувати репрезентативну мережу метеостанцій України та електронну базу метеорологічних даних з температури атмосферного повітря, необхідних для проектування теплозахисної оболонки будівель.

3. Провести порівняльний аналіз параметрів температури атмосферного повітря для проектування теплозахисної оболонки будівель, встановлених нормативними документами з будівельної кліматології різних років видання.

4. Розробити методичку визначення основних кліматичних параметрів опалювального періоду за метеорологічними даними для конкретного району будівництва.

5. Для усіх метеостанцій з обраної мережі проаналізувати значення необхідного опору теплопередачі та товщини теплоізоляційних шарів типових стін житлових і громадських будівель, запроектованих за нормативними документами різних років.

6. Для усіх метеостанцій з обраної мережі визначити втрати тепла протягом опалювального періоду через стіни житлових і громадських будівель, запроектовані за нормативними документами різних років.

7. З урахуванням фактичних тепловтрат і початкової вартості типових стін цивільних будівель проаналізувати економічну ефективність від підвищення теплових характеристик стін, яке реалізоване в українських нормах проектування ДБН В.2.6-31:2006 та ДБН В.2.6 – 31:2016

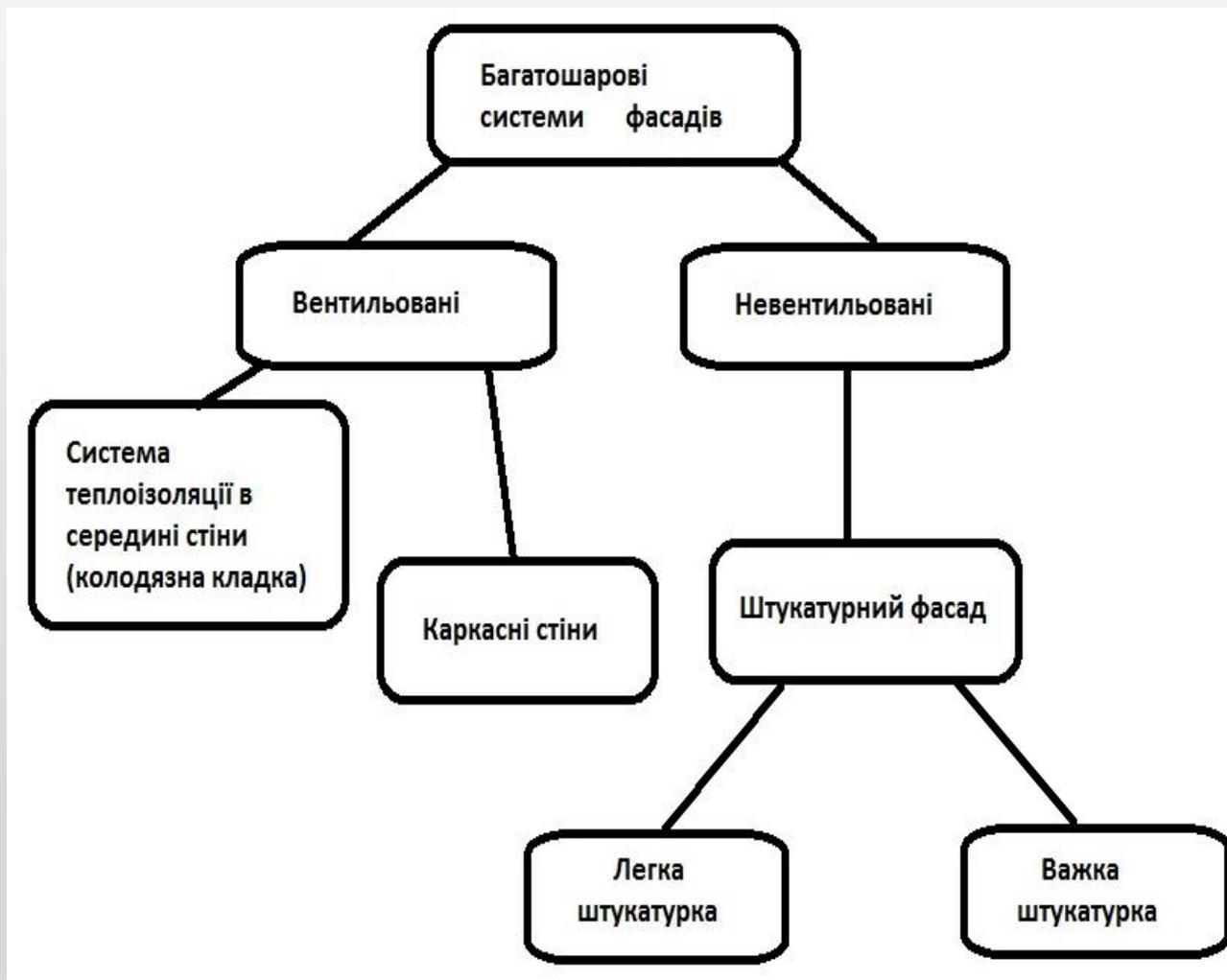
Сучасні конструкції стін

Високі значення допустимого опору теплопередачі R_{qmin} , встановлені ДБН В.2.6-31:2016 вимагають спорудження багат шарових стін, що складаються з несучих та ізолюючих шарів з ефективних теплоізоляційних матеріалів.

Нові багат шарові системи фасадів являють собою дві великі групи: вентильовані і невентильовані фасади.

Для об'єктів промисловості, та громадських установ - вентильовані фасадні системи.

Невентильовані фасади - для монтажу в житлових будинках, а також для відновлення пам'ятників архітектури.



Конструкції стін

система утеплення
вентильованого фасаду



штукатурний фасад

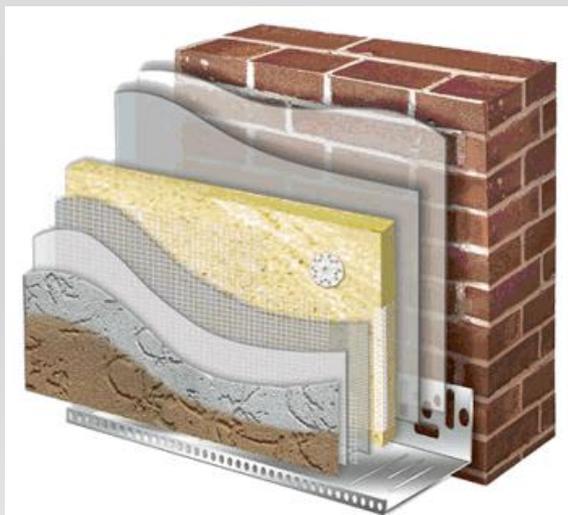
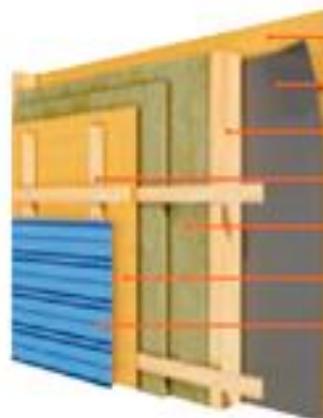
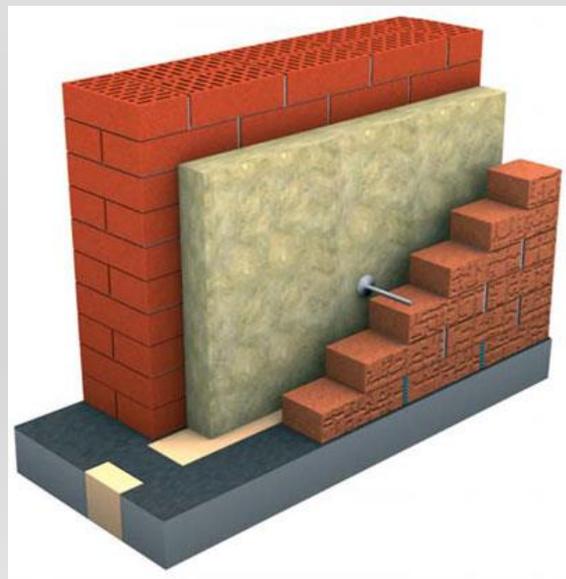


Схема утеплення каркасних стін



- Внутрішнє оздоблення
- Пароізоляція
- Каркас із дерев'яного бруса
- Обшивка та вентиляційний зазор > 20 мм
- ТЛ Лайт
- Плита OSB
- Зовнішнє оздоблення сайдингом

система утеплення в середині стіни



РОЗРАХУНКОВІ ПАРАМЕТРИ ТЕМПЕРАТУРИ ПОВІТРЯ

Спостереження за температурою атмосферного повітря ведуться відповідно до міжнародно визнаних стандартів метеорологічних вимірювань.

Вимірювання температури здійснюється у певні години (строки) вісім разів на добу.

Середні значення є найбільш стійкими показниками. Використовують середньодобові, середньомісячні та середньорічні значення температури повітря.

Повторюваність значень температури відповідає статистичному поняттю закону розподілу. Повторюваність вказує, як часто спостерігаються різні значення температури в даному географічному районі, у тому числі виявляє явища, які рідко спостерігаються, але мають суттєве значення для вирішення практичних задач.

За ДСТУ-Н Б В.1.1 – 27:2010 Будівельна кліматологія

та СНиП 2.01.01-82 Строительная климатология

визначено такі кліматичні параметри для вибраних 27 метеостанцій України:

- Середньомісячні температури найхолоднішого місяця
- середньомісячні температури найтеплішого місяця
- Середньомісячні температури всіх місяців
- Середньорічні температури
- Найхолодніша п'ятиденка забезпеченістю 0,98 та 0,95
- Найхолодніша доба забезпеченістю 0,98 та 0,95
- Кількість днів опалювального періоду
- Середня температура опалювального періоду

ОПІР ТЕПЛОПЕРЕДАЧІ СТІН

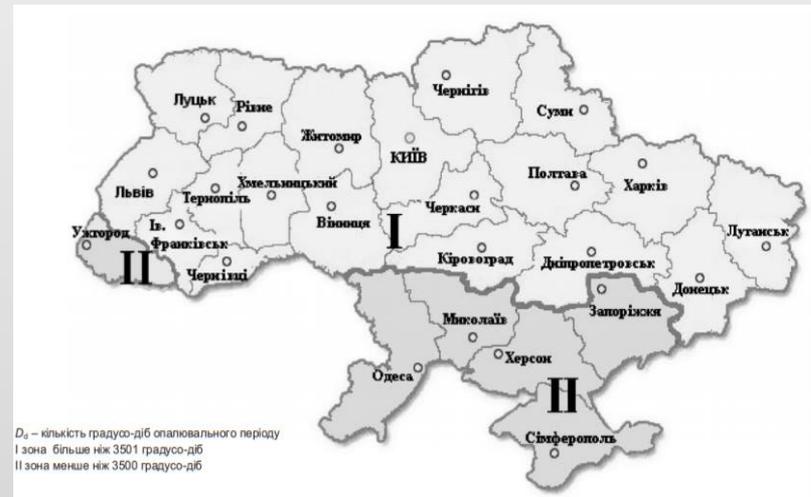
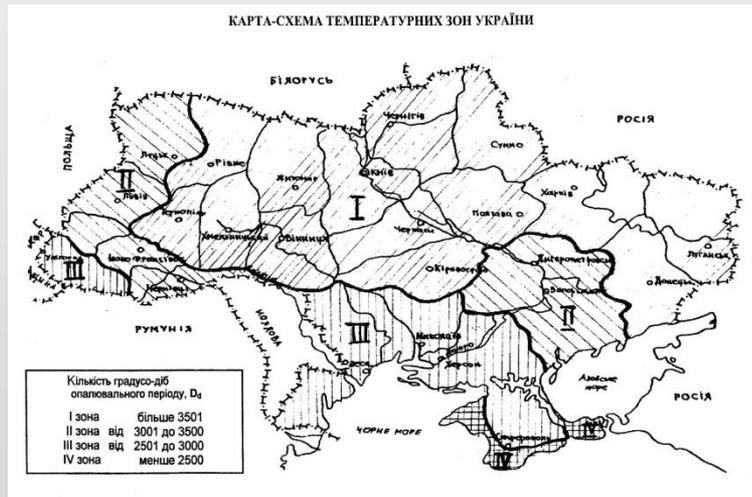
За СНиП II-3-79*:

Необхідний опір теплопередачі $R_0^{тр}$, $\frac{м^2 \cdot ^\circ C / Вт}{[М^2 \cdot ч \cdot ^\circ C / ккал]}$ огорожувальних конструкцій, за виключенням заповнених світових проїомів (вікон, балконних дверей та ліхтарів, слід визначати за формулою:

$$R_0^{тр} = \frac{n(t_B - t_H)}{\Delta t^H \alpha_B}$$

ДБН В.2.6-31-2006 «Теплова ізоляція будівель»

ДБН В.2.6 – 31:2016 «Теплова ізоляція будівель»



№ поз.	Вид огорожувальної конструкції	Значення $R_{q\ min}$ для температурної зони			
		I	II	III	IV
1	Зовнішні стіни	2,8	2,5	2,2	2,0
2а*	Покриття й перекриття неопалюваних горіщ	4,95	4,5	3,9	3,3
2б		3,3	3,0	2,6	2,2
3	Перекриття над проїздами та холодними підвалами, що межують із холодним повітрям	3,5	3,3	3,0	2,5

Таблиця 1 – Мінімально допустиме значення опору теплопередачі огорожувальної конструкції житлових та громадських будинків ($R_{q\ min}$)

№ поз.	Вид огорожувальної конструкції	Значення $R_{q\ min}$, $м^2 \cdot К / Вт$, для температурної зони	
		I	II
1	Зовнішні стіни	3,3	2,8
2	Суміщені покриття	5,35	4,9

Кліматологічні параметри температури атмосферного повітря

Для аналізу змін кліматичних параметрів та опору теплопередачі огорожувальних конструкцій вибрані метеостанції, дані яких наведені в двох нормативних документах: ДСТУ-Н Б В.1.1–27:2010 "Будівельна кліматологія" та СНІП 2.01.01-82 "Строительная климатология и геофизика".

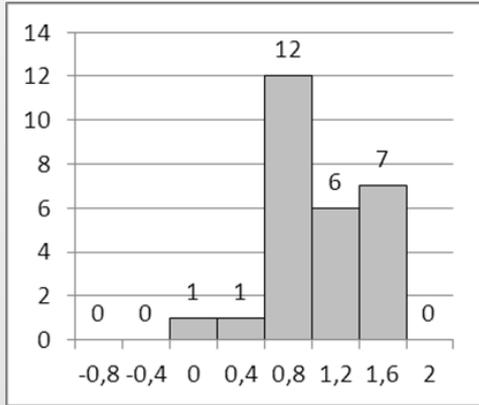


Порівняння кліматичних даних ДСТУ та СНиП

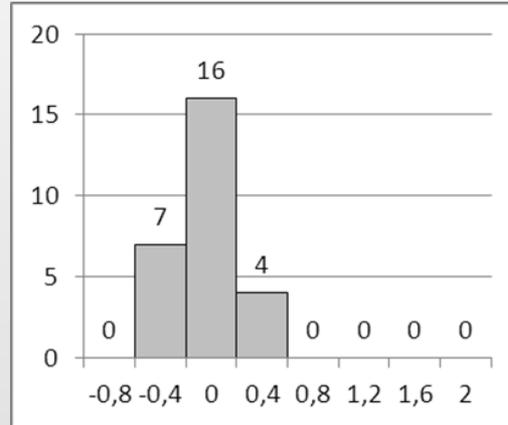
Розрахункові параметри	Відхилення		
	Max	Min	Sep
Середня температура січня	1,6	-0,2	0,87
Середня температура липня	0,3	-0,7	-0,21
Середньорічна температура	0,8	0,0	0,45
Розрахункові значення температур найхолоднішої доби із забезпеченістю 0,92	2	-1	-0,07
Розрахункові значення температур найхолоднішої доби із забезпеченістю 0,98	1	-1	-0,15
Розрахункові значення температур найхолоднішої п'ятиденки із забезпеченістю 0,92	1	-1	0,19
Розрахункові значення температур найхолоднішої п'ятиденки із забезпеченістю 0,98	1	-1	0,11
Кількість днів опалювального періоду топ, днів	0	-12	-6,8
Середня температура опалювального періоду топ, °C	1,3	-0,2	0,73
Кількість градусо-днів опалювального періоду Gоп, гр-днів	-13	-418	-268

Гістограми розподілу відхилень

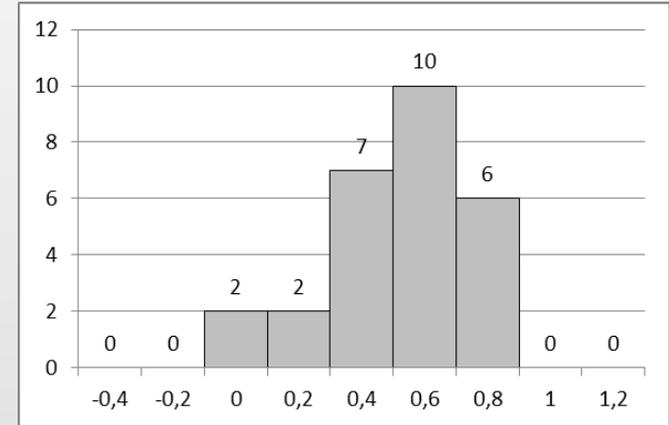
Січень



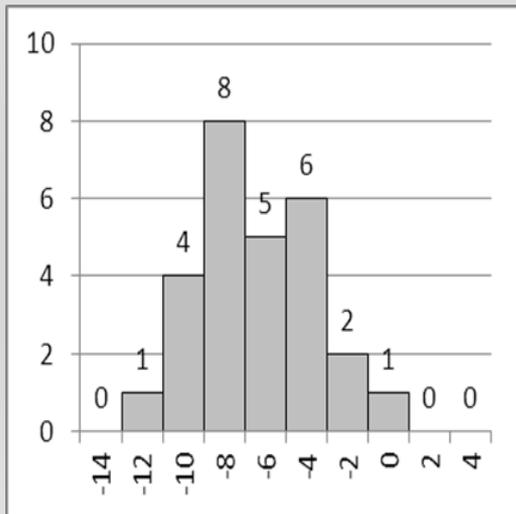
Липень



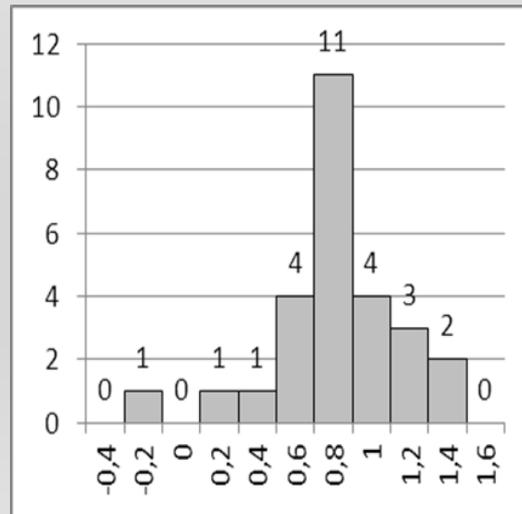
Середньорічні температури



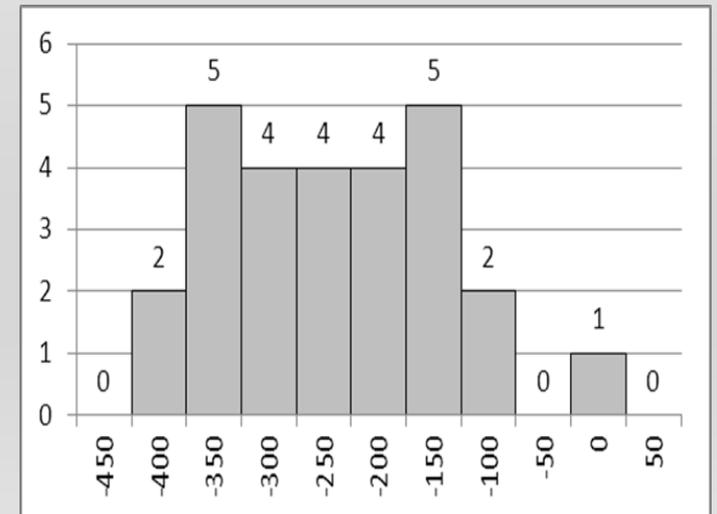
Тривалість опалювального періоду



Середня температура



Кількість градусо-днів



Кліматичні параметри опалювального періоду

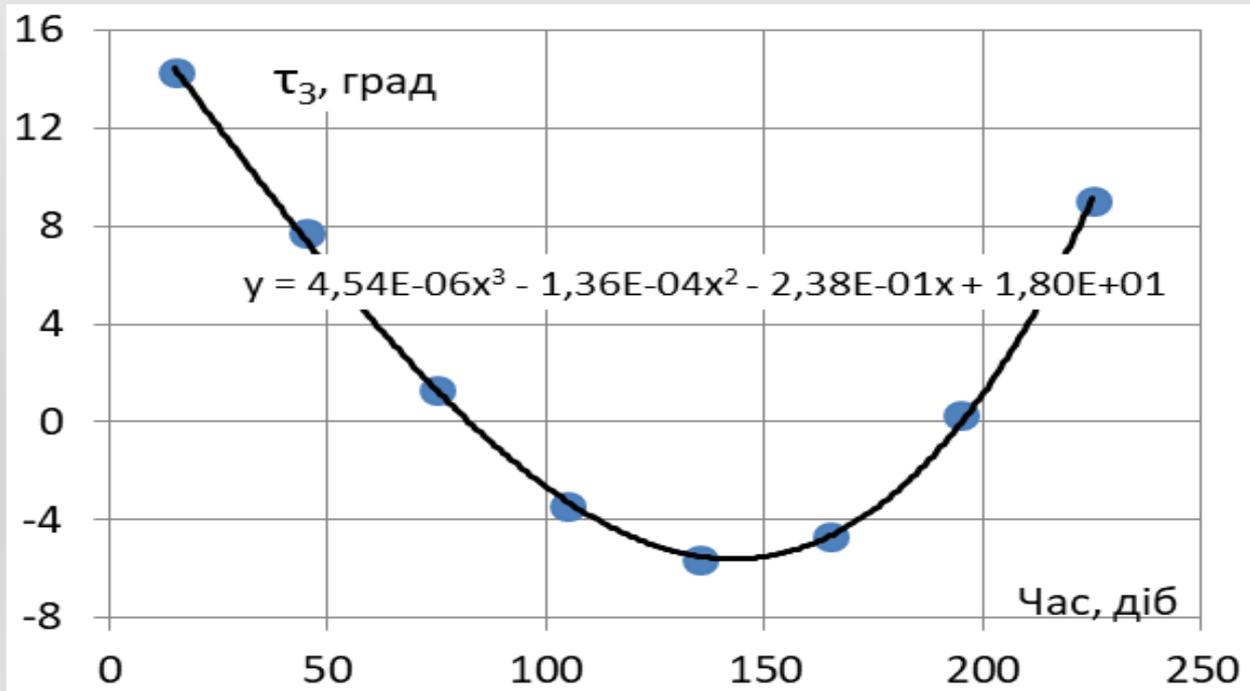
Опалювальний період - холодний період року, протягом якого середньодобова температура зовнішнього повітря менша за +8 °С.

Основні параметри: тривалість t_{on} , середня температура T_{on} , кількість градусо-днів

$$G_{on} = t_{on} \times (20 - \tau_{on})$$

Послідовності середньомісячних значень температури за холодний період року (з вересня по квітень) для кожної метеостанції описані поліномами третього ступеню

$$\tau(t) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3,$$



Конкретні значення коефіцієнтів $a_0 \dots a_3$ дозволяють визначити час початку t_{Π} та кінця t_K опалювального періоду як корені рівнянь

$$\tau(t_{\Pi}) = 8^{\circ}\text{C} ; \quad \tau(t_K) = 8^{\circ}\text{C} ,$$

Тривалість опалювального періоду дорівнює

$$t_{\text{оп}} = t_K - t_{\Pi}$$

Кількість градусо-днів опалювального періоду визначається як інтеграл по функції температури атмосферного повітря в межах опалювального періоду

$$G_{\text{оп}} = \int_{t_{\Pi}}^{t_K} [20 - \tau(t)] dt = 20t_{\text{оп}} - \int_{t_{\Pi}}^{t_K} \tau(t) dt ,$$

Взявши визначений інтеграл у межах від t_{Π} до t_K , отримуємо вираз для аналітичного обчислення кількості градусо-днів опалювального періоду:

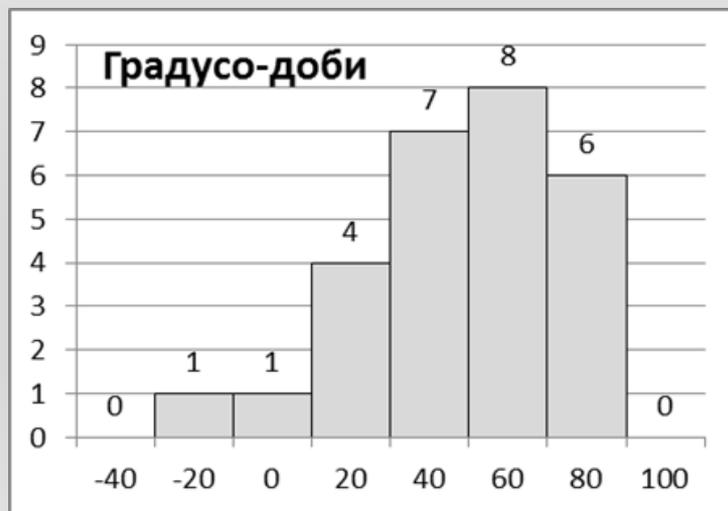
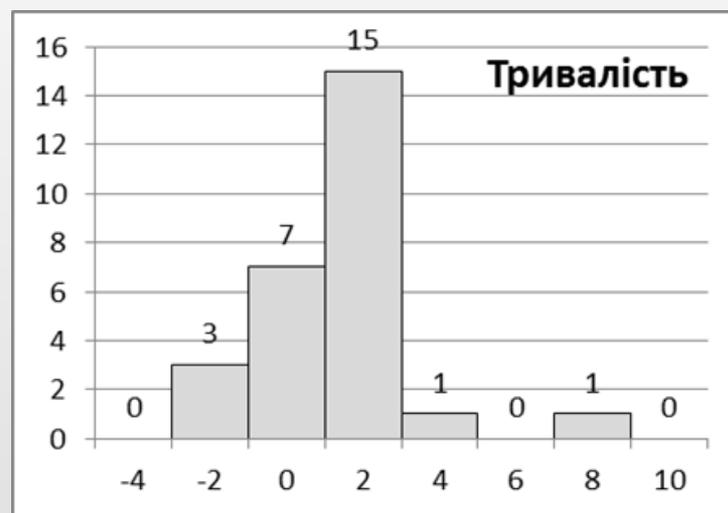
$$G_{\text{оп}} = 20 t_0 - \frac{a_3 t_K^4}{4} - \frac{a_2 t_K^3}{3} - \frac{a_1 t_K^2}{2} - a_0 t_K + \frac{a_3 t_{\Pi}^4}{4} + \frac{a_2 t_{\Pi}^3}{3} + \frac{a_1 t_{\Pi}^2}{2} + a_0 t_{\Pi}$$

Кліматичні параметри опалювального періоду для м. Полтава

Параметри	Розрахункові значення	За ДСТУ
$t_{\Pi}(45)$	8,0°C	-
$t_k(221)$	7,8°C	-
$\tau_{\text{оп}}$	-0,4°C	-0,3°C
t_0	178 діб	175 діб
$G_{\text{оп}}$	3597діб	3553 доби

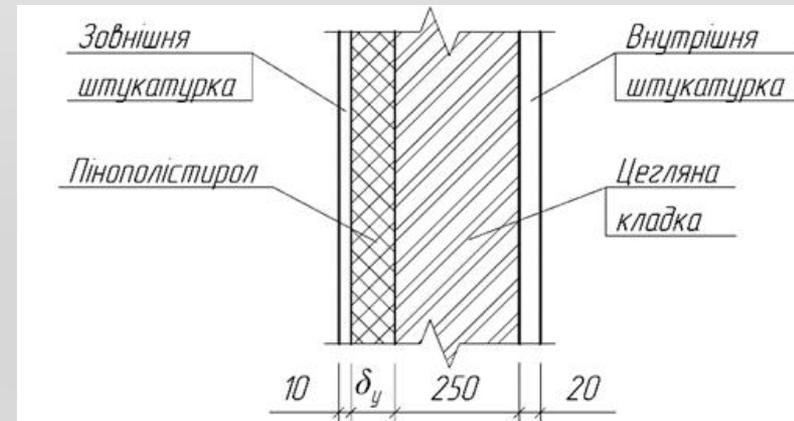
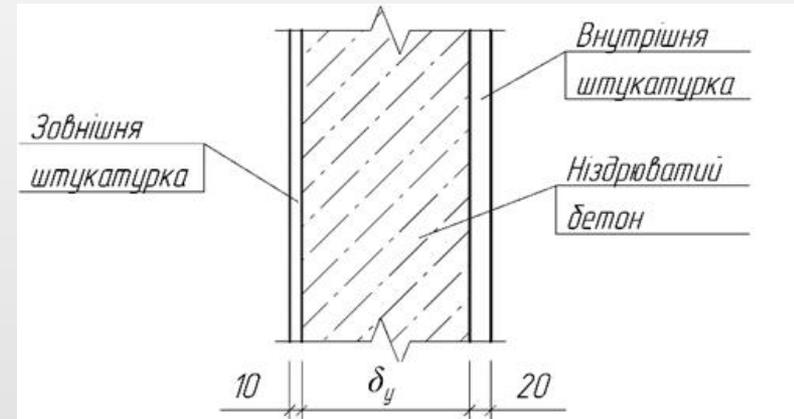
Кліматичні параметри для території України

№	Місто	За ДСТУ			За розрахунком			Відхилення		
		$t_{опл}$ дiб	$t_{опл}$ °C	$G_{опл}$ гр-дiб	$t_{опл}$ дiб	$t_{опл}$ °C	$G_{опл}$ гр-дiб	$t_{опл}$ дiб	$t_{опл}$ °C	$G_{опл}$ гр-дiб
1	Вінниця	182	-0,2	3676	183	-0,4	3735	1	-0,2	58
2	Луцьк	180	0,3	3546	182	0,2	3612	2	-0,1	66
3	Луганськ	172	-0,4	3509	170	-0,7	3514	-2	-0,3	5
4	Дніпропетровськ	172	-0,2	3474	173	-0,4	3524	1	-0,2	50
5	Донецьк	176	-0,5	3608	176	-0,7	3644	0	-0,2	36
6	Житомир	184	-0,2	3717	183	-0,5	3747	-1	-0,3	30
7	Ужгород	154	1,4	2864	161	1,7	2944	7	0,3	80
8	Запоріжжя	166	0,6	3220	167	0,5	3260	1	-0,1	39
9	Івано-Франківськ	179	0,4	3508	181	0,3	3571	2	-0,1	63
10	Київ	176	-0,1	3538	178	-0,3	3605	2	-0,2	67
11	Кіровоград	175	-0,3	3553	176	-0,4	3597	1	-0,1	45
12	Сімферополь	154	2,6	2680	155	2,6	2695	1	0,0	16
13	Феодосія	142	3,6	2329	142	3,5	2342	0	-0,1	13
14	Ялта	126	5,3	1852	124	5,3	1825	-2	0,0	-27
15	Львів	179	0,4	3508	182	0,3	3579	3	-0,1	71
16	Миколаїв	161	1,1	3043	163	1,1	3079	2	0,0	36
17	Одеса	158	2,0	2844	159	1,9	2873	1	-0,1	29
18	Полтава	178	-0,8	3702	180	-0,9	3762	2	-0,1	59
19	Рівне	182	0,1	3622	182	-0,1	3667	0	-0,2	45
20	Суми	187	-1,4	4002	186	-1,6	4016	-1	-0,2	14
21	Тернопіль	184	-0,2	3717	185	-0,4	3770	1	-0,2	53
22	Харків	179	-1,0	3759	181	-1,1	3826	2	-0,1	67
23	Херсон	163	1,3	3048	163	1,2	3071	0	-0,1	23
24	Хмельницький	183	-0,1	3678	184	-0,3	3729	1	-0,2	50
25	Черкаси	178	-0,3	3613	178	-0,5	3643	0	-0,2	30
26	Чернігів	187	-0,9	3908	185	-1,0	3889	-2	-0,1	-19
27	Чернівці	175	0,5	3413	176	0,4	3456	1	-0,1	44
Мінімальні							-2	-0,3	-26,7	
Максимальні							7	0,3	79,6	
Середні							0,85	-0,12	38,7	



Типові конструкції стін житлових будівель

Конструктивні шари стіни	Товщина δ	Середня густина ρ , кг/м ³	Коефіцієнт теплопровідності λ , Вт/(м×К)	R, (м ² ×К)/Вт
Стіна з ніздрюватого бетону				
Зовнішня фасадна штукатурка на цементній основі	1 см	1600	0,70	0,013
Конструкційно-теплоізоляційний ніздрюватий бетон марки 600 за середньою густиною	за розрахунком	600	0,16	1,250
Внутрішня штукатурка з вапняно-піщаного розчину	2 см	1800	0,76	0,026
Стіна з керамічної цегли з фасадним утепленням				
Зовнішня фасадна штукатурка на цементній основі	1 см	1600	0,79	0,013
Плита з пінополістиролу марки 25 за середньою густиною	за розрахунком	25	0,043	-
Кладка з повнотілої керамічної цегли на цементно-піщаному розчині	25 см	1800	0,70	0,357
Внутрішня штукатурка з вапняно-піщаного розчину	2 см	1800	0,76	0,026



Необхідна товщина утеплювача за СНиП II-3-79**

Необхідна товщина шару утеплювача (ніздрюватий бетон в стіні типу 1 чи пінополістирол в стіні типу 2) обчислювалася за формулою

$$\delta_y = 1000 \times \left(R_o^{тр} - \frac{1}{\alpha_b} - \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} - \frac{1}{\alpha_s} \right) \times \lambda_y$$

Де $\sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_{ip}}$ – сума термічних опорів усіх шарів огороджувальної конструкції, за винятком теплоізоляційного шару

$R_o^{тр}$ – необхідний опір теплопередачі стіни, (м²×К)/Вт

λ_y – коефіцієнт теплопровідності утеплюючого шару, Вт/(м • К);

$\alpha_b = 8,7$ Вт/(м²×К) та $\alpha_s = 23$ Вт/(м²×К) – коефіцієнти тепловіддачі внутрішньої і зовнішньої поверхонь стіни за СНиП.

Розрахунки стін за СНиП II-3-79**

№	Місто України	$t_{нр}, ^\circ\text{C}$	$R_0^{TR} \text{ м}^2 \cdot \text{K} / \text{Вт}$	Товщина, мм	
				бетону	пінопласту
1	Вінниця	-26	0,88	109	14
2	Луцьк	-24	0,84	103	12
3	Луганск	-29	0,94	119	16
4	Дніпропетровськ	-26	0,88	109	14
5	Донецьк	-27	0,90	113	15
6	Житомир	-25	0,86	106	13
7	Ужгород	-22	0,80	97	11
8	Запоріжжя	-25	0,86	106	13
9	Івано-Франківськ	-24	0,84	103	12
10	Київ	-26	0,88	109	14
11	Кіровоград	-26	0,88	109	14
12	Сімферополь	-20	0,77	91	9
13	Феодосія	-19	0,75	88	8
14	Ялта	-8	0,54	54	-1
15	Львів	-23	0,82	100	12
16	Миколаїв	-23	0,82	100	12
17	Одеса	-21	0,79	94	10
18	Полтава	-27	0,90	113	15
19	Рівне	-25	0,86	106	13
20	Суми	-28	0,92	116	16
21	Тернопіль	-24	0,84	103	12
22	Харків	-28	0,92	116	16
23	Херсон	-23	0,82	100	12
24	Хмельницький	-25	0,86	106	13
25	Черкаси	-26	0,88	109	14
26	Чернігів	-27	0,90	113	15
27	Чернівці	-24	0,84	103	12
	Мінімум	-29	0,536	54,3	0
	Максимум	-8	0,939	118,7	16,5
	Середнє	-24,1	0,845	103,7	12,5

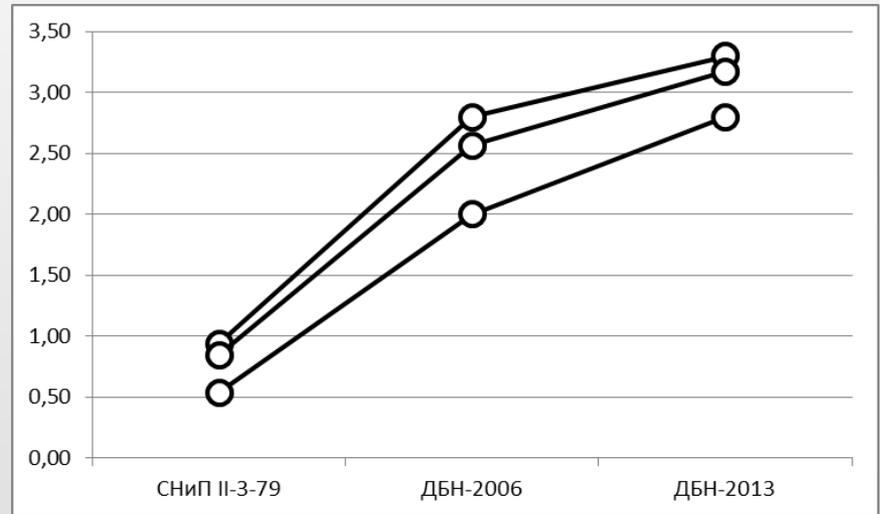


Розрахунки стін за нормативними документами

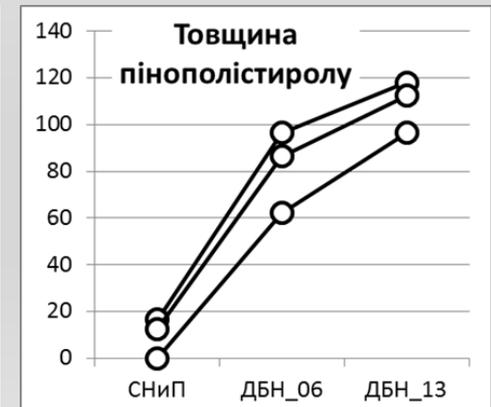
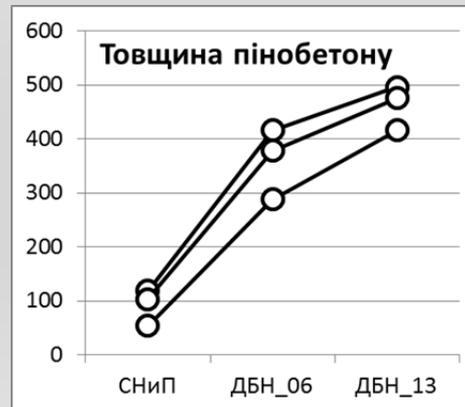
Температурна зона за ДБН	Необхідний опір теплопередачі R, (м ² ×К)/Вт	Товщина стіни з ніздрюватого бетону, мм	Товщина утеплювача з пінополістиролу, мм	Кількість метеостанцій
Розрахунок за ДБН В.2.6-31:2006				
1	2,8	416	97	14
2	2,5	368	84	6
3	2,2	320	71	5
4	2,0	288	62	2
Середні	2,56	379	86	
Розрахунок за зміною № 1 до ДБН В.2.6-31:2006 від 01.07.2013 року				
1	3,3	496	118	20
2	2,8	416	97	7
Середні	3,17	476	112	

Зміни теплових характеристик стін, запроектованих за нормами проектування різних років

№	Місто	СНИП II-3-79**			ДБН В.2.6-31:2006			Зміни ДБН В.2.6-31		
		R	δ бет	δ піп	R	δ бет	δ піп	R	δ бет	δ піп
1	Вінниця	0,88	109	14	2,8	416	97	3,3	496	118
2	Луцьк	0,84	103	12	2,5	368	84	3,3	496	118
3	Луганск	0,94	119	16	2,8	416	97	3,3	496	118
4	Дніпропетровськ	0,88	109	14	2,5	368	84	3,3	496	118
5	Донецьк	0,90	113	15	2,8	416	97	3,3	496	118
6	Житомир	0,86	106	13	2,8	416	97	3,3	496	118
7	Ужгород	0,80	97	11	2,2	320	71	3,3	496	118
8	Запоріжжя	0,86	106	13	2,5	368	84	2,8	416	97
9	Івано-Франківськ	0,84	103	12	2,5	368	84	3,3	496	118
10	Київ	0,88	109	14	2,8	416	97	3,3	496	118
11	Кіровоград	0,88	109	14	2,8	416	97	3,3	496	118
12	Сімферополь	0,77	91	9	2,2	320	71	2,8	416	97
13	Феодосія	0,75	88	8	2	288	62	2,8	416	97
14	Ялта	0,54	54	0	2	288	62	2,8	416	97
15	Львів	0,82	100	12	2,5	368	84	3,3	496	118
16	Миколаїв	0,82	100	12	2,2	320	71	2,8	416	97
17	Одеса	0,79	94	10	2,2	320	71	2,8	416	97
18	Полтава	0,90	113	15	2,8	416	97	3,3	496	118
19	Рівне	0,86	106	13	2,8	416	97	3,3	496	118
20	Суми	0,92	116	16	2,8	416	97	3,3	496	118
21	Тернопіль	0,84	103	12	2,8	416	97	3,3	496	118
22	Харків	0,92	116	16	2,8	416	97	3,3	496	118
23	Херсон	0,82	100	12	2,2	320	71	2,8	416	97
24	Хмельницький	0,86	106	13	2,8	416	97	3,3	496	118
25	Черкаси	0,88	109	14	2,8	416	97	3,3	496	118
26	Чернігів	0,90	113	15	2,8	416	97	3,3	496	118
27	Чернівці	0,84	103	12	2,5	368	84	3,3	496	118
Мінімум		0,54	54	0	2,0	288	62	2,8	416	97
Максимум		0,94	119	16	2,8	416	97	3,3	496	118
Середнє M		0,845	104	12,5	2,56	379	86	3,17	476	112
Стандарт S=		0,077	12,3	3,19	0,28	45,5	12,2	0,22	35,7	9,6



Зміни товщини утеплювальних шарів стін, запроектованих за нормами різних років



Вплив нормативних вимог на рівень теплової надійності стін

Критерій теплової відмови за ДБН - величина температурного перепаду між стіною та повітрям в приміщенні, що забезпечує комфортність перебування поблизу стін:

$$\Delta_B = t_B - \tau_{BC} \leq \Delta_{CR}$$

де t_B – розрахункова температура внутрішнього повітря, рівна +20°C для житлових приміщень;

τ_{BC} – температура внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції;

Δ_{CR} – допустима за санітарно-гігієнічними вимогами норм величина температурного перепаду між температурою внутрішнього повітря і приведеною температурою внутрішньої поверхні стіни, яка для житлових приміщень встановлена рівною 4°C.

Різницю між температурами повітря в приміщенні та внутрішньої поверхні стіни можна обчислити за формулою

$$\Delta_B = \frac{t_B - t_3}{R_0 \alpha_B}$$

де t_B – розрахункова температура внутрішнього повітря, рівна +20°C для житлових приміщень;

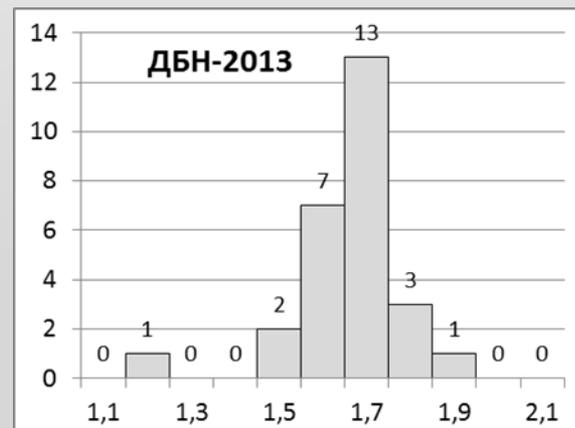
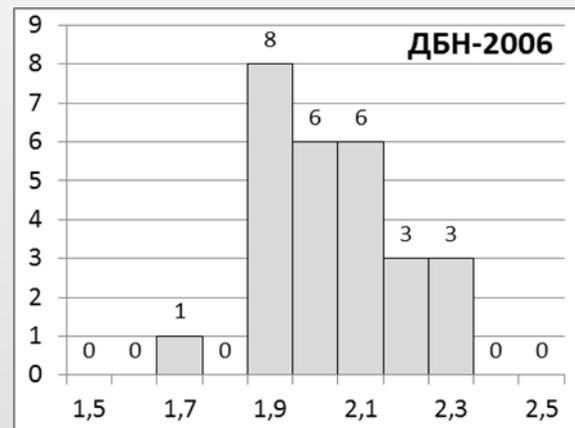
t_3 – розрахункова температура атмосферного повітря за ДСТУ ;

α_B – коефіцієнт внутрішньої тепловіддачі;

R_0 – опір теплопередачі стіни.

Перепади температури між повітрям у приміщенні та внутрішніми поверхнями стін, запроектованих за нормами різних років

№	Місто (метеостанція)	t_3 , °C	СНИП II-3-79**		ДБН В.2.6-31:2006		Зміни ДБН В.2.6-31	
			R_0	Δ_B	R_0	Δ_B	R_0	Δ_B
1	Вінниця	-26	0,88	6,00	2,8	1,89	3,3	1,60
2	Луцьк	-24	0,84	6,00	2,5	2,02	3,3	1,53
3	Луганск	-29	0,94	6,00	2,8	2,01	3,3	1,71
4	Дніпропетровськ	-26	0,88	6,00	2,5	2,11	3,3	1,60
5	Донецьк	-27	0,90	6,00	2,8	1,93	3,3	1,64
6	Житомир	-25	0,86	6,00	2,8	1,85	3,3	1,57
7	Ужгород	-22	0,80	6,00	2,2	2,19	3,3	1,46
8	Запоріжжя	-25	0,86	6,00	2,5	2,07	2,8	1,85
9	Івано-Франківськ	-24	0,84	6,00	2,5	2,02	3,3	1,53
10	Київ	-26	0,88	6,00	2,8	1,89	3,3	1,60
11	Кіровоград	-26	0,88	6,00	2,8	1,89	3,3	1,60
12	Сімферополь	-20	0,77	6,00	2,2	2,09	2,8	1,64
13	Феодосія	-19	0,75	6,00	2,0	2,24	2,8	1,60
14	Ялта	-8	0,54	6,00	2,0	1,61	2,8	1,15
15	Львів	-23	0,82	6,00	2,5	1,98	3,3	1,50
16	Миколаїв	-23	0,82	6,00	2,2	2,25	2,8	1,77
17	Одеса	-21	0,79	6,00	2,2	2,14	2,8	1,68
18	Полтава	-27	0,90	6,00	2,8	1,93	3,3	1,64
19	Рівне	-25	0,86	6,00	2,8	1,85	3,3	1,57
20	Суми	-28	0,92	6,00	2,8	1,97	3,3	1,67
21	Тернопіль	-24	0,84	6,00	2,8	1,81	3,3	1,53
22	Харків	-28	0,92	6,00	2,8	1,97	3,3	1,67
23	Херсон	-23	0,82	6,00	2,2	2,25	2,8	1,77
24	Хмельницький	-25	0,86	6,00	2,8	1,85	3,3	1,57
25	Черкаси	-26	0,88	6,00	2,8	1,89	3,3	1,60
26	Чернігів	-27	0,90	6,00	2,8	1,93	3,3	1,64
27	Чернівці	-24	0,84	6,00	2,5	2,02	3,3	1,53
Середнє			M	6,00		1,61		1,15
Мінімум			X_{\min}	6,00		2,25		1,85
Максимум			X_{\max}	6,00		1,99		1,60
Розмах			$X_{\max} - X_{\min}$	0,00		0,64		0,70
Розмах без Ялти						0,44		0,38



Розподіл температурного перепаду ΔB для стін, запроектованих за нормами різних років

Теплові характеристики стін запроектовані за нормами різних років

Значення опору теплопередачі обчислені за формулою:

$$R_{\Sigma} = \frac{1}{\alpha_B} + \sum_{i=1}^n R_i + \frac{1}{\alpha_3} = \frac{1}{\alpha_B} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_3}$$

Теплові характеристики стін з нiздрюватого бетону

№	Місто (метеостанція)	СНИП II-3-79**		ДБН В.2.6-31:2006		Зміни до ДБН від 2013 року	
		δ_v , мм	R_0	δ_v , мм	R_0	δ_v , мм	R_0
1	Вінниця	200	1,45	400	2,70	500	3,32
2	Луцьк	200	1,45	350	2,38	500	3,32
3	Луганськ	200	1,45	400	2,70	500	3,32
4	Дніпропетровськ	200	1,45	350	2,38	500	3,32
5	Донецьк	200	1,45	400	2,70	500	3,32
6	Житомир	200	1,45	400	2,70	500	3,32
7	Ужгород	200	1,45	300	2,07	500	3,32
8	Запоріжжя	200	1,45	350	2,38	400	2,70
9	Івано-Франківськ	200	1,45	350	2,38	500	3,32
10	Київ	200	1,45	400	2,70	500	3,32
11	Кіровоград	200	1,45	400	2,70	500	3,32
12	Сімферополь	200	1,45	300	2,07	400	2,70
13	Феодосія	200	1,45	300	2,00	400	2,70
14	Ялта	200	1,45	300	2,00	400	2,70
15	Львів	200	1,45	350	2,38	500	3,32
16	Миколаїв	200	1,45	300	2,07	400	2,70
17	Одеса	200	1,45	300	2,07	400	2,70
18	Полтава	200	1,45	400	2,70	500	3,32
19	Рівне	200	1,45	400	2,70	500	3,32
20	Суми	200	1,45	400	2,70	500	3,32
21	Тернопіль	200	1,45	400	2,70	500	3,32
22	Харків	200	1,45	400	2,70	500	3,32
23	Херсон	200	1,45	300	2,07	400	2,70
24	Хмельницький	200	1,45	400	2,70	500	3,32
25	Черкаси	200	1,45	400	2,70	500	3,32
26	Чернігів	200	1,45	400	2,70	500	3,32
27	Чернівці	200	1,45	350	2,38	500	3,32
	Мінімум	200	1,45	300	2,00	400	2,70
	Макимум	200	1,45	400	2,70	500	3,32
	Середнє	200	1,45	362	2,46	474	3,16

Теплові характеристики стін з цегли та пінополістиролу

№	Місто (метеостанція)	СНИП II-3-79**		ДБН В.2.6-31:2006		Зміни до ДБН від 2013 року	
		δ_v , мм	R_0	δ_v , мм	R_0	δ_v , мм	R_0
1	Вінниця	20	1,02	100	2,88	120	3,35
2	Луцьк	20	1,02	80	2,42	120	3,35
3	Луганськ	20	1,02	100	2,88	120	3,35
4	Дніпропетровськ	20	1,02	80	2,42	120	3,35
5	Донецьк	20	1,02	100	2,88	120	3,35
6	Житомир	20	1,02	100	2,88	120	3,35
7	Ужгород	20	1,02	70	2,18	120	3,35
8	Запоріжжя	20	1,02	80	2,42	100	2,88
9	Івано-Франківськ	20	1,02	80	2,42	120	3,35
10	Київ	20	1,02	100	2,88	120	3,35
11	Кіровоград	20	1,02	100	2,88	120	3,35
12	Сімферополь	20	1,02	70	2,18	100	2,88
13	Феодосія	20	1,02	60	1,95	100	2,88
14	Ялта	0	0,56	60	1,95	100	2,88
15	Львів	20	1,02	80	2,42	120	3,35
16	Миколаїв	20	1,02	70	2,18	100	2,88
17	Одеса	20	1,02	70	2,18	100	2,88
18	Полтава	20	1,02	100	2,88	120	3,35
19	Рівне	20	1,02	100	2,88	120	3,35
20	Суми	20	1,02	100	2,88	120	3,35
21	Тернопіль	20	1,02	100	2,88	120	3,35
22	Харків	20	1,02	100	2,88	120	3,35
23	Херсон	20	1,02	70	2,18	100	2,88
24	Хмельницький	20	1,02	100	2,88	120	3,35
25	Черкаси	20	1,02	100	2,88	120	3,35
26	Чернігів	20	1,02	100	2,88	120	3,35
27	Чернівці	20	1,02	80	2,42	120	3,35
	Мінімум	0	0,56	60	1,95	100	2,88
	Макимум	20	1,02	100	2,88	120	3,35
	Середнє	19,3	1,00	87	2,58	115	3,23

Втрати тепла через стіни, запроектовані за нормами різних років

Втрати тепла через огороджувальну конструкцію з відомим опором теплопередачі R_0 :

$$Q = \frac{\tau_B - \tau_3}{R_0} \times F \times t$$

де τ_B і τ_3 – температури внутрішнього і зовнішнього повітря;

F – площа ділянки огороження, що розглядається;

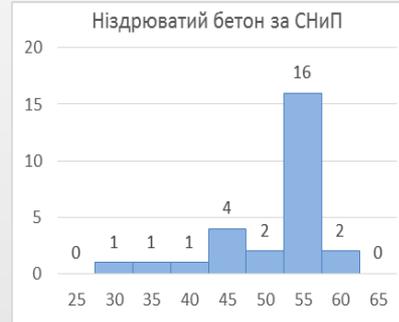
t – час, на протязі якого відбувається теплопередача в стаціонарному тепловому режимі.

Втрати тепла через один квадратний метр стіни з відомим опором теплопередачі R ($\text{м}^2 \times \text{С}$)/Вт протягом опалювального періоду можна обчислити за формулою, яка дає результат у кілокалоріях:

$$Q = 20,6 \frac{G_{оп}}{R_0}$$

Втрати тепла через 1 м² стін протягом опалювального періоду (мегакалорії)

№	Місто (метеостанція)	G _{оп} , гр-діб	СНИП II-3-79**		ДБН В.2.6-31:2006		Зміни до ДБН від 2013 року	
			бетон	цегла	бетон	цегла	бетон	цегла
1	Вінниця	3735	53,2	75,4	28,5	26,7	23,2	23,0
2	Луцьк	3612	51,4	72,9	31,2	30,8	22,4	22,2
3	Луганськ	3514	50,0	71,0	26,8	25,1	21,8	21,6
4	Дніпропетровськ	3524	50,2	71,2	30,4	30,1	21,9	21,7
5	Донецьк	3644	51,9	73,6	27,8	26,1	22,6	22,4
6	Житомир	3747	53,3	75,7	28,6	26,8	23,2	23,1
7	Ужгород	2944	41,9	59,5	29,3	27,8	18,3	18,1
8	Запоріжжя	3260	46,4	65,8	28,2	27,8	24,9	23,3
9	Івано-Франківськ	3571	50,8	72,1	30,9	30,5	22,1	22,0
10	Київ	3605	51,3	72,8	27,5	25,8	22,4	22,2
11	Кіровоград	3597	51,2	72,6	27,5	25,7	22,3	22,1
12	Сімферополь	2695	38,4	54,4	26,8	25,4	20,6	19,3
13	Феодосія	2342	33,3	47,3	24,1	24,7	17,9	16,8
14	Ялта	1825	26,0	67,8	18,8	19,3	13,9	13,1
15	Львів	3579	51,0	72,3	30,9	30,5	22,2	22,0
16	Миколаїв	3079	43,8	62,2	30,6	29,1	23,5	22,0
17	Одеса	2873	40,9	58,0	28,6	27,1	21,9	20,5
18	Полтава	3762	53,6	76,0	28,7	26,9	23,3	23,2
19	Рівне	3667	52,2	74,0	28,0	26,2	22,7	22,6
20	Суми	4016	57,2	81,1	30,7	28,7	24,9	24,7
21	Тернопіль	3770	53,7	76,1	28,8	27,0	23,4	23,2
22	Харків	3826	54,5	77,3	29,2	27,4	23,7	23,6
23	Херсон	3071	43,7	62,0	30,5	29,0	23,5	22,0
24	Хмельницький	3729	53,1	75,3	28,5	26,7	23,1	23,0
25	Черкаси	3643	51,9	73,6	27,8	26,1	22,6	22,4
26	Чернігів	3889	55,4	78,5	29,7	27,8	24,1	23,9
27	Чернівці	3456	49,2	69,8	29,9	29,5	21,4	21,3
Мінімум			26,0	47,3	18,8	19,3	13,9	13,1
Максимум			57,2	81,1	31,2	30,8	24,9	24,7
Середнє			48,5	69,9	28,5	27,2	22,1	21,7
Розмах у % від середнього			64,3	48,3	43,6	42,4	49,5	53,8



Методика оцінювання економічного ефекту від підвищення опору теплопередачі стін цивільних будівель

Для 1 м² стіни з ніздрюватого бетону для 27 метеостанцій були визначені такі данні:

- Товщина стіни запроектована за даними:

*СНиП СНиП II-3-79** Строительная теплотехника*

ДБН В.2.6-31:2006. Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція

Змінами до ДБН В.2.6-31:2006. Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція будівель. Зміна № 1.

- Кошторисна вартість 1 м² для стіни запроектованої згідно:

*СНиП СНиП II-3-79** Строительная теплотехника*

ДБН В.2.6-31:2006. Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція

Змінами до ДБН В.2.6-31:2006. Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція будівель. Зміна № 1.

- Тепловтрати протягом опалювального періоду через 1 м² стіни, запроектованої згідно:

*СНиП СНиП II-3-79** Строительная теплотехника*

ДБН В.2.6-31:2006. Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція

Змінами до ДБН В.2.6-31:2006. Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція будівель. Зміна № 1.

- Вартість гікакалорії тепла (Грн/Гкал) у кожному з розглянутих міст за даними постанови органів центральної влади;

- Приведені річні витрати для стін, запроектованих згідно

*СНиП СНиП II-3-79** Строительная теплотехника*

ДБН В.2.6-31:2006. Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція

Змінами до ДБН В.2.6-31:2006. Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція будівель. Зміна № 1.

Методика оцінювання економічного ефекту від підвищення опору теплопередачі стін цивільних будівель

Для 1 м² стіни цегляної з утеплювачем з пінополістиролу для 27 метеостанцій були визначені такі данні:

- Кошторисна вартість несучої цегляної стіни товщиною 25 см разом із внутрішньою штукатуркою.
- Товщина утеплювача, запроектована згідно

*СНиП СНиП II-3-79** Строительная теплотехника
ДБН В.2.6-31:2006. Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція
Змінами до ДБН В.2.6-31:2006. Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція будівель. Зміна № 1.*

- Кошторисна вартість несучої стіни з утеплювачем, запроектованої згідно

*СНиП СНиП II-3-79** Строительная теплотехника
ДБН В.2.6-31:2006. Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція
Змінами до ДБН В.2.6-31:2006. Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція будівель. Зміна № 1.*

- Тепловтрати протягом опалювального періоду через стіни, запроектовані згідно

*СНиП СНиП II-3-79** Строительная теплотехника
ДБН В.2.6-31:2006. Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція
Змінами до ДБН В.2.6-31:2006. Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція будівель. Зміна № 1.*

- Вартість гігакалорії тепла (Грн/Гкал) у кожному з розглянутих міст за даними постанови органів центральної влади
- Приведені річні витрати для стін, запроектованих згідно

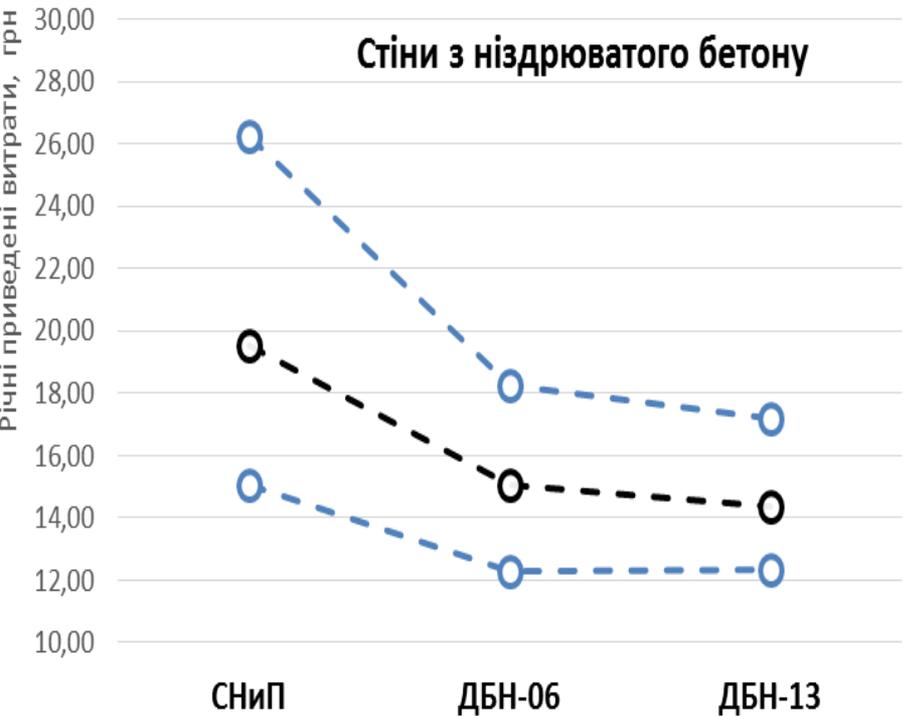
*СНиП СНиП II-3-79** Строительная теплотехника
ДБН В.2.6-31:2006. Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція
Змінами до ДБН В.2.6-31:2006. Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція будівель. Зміна № 1.*

Економічна ефективність змін опору теплопередачі стін цивільних будівель (ніздрюватий бетон)

№	Назва метеостанції	Ціна тепла, Грн/Гкал	Капітальні вкладення (вартість 1 м ² стіни), грн			Приведені витрати, грн/(м ² ×рік)		
			СниП	ДБН-06	ДБН-13	СниП	ДБН-06	ДБН-13
1	Вінниця	306,29	395	630	750	20,23	15,04	14,59
2	Луцьк	327,67	395	572	750	20,80	15,94	14,84
3	Луганськ	351,70	395	630	750	21,54	15,74	15,16
4	Дніпропетровськ	356,66	395	572	750	21,84	16,58	15,29
5	Донецьк	430,11	395	630	750	26,26	18,27	17,22
6	Житомир	285,05	395	630	750	19,15	14,46	14,12
7	Ужгород	439,78	395	512	750	22,38	17,99	15,53
8	Запоріжжя	274,66	395	572	630	16,70	13,45	13,14
9	Івано-Франківськ	306,27	395	572	750	19,52	15,17	14,28
10	Київ	217,00	395	630	750	15,09	12,27	12,35
11	Кіровоград	366,75	395	630	750	22,73	16,38	15,68
12	Сімферополь	369,76	395	512	630	18,14	15,03	13,91
13	Феодосія	464,87	395	512	630	19,45	15,95	14,62
14	Ялта	483,28	395	512	630	16,51	13,89	13,04
15	Львів	325,38	395	572	750	20,53	15,78	14,72
16	Миколаїв	300,65	395	512	630	17,13	14,32	13,37
17	Одеса	311,80	395	512	630	16,70	14,03	13,14
18	Полтава	315,98	395	630	750	20,87	15,38	14,87
19	Рівне	334,20	395	630	750	21,40	15,66	15,10
20	Суми	319,11	395	630	750	22,19	16,09	15,45
21	Тернопіль	267,82	395	630	750	18,32	14,01	13,76
22	Харків	291,87	395	630	750	19,85	14,83	14,43
23	Херсон	352,59	395	512	630	19,37	15,89	14,57
24	Хмельницький	265,21	395	630	750	18,03	13,85	13,63
25	Черкаси	218,46	395	630	750	15,28	12,38	12,44
26	Чернігів	302,56	395	630	750	20,70	15,29	14,80
27	Чернівці	265,78	395	572	750	17,03	13,66	13,20
	Мінімум	217,00				15,09	12,27	12,35
	Макимум	483,28				26,26	18,27	17,22
	Середнє	327,82				19,55	15,09	14,34

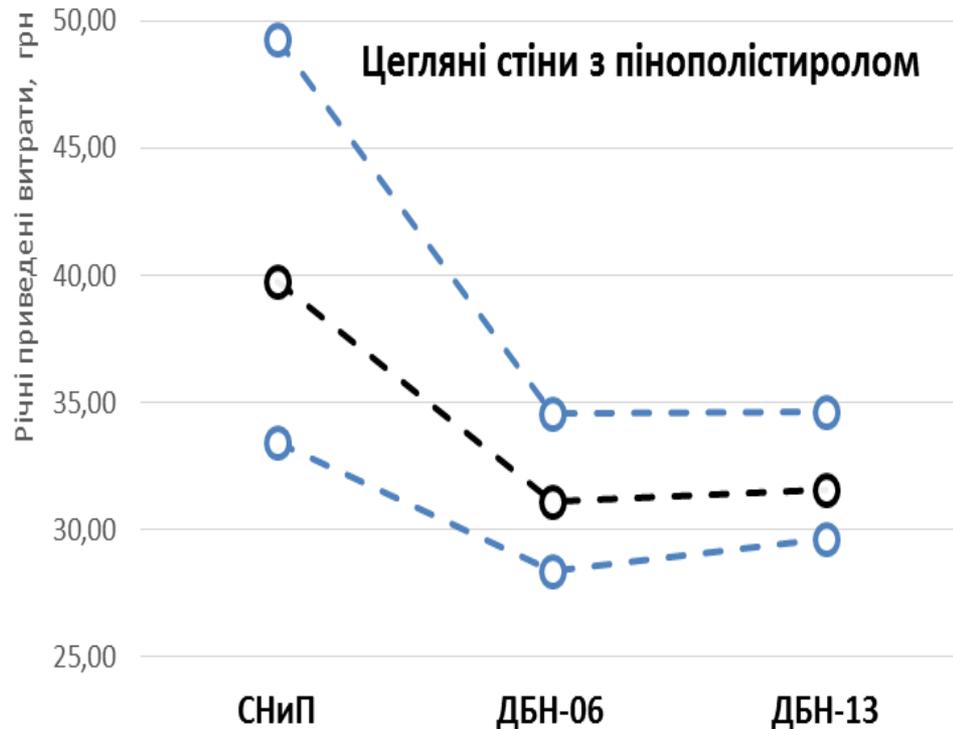
Річні приведені витрати, грн

Стіни з ніздрюватого бетону



Економічна ефективність змін опору теплопередачі стін цивільних будівель (цегляна стіна)

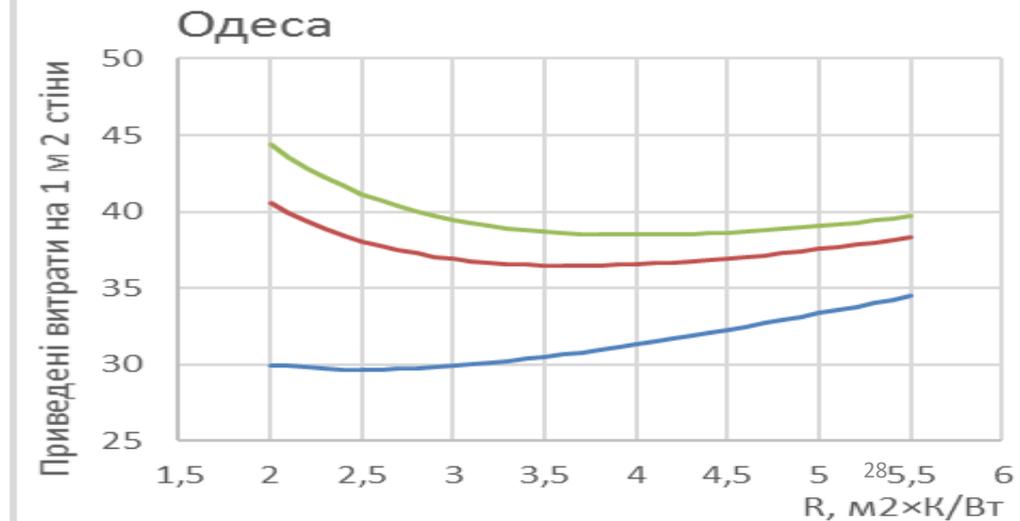
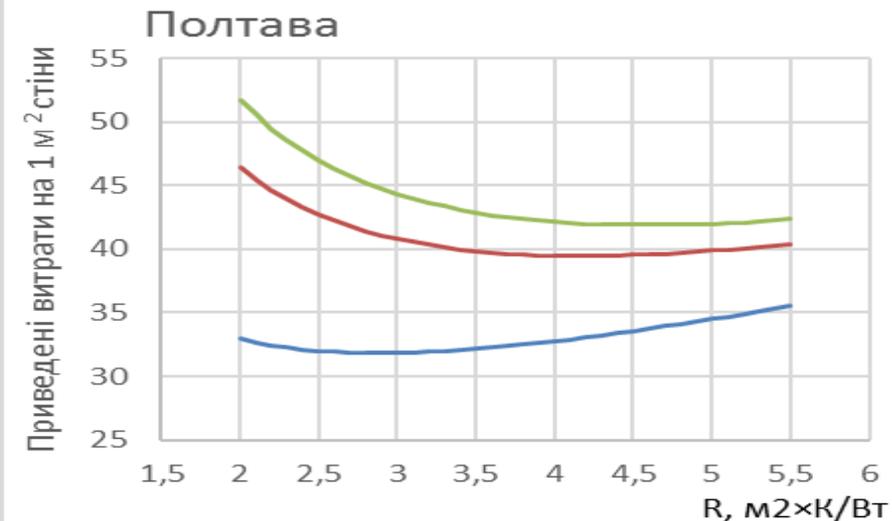
№	Назва метеостанції	Грн/Гкал	СНиП	ДБН-06	ДБН-13	СНиП	ДБН-06	ДБН-13
1	Вінниця	306,29	677	820	861	40,73	31,53	32,03
2	Луцьк	327,67	677	786	861	41,53	32,08	32,28
3	Луганськ	351,70	677	820	861	42,59	32,19	32,60
4	Дніпропетровськ	356,66	677	786	861	43,01	32,71	32,73
5	Донецьк	430,11	677	820	861	49,28	34,56	34,64
6	Житомир	285,05	677	820	861	39,20	30,99	31,57
7	Ужгород	439,78	677	753	861	43,78	32,89	32,96
8	Запоріжжя	274,66	677	786	820	35,71	29,63	29,75
9	Івано-Франківськ	306,27	677	786	861	39,72	31,32	31,72
10	Київ	217,00	677	820	861	33,43	28,94	29,81
11	Кіровоград	366,75	677	820	861	44,27	32,78	33,11
12	Сімферополь	369,76	677	753	820	37,75	30,07	30,48
13	Феодосія	464,87	677	712	820	39,62	30,53	31,14
14	Ялта	483,28	315	712	820	35,90	28,35	29,66
15	Львів	325,38	677	786	861	41,15	31,92	32,16
16	Миколаїв	300,65	677	753	820	36,33	29,41	29,97
17	Одеса	311,80	677	753	820	35,72	29,12	29,76
18	Полтава	315,98	677	820	861	41,63	31,85	32,31
19	Рівне	334,20	677	820	861	42,38	32,11	32,54
20	Суми	319,11	677	820	861	43,51	32,51	32,88
21	Тернопіль	267,82	677	820	861	38,02	30,57	31,21
22	Харків	291,87	677	820	861	40,18	31,34	31,87
23	Херсон	352,59	677	753	820	39,50	30,89	31,09
24	Хмельницький	265,21	677	820	861	37,60	30,42	31,08
25	Черкаси	218,46	677	820	861	33,70	29,04	29,89
26	Чернігів	302,56	677	820	861	41,39	31,77	32,24
27	Чернівці	265,78	677	786	861	36,18	29,82	30,65
	Мінімум	217,00				33,43	28,35	29,66
	Максимум	483,28				49,28	34,56	34,64
	Середнє	327,82				39,77	31,09	31,56



Економічна ефективність подальших змін опору теплопередачі стін цивільних будівель

Три варіанти ціни теплової енергії:

- ціни, встановлені постановами уряду в 2014 році для кожного міста України (312 грн/Гкал для Одеси і 316 грн/Гкал для Полтави);
- ціни, встановлені постановою уряду в 2015 році для кожного міста України (670 грн/Гкал для Одеси і 663 грн/Гкал для Полтави);
- ціни, встановлені постановою уряду в 2021 році для кожного міста України (1229,20 грн/Гкал для Одеси і 1596,93 грн/Гкал для Полтави);



ВИСНОВКИ

1. Протягом останніх десятиліть проектування теплозахисної оболонки будівель велося за трьома нормативними документами: СНиП II-3-79** "Строительная теплотехника", ДБН В.2.6-31:2006 «Теплова ізоляція будівель» та зміна № 1 до ДБН В.2.6-31:2006 від 01.07.2013 року та ДБН В.2.6 – 31:2016. При удосконаленні нормативних документів України проводиться послідовна технічна політика, орієнтована на зростання вимог до огорожувальних конструкцій будівель з метою підвищення їх теплової надійності та зменшення енергетичних витрат на опалення.
2. З метою проведення порівняльного аналізу теплових характеристик стін житлових будівель, запроєктованих згідно з вимогами норм різних років видання для різноманітних кліматичних умовах України, в середовищі Excel сформована електронна база метеорологічних даних з температури атмосферного повітря, необхідних для проектування теплозахисної оболонки будівель, для репрезентативної мережі з 27-ми метеостанцій.
3. Порівняльний аналіз параметрів температури атмосферного повітря для проектування теплозахисної оболонки будівель, встановлених нормативними документами з будівельної кліматології різних років видання, виявив близькість цих даних. Незначні відмінності температур у січні та в липні, а також дещо менші тривалості опалювального періоду в ДСТУ-Н Б В.1.1–27:2010, порівняно зі СНиП 2.01.01-82, вказують на певне пом'якшення клімату протягом останніх десятиліть, що узгоджується з відомою тенденцією до глобального потепління клімату.
4. Розроблена методика, яка дозволяє досить точно визначати кліматичні характеристики опалювального періоду (тривалість, середню температуру та кількість градусо-днів) за послідовностями середньомісячних температур атмосферного повітря на конкретній метеостанції, які відомі для більш ніж 400 пунктів спостереження України.
5. Аналіз необхідного опору теплопередачі та товщини теплоізоляційних шарів типових стін житлових і громадських будівель, запроєктованих для кліматичних умов усіх метеостанцій з обраної мережі за нормативними документами різних років, показав, що в українських нормах проектування теплової ізоляції будівель ДБН В.2.6-31:2006 та змінах до них від липня 2013 року необхідний опір теплопередачі стін житлових і громадських будівель підвищено в три – чотири рази порівняно зі СНиП II-3-79**. Це призвело до збільшення необхідної товщини теплоізоляційних шарів стін житлових будівель у 2 – 4 рази та до практичної неможливості використання стін з цегли чи керамзитобетону без додаткового утеплення ефективними теплоізоляційними матеріалами.

ВИСНОВКИ

6. Для усіх 27-ми метеостанцій з обраної мережі визначені втрати тепла протягом опалювального періоду через стіни житлових і громадських будівель, запроектовані за нормативними документами різних років. Підвищення вимог до теплової надійності стінових конструкцій, реалізоване в нормах проектування України, забезпечило зменшення втрат тепла через стіни у 2 – 4 рази.

7. Економічна ефективність від підвищення теплових характеристик стін, яке реалізоване в українських нормах проектування ДБН В.2.6-31:2006 та в змінах до них від 2013 року, ДБН В.2.6 – 31:2016 проаналізована шляхом порівняння приведених витрат, обчислених з урахуванням капітальних витрат, рівних кошторисній вартості стіни відповідної конструкції, та експлуатаційних видатків, рівних вартості тепла, яке щорічно втрачається через ці стіни.

8. Порівняння приведених витрат на 1 м² стін з ніздрюватого бетону та стін з утепленням із пінополістиролу в умовах 27 міст України вказує на їх істотне зменшення при переході від проектування за СНиП II-3-79** до проектування за ДБН В.2.6-31:2013 та ДБН В.2.6 – 31:2016. При сучасному співвідношенні вартості будівництва та цін на теплову енергію подальше збільшення опору теплопередачі стін з ніздрюватого бетону не дасть помітної економії енергетичних ресурсів, а збільшення опору теплопередачі стін з утепленням із пінополістиролу є недоцільним, оскільки воно приведе до зростання приведених витрат.

9. Виконаний аналіз теплотехнічних та економічних показників показав, що оптимальне значення опору теплопередачі необхідно встановлювати з урахуванням кліматичних умов району будівництва, конструкції стіни та використаних теплоізоляційних матеріалів, а також співвідношення вартості будівництва й вартості теплової енергії в конкретному регіоні.

Мета дослідження: проаналізувати зміни вимог до опору теплопередачі огороджувальних конструкцій в нормах проектування різних років, а також вплив цих змін на рівень теплової надійності та економічні показники стін цивільних будівель

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі **завдання:**

1. За результатами бібліографічного огляду проаналізувати етапи розвитку та відмінності нормативних документів різних років видання, зміни вимог до огороджувальних конструкцій будівель та засоби забезпечення їх теплової надійності.
2. Сформувати репрезентативну мережу метеостанцій України та електронну базу метеорологічних даних з температури атмосферного повітря, необхідних для проектування теплозахисної оболонки будівель.
3. Провести порівняльний аналіз параметрів температури атмосферного повітря для проектування теплозахисної оболонки будівель, встановлених нормативними документами з будівельної кліматології різних років видання.
4. Розробити методику визначення основних кліматичних параметрів опалювального періоду за метеорологічними даними для конкретного району будівництва.
5. Для усіх метеостанцій з обраної мережі проаналізувати значення необхідного опору теплопередачі та товщини теплоізоляційних шарів типових стін житлових і громадських будівель, запроектованих за нормативними документами різних років.
6. Для усіх метеостанцій з обраної мережі визначити втрати тепла протягом опалювального періоду через стіни житлових і громадських будівель, запроектовані за нормативними документами різних років.
7. З урахуванням фактичних тепловтрат і початкової вартості типових стін житлових будівель проаналізувати економічну ефективність від

підвищення теплових характеристик стін, яке реалізоване в українських нормах проектування ДБН В.2.6-31:2006 та в змінах до них від 2013 року, ДБН В.2.6-31:2016

Розділ 1

ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ З ПИТАНЬ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕПЛОВОЇ НАДІЙНОСТІ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ

1.1. Нормативні вимоги і засоби забезпечення теплової надійності огороджувальних конструкцій

Конструктивні рішення й теплотехнічні розрахунки огороджувальних конструкцій повинні на сьогодні відповідати вимогам ДБН В.2.6 – 31:2016. "Теплова ізоляція будівель" [5]. У минулі роки теплотехнічні розрахунки проводилися за СНиП П-3-79** "Строительная теплотехника" [14], ДБН В.2.6-31:2006 «Теплова ізоляція будівель» [2] та зміни до них від 01.07.2013 року [3].

Норми [5], як і їх попередники, [2, 3] поширюються на будинки та споруди, що обігріваються, при новому будівництві та при реконструкції й капітальному ремонті (термореновації, термомодернізації та термореконструкції). Норми встановлюють вимоги до теплотехнічних характеристик огороджувальних конструкцій (поелементні вимоги) будинків і споруд, порядок проведення розрахунків при проектуванні теплоізоляції будинків та споруд та вимоги до теплотехнічних характеристик будинків і споруд в цілому.

ДБН В.2.6 – 31:2016 [5] регламентують такі загальні принципи проектування теплоізоляції будинків:

1. Норми встановлюють мінімально допустимий рівень теплоізоляції будинків при їх проектуванні. За узгодженням з замовником (споживачем, інвестором) рівень теплоізоляції будинку, що проектується, може перевищувати нормативні показники.

2. При проектуванні теплоізоляційної оболонки будинку на основі багат шарових конструкцій слід розташовувати із внутрішньої сторони, шари з матеріалів, що мають більш високу теплопровідність, теплоємність й опір паропроникненню.

3. При проектуванні нових будинків та реконструкції існуючих, шари з теплоізоляційних матеріалів слід розташовувати з зовнішньої сторони огорожувальної конструкції використовуючи при цьому конструкції фасадної теплоізоляції згідно з ДБН В.2.6-33 [4] та ДСТУ Б В.2.6-34 [6]. Не рекомендується застосовувати конструктивні рішення з шарами із теплоізоляційних матеріалів з внутрішньої сторони конструкції через можливе надмірне накопичення вологи в теплоізоляційному шарі, що призводить до незадовільного тепловологісного стану конструкції й приміщення в цілому, а також до зниження рівня теплової надійності оболонки будинку.

4. При проектуванні будинків слід передбачати захист внутрішньої й зовнішньої поверхонь стін від впливу вологи та атмосферних опадів із використанням оздоблювально-захисних шарів покриття (облицювання, штукатурки, фарбування), які обираються в залежності від матеріалу стін, їх конструктивного рішення та умов експлуатації. Огороджувальні конструкції, що контактують із ґрунтом, слід захищати від ґрунтової вологи шляхом розміщення в стінах (зовнішніх і внутрішніх) вище вимощення будинку, а також нижче рівня підлоги цокольного чи підвального поверху горизонтальної гідроізоляції, а в підземній частині стін — вертикальної гідроізоляції.

5. Розрахункові теплофізичні характеристики будівельних матеріалів приймаються відповідно до ДСТУ Б В.2.6-189:2013 [11]. Проектування конструкцій із матеріалів, що не відображені в нормах, можливе тільки при наявності результатів випробувань, отриманих у спеціалізованих лабораторіях у галузі будівельної теплотехніки (незалежних чи тих, що входять до складу інститутів Держбуду України).

6. Проектування теплоізоляційної оболонки будинків слід здійснювати із застосуванням теплоізоляційних конструкцій і матеріалів, довговічність яких складає не менш ніж 25 років; а для змінних ущільнювачів — із довговічністю не менш ніж 15 років.

Вимоги до теплотехнічних характеристик огороджувальних конструкцій - мінімально допустиме значення $R_{q\ min}$ опору теплопередачі непрозорих огороджувальних конструкцій, світлопрозорих огороджувальних конструкцій і дверей житлових і громадських будинків встановлюється залежно від температурної зони експлуатації будинку за ДБН В.2.6 – 31:2016 «Теплова ізоляція будівель» [5]. Високі значення допустимого опору теплопередачі $R_{q\ min}$, встановлені ДБН [5] практично неможливо реалізувати в суцільних стінах з поширених конструкційно-теплоізоляційних матеріалів (цегла, бетони на легких заповнювачах, ніздрюваті бетони тощо). Це призводить до необхідності спорудження багатошарових стін, що складаються з несучих та ізолюючих шарів з ефективних теплоізоляційних матеріалів.

Наразі існує три способи теплоізоляції фасадів огороджувальних конструкцій:

1. Використання багатошарових конструкцій в середині стіни.
2. Теплоізоляція з зовні стіни.
3. Теплоізоляція з середини стіни.

Внутрішню теплоізоляцію використовують у край рідко, з тієї причини, що існує велика ймовірність того, що волога буде конденсуватися в зоні «холодна стіна — теплоізоляція» або, що ще гірше, в товщі стіни. І це ще при тому, що теплоізоляційний шар відчутно «з’їдає» корисну площу будинку [42].

Нові багатошарові системи фасадів являють собою дві великі групи: вентильовані і невентильовані фасади. Кожна з цих груп має свою галузь застосування. Для об’єктів промисловості, банківських та громадських установ, практично повсюдно застосовують вентильовані фасадні системи.

Невентильовані фасади, в свою чергу, застосовуються для монтажу в житлових будинках, а також для відновлення пам'ятників архітектури.

Системи теплоізоляції в середині стіни широко застосовуються та мають назву шарувата (колодязна) кладка. Система, приклад якої зображено на рисунку 1.1, являє собою тришарову конструкцію. Несуча стіна (внутрішня верста) виконується з цегли, бетону, керамзитобетону, блоків та інших матеріалів. Далі йде шар теплоізоляції, яким найчастіше є негорючі гідрофобізовані тепло-, звукоізоляційні плити з мінеральної вати на основі гірських порід габро-базальтової групи (наприклад, плити ТЕХНОБЛОК, ТЛ Клавити). Третій шар – це декоративна захисна кладка з лицьової цегли. Внутрішня та зовнішня частини тришарової кладки зв'язуються між собою спеціальними закладними деталями - гнучкими зв'язками з арматури чи лугостійкого склопластику.

Перед початком зведення зовнішніх стін необхідно влаштувати додаткову гідроізоляцію на межі між цоколем і стіною. При влаштуванні вентильованого повітряного прошарку в товщі стіни його розташовують між несучими плитами і зовнішньою частиною стіни, роблячи товщиною 20-30 мм. за даними[44]

Рис. 1.1. Схема монтажу теплоізоляції шаруватої кладки

Рис. 1.2 Схема монтажу вентильованого фасаду

Вентильовані системи теплоізоляції.

При монтажі вентильованого фасаду різні матеріали розташовуються шарами так, що теплопровідність матеріалів конструкції в напрямку з середини будинку назовні знижується, а рівень паропроникності збільшується. Така схема розташування матеріалів, разом з ефектом, який створює прошарок повітря, легко справляється з видаленням вологи як з теплоізоляційного матеріалу, так і з несучої частини стіни.

Типова конструкція вентилязованого фасаду, зображеного на рисунку 1.2 [38], включає в себе:

- Вирівнюючий кронштейн
- П-образний профіль
- Утеплювач
- Дюбель для теплоізоляції
- Вітрозахисна плівка
- Вентиляційний зазор
- Декоративний шар

Даний тип конструкції фасаду досить популярний та дозволяє проводити роботи з оздоблення та утеплення в будь-яку пору року. До утеплювача висуваються досить жорсткі вимоги: матеріал має бути негорючим, гідрофобізованим і не давати усадки. Крім цього, структура матеріалу повинна бути такою, щоб у товщі утеплювача не виникало конвективних потоків, через які знижуються теплоізоляційні показники. Усі ці вимоги задовольняють плити з мінеральної вати.

Облицювальним матеріалом можуть бути різні кам'яні породи, метал, скло, касети з композитного матеріалу, облицювальні плитки, фальш-брус тощо. Приклади облицювання фасадів різними матеріалами за даними джерел [40,61,58] наведені на рисунках 1.3 – 1.5. Наразі популярність набирає керамограніт.

Рис. 1.3 Фасадна термопанель

Рис. 1.4 Оформлення декоративного шару фальш-брусом

Рис. 1.5 Приклад оформлення вентилязованого фасаду плиткою

Набувають популярності також каркасні конструкції фасадів, які дозволяють приховати зовнішні нерівності існуючих стін старих будівель при їх реконструкції та термомодернізації. Зразок конструкції та зовнішнього вигляду таких фасадів наведені на рисунках 1.6 і 1.7 за даними [26,33].

Рис. 1.6 Схема монтажу вентилязованого фасаду за допомогою касет з композитного матеріалу

Рис. 1.7 Приклади фасадів, оздоблених касетами з композитного матеріалу

Каркасні стіни.

Каркасна конструкція являє собою каркас із стійок з кроком 500–600 мм, заповнений всередині теплоізолюючими плитами (ТЕХНОЛАЙТ, ТЛ Лайт).

З внутрішнього «теплого» боку утеплювача встановлюють пароізоляційну плівку для захисту теплоізоляційного матеріалу від зволоження парами внутрішнього повітря. Для захисту стіни від продування із зовнішнього боку утеплювача бажано передбачити вітрозахисний шар.

Матеріалами для внутрішньої обшивки можуть служити гіпсокартонні листи, панелі та інші площинні вироби. Зовнішній бік може бути обшитий вагонкою, оздоблений штукатуркою, декоративними плитками та іншими матеріалами для зовнішнього облицювання. При зведенні стін висотою більше 3-х метрів необхідно влаштовувати горизонтальні перемички. Типова схема каркасної стіни з використанням ефективного утеплювача наведена на рисунку 1.8 за даними [55].

Рис. 1.8 Схема каркасної стіни з ефективним утеплюючим шаром

Можливий варіант утеплення каркасних стін зсередини, але у такого способу є недоліки. Існує правило, яке говорить про те, що паропроникність шарів в багатошаровій конструкції має зростати зсередини назовні. В даному випадку необхідний пароізоляційний шар із внутрішньої сторони теплоізоляції, оскільки створюються умови для утворення конденсату в товщі конструкції на межі утеплювача та стіни. Крім цього, несуча стіна при такому способі утеплення не буде виведена із зони впливу на неї знакозмінних температур. Таким чином, втрачається величезна перевага утепленої стіни - висока довговічність.

Невентильованою фасадною системою теплоізоляції є штукатурний фасад. Залежно від товщини штукатурного шару, можна виділити фасади з «легкою» або «важкою» штукатуркою. Товщина шару оздоблення «легкої» штукатурної системи становить 4.5-5 мм, «важкої» - 25-30 мм.

В конструкції з тонким штукатурним шаром утеплювач кріплять до несучого шару стіни на клей та додатково укріплюють розпірними дюбелями. При використанні «важкої» штукатурки перевага віддається кріпленню на дюбелях, а сама штукатурка наноситься на металеву чи полімерну сітку, закріплену до тих же дюбелів. Приклад штукатурного фасаду та його зовнішнього оздоблення наведений на рисунках 1.9 та 1.10 за даними [51,57].

Рис. 1.9 Схема утеплення
штукатурного фасаду

Рис. 1.10 Різновиди декоративної
штукатурки

При підготовці несучої частини стіни, перед закріпленням до неї теплоізоляції, рекомендується за необхідності використовувати (в залежності від стану поверхні): антигрибкові суміші, ґрунтовку.

Усі розглянуті вище види фасадних теплоізоляційних систем наразі вважаються найкращими засобами забезпечення теплової надійності

огороджувальних конструкцій, а тому використовуються як у новому будівництві, так і при реконструкції та термомодернізації існуючих будівель.

1.2. Метеорологічні спостереження, імовірнісний опис і нормування розрахункових параметрів температури атмосферного повітря

Метеорологічні спостереження за температурою повітря є одним з найдавніших видів систематичних інструментальних вимірювань параметрів клімату. На території України систематичні вимірювання температури повітря розпочаті з кінця XIX століття з метою оцінювання кліматичних умов для проживання людей та забезпечення аграрного виробництва. Кількість пунктів спостереження на території України змінювалася з часом, досягаючи 500 метеорологічних станцій і постів. Досить густа мережа пунктів спостереження дала можливість накопичити значні обсяги даних, які дозволяють детально проаналізувати мінливість температури повітря у часі та по території.

Спостереження за температурою атмосферного повітря ведуться відповідно до міжнародно визнаних стандартів метеорологічних вимірювань, відображених у настанові [38]. Вимірювання здійснюються рідинними (ртутними чи толуоловими) термометрами, розміщеними в психрометричній будці на висоті два метри від поверхні землі. Будка має жалюзі, які відкривають вільний доступ повітря, але захищають розміщені в ній термометри від дії сонячних променів, забезпечуючи вимірювання температури повітря в затінку. Як правило, в будці встановлюють термометр для вимірювань поточних значень температури, а також мінімальний та максимальний термометри, які фіксують значення найбільшої та найменшої температури повітря протягом доби.

Вимірювання температури здійснюється у певні години (строки) вісім разів на добу. До 1963 року велися чотирьохстрокові спостереження за тією ж методикою. Такий підхід дозволяє виявити не лише середньодобові значення температури повітря, але й наближено встановити її добовий хід та добові амплітуди. Для більш детального вивчення добового ходу температури на деяких метеостанціях в будках такого ж типу встановлюють термографи, за допомогою яких ведуться безперервні записи температури. Окрім вимірювань на стандартній висоті 2 м над поверхнею землі, окремими метеостанціями ведуться спостереження за температурою повітря в приземному шарі повітря, а також на великих висотах.

Результати метеорологічних спостережень накопичуються в архівах системи Гідрометеослужби і публікуються в спеціалізованих інформаційних виданнях даними. Залежно від призначення та обсягу первинної інформації, використовуються різні форми подання метеорологічних показників, у тому числі результатів вимірювань температури. Окрім безпосередньої публікації результатів усіх строкових вимірювань на вибірковій мережі метеостанцій, найчастіше використовують середні значення, крайні значення, амплітуди, повторюваність за градаціями температури.

Середні значення є найбільш стійкими показниками, що характеризують температурний режим місцевості в цілому. У метеорології використовують середньодобові, середньомісячні та середньорічні значення температури повітря. Середньодобові значення оцінюються за безперервними записами термографів, або за результатами строкових спостережень. Середньомісячні та середньорічні значення, обчислені за досить довгими рядами спостережень (понад 30 років), називають кліматичними нормами і використовують для порівняння особливостей клімату різних географічних районів.

Крайні (граничні) значення відображають природну мінливість температури повітря й використовуються для оцінки умов експлуатації різних матеріалів та конструкцій. В кліматології прийнято визначати:

- ✓ абсолютні екстремуми, як найбільші та найменші значення показника, які спостерігалися протягом досить довгого періоду;
- ✓ середні місячні екстремуми, як середні значення найбільших чи найменших показників, отриманих у певному місяці протягом усіх років спостережень;
- ✓ середні річні екстремуми величини як середні значення найбільших чи найменших показників, отриманих протягом усіх років спостережень.

Амплітуда коливань температури повітря є різницею між найбільшим та найменшим значенням температури протягом певного періоду вимірювань. Для вирішення практичних питань найчастіше використовуються середньодобові амплітуди, визначені як різниці середніх добових максимумів та мінімумів температури, або як різниці середніх температур у найтепліші та найхолодніші години доби. Узагальненою характеристикою клімату є річна амплітуда температури повітря, рівна різниці між найбільшою і найменшою середньомісячними (за усі роки спостереження) значеннями температури.

Повторюваність значень температури відповідає статистичному поняттю закону розподілу. Повторюваність вказує, як часто спостерігаються різні значення температури в даному географічному районі, у тому числі виявляє явища, які рідко спостерігаються, але мають суттєве значення для вирішення практичних задач. Диференціальні повторюваності температури повітря прийнято визначати для інтервалів з градацією 5 градусів, виражаючи їх числом днів або процентом від загального числа днів у місяці чи році.

Інтегральні повторюваності розраховуються шляхом накопичення диференціальних повторюваностей, вищих чи нижчих заданої межі.

Для проведення статистичного аналізу з метою імовірнісного подання та нормування впливу температури атмосферного повітря можуть бути використані джерела, що містять такі дані:

- ✓ результати строкових вимірювань температури повітря на конкретній метеостанції, взяті з журналів спостережень;
- ✓ довідник по клімату [40] (середньомісячна та середня річна температура повітря, повторюваність добової амплітуди температури повітря в різних межах, повторюваність міждобової мінливості температури повітря у визначених межах, число днів із середньодобовою температурою повітря в різних межах, середній мінімум та середній максимум температури повітря за місяцями);
- ✓ метеорологічний щомісячник [36] (результати чотиристрокових вимірювань температури на вибірковій мережі метеостанцій);
- ✓ метеорологічний щомісячник [37] (середня, середня максимальна та середня мінімальна температури, абсолютний максимум та абсолютний мінімум температури для кожного окремого місяця);
- ✓ збірник [35] (середньомісячні значення та повторюваності температури).

Системні кліматологічні дослідження, зорієнтовані на інформаційне забезпечення будівельної галузі, інтенсивно велися протягом першої половини ХХ століття й продовжувалися в післявоєнні роки. У першу чергу слід відмітити фундаментальні дослідження [18, 28, 29], за результатами яких укладені норми проектування будівель [15,17,14] в частині урахування впливу температури повітря на будівлі, огорожувальні та несучі будівельні конструкції. Хоча ці роботи в основному базувалися на використанні

імовірнісних моделей розподілів випадкових величин, у них повною мірою реалізовано імовірнісний підхід до аналізу результатів спостережень за температурою повітря.

Імовірнісна модель квазістаціонарного диференційованого випадкового процесу температури повітря за результатами статистичного аналізу даних шести метеостанцій, розміщених у різних географічних районах України. За даними про повторюваність добової амплітуди температури повітря в різних межах отримані річні функції числових характеристик і показано, що їх можна описати рядами Фур'є з однією парою коефіцієнтів. Виявлені залежності коефіцієнта варіації та коефіцієнта асиметрії від середньомісячного значення температури. Вигляд гістограм розподілу показує, що в теплий період року вони можуть описуватися нормальним законом розподілу. Розподіли температур в зимові місяці мають виражену лівосторонню асиметрію, а тому нормальний розподіл може використовуватися лише для наближеної їх апроксимації. Запропоновано спосіб визначення ефективної частоти за даними [40] про повторюваність міждобової мінливості температури повітря і висунута гіпотеза, що значення ефективної частоти можна прийняти єдиним для усієї території України. У першому наближенні запропонована методика обчислення розрахункових значень температури залежно від їх середнього періоду повторюваності та інтервалу згладжування випадкового процесу температури повітря.

Методика дослідження та нормування впливів температури атмосферного повітря на огорожувальні конструкції будівель, розроблена в [19-24], базується на описі результатів строкових спостережень за температурою повітря ймовірнісною моделлю квазістаціонарного випадкового процесу. У вказаних дослідженнях, які стали методологічною основою цієї роботи, розроблені методи обчислення мінімальних розрахункових значень температури повітря з урахуванням періодів осереднення температури та періодів повторюваності розрахункових значень,

а також методи територіального районування розрахункових параметрів температури.

Ймовірнісна модель температури атмосферного повітря розроблена на підставі статистичного аналізу результатів вимірювань середньодобових температур на метеостанціях України. Згідно з пропозицією [21], в роботах [23, 24] сезонні зміни та міждобова мінливість температури повітря представлені у формі квазістаціонарного диференційованого випадкового процесу. Функції математичного сподівання $M(t)$ і стандарту $S(t)$ квазістаціонарного випадкового процесу середньодобової температури атмосферного повітря мають чітко виражені сезонні зміни, які досить точно описуються рядами Фур'є з однією парою коефіцієнтів:

$$M(t) = a_0 + a_1 \sin(0,01745 t) + b_1 \cos(0,01745 t) , \quad (1.1)$$

де a_0, a_1, b_1 – параметри, обчислені методом найменших квадратів.

За результатами статистичної обробки в [32,30] отримана узагальнена по території України залежність стандарту $S(t)$ від математичного сподівання $M(t)$ випадкового процесу температури повітря, яка апроксимована алгебраїчним поліномом третього ступеня:

$$S = 5,31 - 0,15 M + 0,0075 M^2 - 0,00024 M^3 ; \quad (1.2)$$

Дана залежність дозволяє наближено отримувати функцію стандарту через функцію математичного сподівання $M(t)$, що істотно спрощує ймовірнісну модель температури повітря.

Аналіз багаторічних даних показав, що закон розподілу ординати випадкового процесу середньодобової температури повітря є одномодальним, але в зимові та осінні місяці року має лівосторонню асиметрію. Для його подання можна використовувати змішаний розподіл Гумбеля-Гаусса,

описаний в [29, 32, 34]. В інженерних розрахунках можна також використовувати нормальний закон розподілу з густиною

$$f(x) = \frac{1}{S \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x - M)^2}{2S^2}\right], \quad (1.3)$$

де x – значення середньодобової температури повітря;

M і S – математичне сподівання й стандарт розподілу ординати для необхідного моменту часу протягом року.

Частотна структура випадкового процесу середньодобової температури повітря задається постійним у часі значенням ефективної частоти ω . Враховуючи відсутність вираженої сезонних змін отриманих послідовностей ефективних частот для 12 місяців року та незначну територіальну мінливість, в [22, 24] рекомендовано встановити загальне для усієї території України значення ефективної частоти $\omega = 0,6$ 1/добу.

Практична методика обчислення розрахункових значень температури повітря, необхідних для проектування теплозахисної оболонки будівель, розроблена в [20] на базі математичного апарату [21]. З метою урахування теплової інерції огорожувальних конструкцій розрахункові значення температури повітря обчислюються за характеристиками

згладженого процесу температури $Y(t) = \frac{1}{Z} \int_{t-z}^t X(\tau) d\tau$, які дорівнюють:

$$M_Y(t) = M_X(t); \quad \omega_Y = \sqrt{\frac{2}{Z} [1 - \exp(-\alpha Z)]} = \sqrt{\frac{2}{Z} \left[1 - \exp\left(-\frac{Z}{3}\right)\right]};$$

$$S_Y(t) = \frac{S_X(t)}{Z} \sqrt{\frac{\alpha Z + \exp(-\alpha Z) - 1}{\alpha + \exp(-\alpha) - 1}} = \frac{S_X(t)}{Z} \sqrt{6,6 Z + 20 \exp(-\alpha Z) - 20}, \quad (1.4)$$

де $M_X(t)$ і $M_Y(t)$ – функції математичного сподівання випадкових процесів середньодобової та згладженої температури повітря;

$S_X(t)$ і $S_Y(t)$ – функції стандартів тих же процесів;

Z – інтервал згладжування (осереднення) випадкового процесу температури повітря, залежний від теплової інерції конструкції.

Вважаючи випадковий процес згладженої температури $Y(t)$ нормальним і квазістаціонарним зі статистичними характеристиками (1.4), заданими у формі табличних послідовностей з 12 місячних значень, на основі відомої формули Райса отримано вираз для обчислення середньої кількості перевищень детермінованого рівня Y (викидів) протягом одного року:

$$\lambda_p = \int_0^{1_{\text{рік}}} \lambda(t) dt = 4,8 \omega_Y \sum_{i=1}^{12} \exp \left[-\frac{(Y - M_i)^2}{2 S_i^2} \right], \quad (1.5)$$

де M_i і S_i – значення функцій $M_Y(t)$ і $S_Y(t)$ для i -того місяця року за (1.4);

ω_Y – ефективна частота згладженого процесу за (1.4), виражена в 1/добу;
4,8 – коефіцієнт, що враховує 30 днів у місяці та параметри формули Райса.

Підстановка до (1.5) допустимої частоти перевищень $\lambda_p = 1/T$, приводить до нелінійного рівняння, чисельний розв'язок якого дає мінімальне розрахункове значення температури повітря в даній місцевості, залежне від заданого періоду повторюваності T й інтервалу осереднення Z , що враховує теплову інерцію огорожувальної конструкції.

В роботі [35] за описаною методикою визначені необхідні статистичні характеристики та розрахункові значення температури повітря в зимовий період часу за даними 485 пунктів спостереження України. При цьому отримані розрахункові значення температури $X(T, Z)$ для періодів повторюваності від T 10 до 200 років та інтервалів осереднення Z від 1 до 10 діб. Окрім того, в [42] виконане територіальне районування отриманих характеристик. Приклади розроблених в [41] карт територіального районування України наведено на рисунках 1.11– 1.13.

Рис. 1.11 Районування території України за середньорічною температурою повітря.

Рис. 1.12 Територіальне районування України за середньою температурою повітря у січні.

Рис. 1.13 Територіальне районування України за середньорічною температурою у липні

Наведені карти дозволяють просто, зручно й досить точно визначати середні температури січня, липня та усього року для довільного географічного району України. Інші статистичні характеристики визначаються за описаною вище методикою через отримані середні температури.

1.3. Опір теплопередачі огорожувальних конструкцій в СНиП СРСР

Проектування огорожувальних конструкцій раніше здійснювалося згідно з нормами будівельної теплотехніки СРСР, якими були СНиП II-3-79* [14]. До основних положень СНиП II-3-79* відносяться:

1. Вимоги цих норм повинні виконуватися при проектуванні огорожувальних конструкцій (зовнішніх та внутрішніх стін, перегородок, покрівель, горищних та міжповерхових перекриттів, підлог, заповнення прорізів: вікон, ліхтарів, дверей, воріт) нових та реконструйованих будівель різного призначення (житлових, громадських, сільськогосподарських, промислових, складських) з нормованою температурою внутрішнього повітря.

2. В цілях зменшення втрат тепла в зимовий період та надходження тепла в літній період при проектуванні будинків і споруд слід передбачати:

а) об'ємно-планувальні рішення з урахуванням забезпечення найменшої площі огорожувальних конструкцій;

- б) захист від сонця світових прорізів відповідно з нормативною величиною коефіцієнтів теплопропускання сонцезахисних пристроїв;
- в) площу світових прорізів відповідно до нормативних значень коефіцієнта природного освітлення;
- г) раціональне використання ефективних теплоізоляційних матеріалів;
- д) утеплення притворів і фальців в заповненнях прорізів та сполучень елементів (швів) в зовнішніх стінах та покриттях;

3. Режим вологості в будівлях і спорудах в зимовий період слід приймати в залежності від відносної вологості і температури внутрішнього повітря, зони вологості території СРСП – за додатком. Умови експлуатації огорожувальних конструкцій встановлюються залежно від режиму вологості приміщень і зон вологості району будівництва.

4. Гідроізоляцію стін від ґрунтової вологи слід передбачати залежно від конструкції стін:

горизонтальну – в стінах (зовнішніх, внутрішніх і перегородках) вище відмощення будівлі або споруди, а також нижче рівня підлоги цокольного або підвального поверху;

вертикальну – підземної частини стін з урахуванням гідрогеологічних умов та призначення приміщень.

5. При проектуванні будинків і споруд слід передбачати захист внутрішніх та зовнішніх поверхонь стін від впливу вологи (виробничої та побутової) та атмосферних опадів (влаштуванням облицювання або штукатурки, фарбуванням водотривкими сумішами тощо) з урахуванням матеріалу стін, умов їх експлуатації та вимог нормативних документів по проектуванню окремих видів будівель, споруд і будівельних конструкцій.

6. У зовнішніх стінах будівель і споруд з сухим або нормальним режимом приміщень допускається передбачати не вентилявані (замкнуті) повітряні прошарки і канали висотою поверху та не більше 6 м.

7. Підлога на ґрунті в приміщеннях з нормальною температурою внутрішнього повітря розміщені вище відмощення будівлі або нижче її не більше ніж на 0,5 м, повинні бути утеплені в зоні примикання підлоги до зовнішніх стін смугою завширшки 0,8 м шляхом укладки по ґрунту шару неорганічного вологостійкого утеплювача товщиною, обумовленою умовами забезпечення термічного опору цього шару утеплювача не менше термічного опору зовнішньої стіни.

Необхідний опір теплопередачі за СНиП II-3-79*

1. Опір теплопередачі R_0 огорожувальних конструкцій слід приймати рівним економічно доцільному опору теплопередачі $R_0^{\text{ЭК}}$, визначеному виходячи з вимог забезпечення найменших витрат відповідно до п. 2.15 але в усіх випадках не менше необхідного опору $R_0^{\text{ТР}}$ за санітарно-гігієнічними умовами, визначеного по формулі (1.1) або за таблицею (1.1).

2. Необхідний опір теплопередачі $R_0^{\text{ТР}}$, $\frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}}{[\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°C}/\text{ккал}]}$, огорожувальних конструкцій, за виключенням заповнених світових прорізів (вікон, балконних дверей та ліхтарів, слід визначати за формулою:

$$R_0^{\text{ТР}} = \frac{n(t_{\text{в}} - t_{\text{н}})}{\Delta t^{\text{н}} \alpha_{\text{в}}}, \quad (1.6)$$

де $\Delta t^{\text{н}}$ - нормативний температурний перепад між температурою внутрішнього повітря і температурою внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції;

n – коефіцієнт, прийнятий в залежності від положення зовнішньої поверхні огорожувальної конструкції по відношенню до зовнішнього повітря;

$t_{\text{в}}$ – розрахункова температура внутрішнього повітря °С, прийнята за нормами проектування відповідних будівель і споруд;

$t_{\text{н}}$ – розрахункова зимова температура зовнішнього повітря, °С;

α_B – коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції.

Необхідний опір теплопередачі можна також визначити за таблицею 1.1, в якій представлено будівлі і споруди, різниця температури внутрішнього повітря і середньої температури найбільш холодної п'ятиденки в °С, необхідний опір теплопередачі R_0^{TP} для вікон і балконних дверей та ліхтарів.

Таблица 1.1

Здания и помещения	Разность температуры внутреннего воздуха и средней температуры наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92, °С	Требуемое сопротивление теплопередаче R^{TP}_0 , м ² · °С /Вт		
		окон и балконных дверей	фонарей	
			П - образных	зенитных
1. Здания жилые, больничных учреждений (больниц, клиник, стационаров и госпиталей), диспансеров, амбулаторно-поликлинических учреждений, родильных домов, домов ребенка, домов-интернатов для престарелых и инвалидов, общеобразовательных детских школ, детских садов, яслей, яслей-садов (комбинатов), детских домов и детских приемников-распределителей	До 25	0,18	-	0,15
	Св. 25 до 44	0,39	-	0,31
	Св. 44 до 49	0,42	-	0,31
	Св. 49	0,53	-	0,48
2. Общественные здания, кроме указанных в поз. 1, и вспомогательные здания и помещения промышленных предприятий, за исключением помещений с влажным или мокрым режимом	До 30	0,15	-	0,15
	Св. 30 до 49	0,31	-	0,31
	Св. 49	0,48	-	0,48
3. Производственные здания с сухим или нормальным режимом	До 35	0,15	0,15	0,15
	Св. 35 до 49	0,31	0,15	0,31
	Св. 49	0,34	0,15	0,48
4. Производственные здания, а также помещения общественных зданий и вспомогательных зданий промышленных предприятий с влажным или мокрым режимом	До 30	0,15	0,15	-
	Св. 30	0,34	-	-
5. Производственные здания с расчетной относительной влажностью внутреннего воздуха не более 50 % и с избытками явного тепла, Вт/м ³ : а) св. 23 до 50 б) св. 50	До 49	0,15	0,15	-
	Св. 49	0,31	0,15	-
	Любая	0,15	0,15	-

Наразі в Російській Федерації діють норми СНиП 23-02-2003 [16], створені на основі СНиП II-3-79* [14]. Ці два документа схожі, зокрема основні положення залишились такими ж. СНиП Російської Федерації [16] більш досконалий та націлений на економію енергоресурсів. Для порівняння цих документів розглянемо методику визначення необхідного опору теплопередачі за СНиП 23-02-2003.

Таблица 1.2

Приведений опір теплопередачі R_0 , $\text{м}^2\text{°C/Вт}$, огорожувальних конструкцій а також вікон і ліхтарів (з вертикальним склінням або з кутом нахилу більше 45°) слід приймати не менше нормованих значень R_{req} , $\text{м}^2\text{°C/Вт}$, що визначаються за таблицею (1.2) залежно від градусо-діб опалювального періоду в районі будівництва D_d , $\text{°C} * \text{діб}$.

У примітках до таблиці вказано, що нормований опір теплопередачі для інших значень D_d слід визначати за формулою

$$R_{req} = aD_d + b, \quad (1.7)$$

де D_d - градусо-добы опалювального періоду, $\text{°C} * \text{діб}$, для конкретного пункту;

a , b – коефіцієнти, значення яких слід приймати за даними таблиці для відповідних груп будівель.

Порівнюючи таблиці 1.1 та 1.2 можна відмітити їх подібність та певні відмінності. В таблиці 1.1 присутня колонка з різницею температур внутрішнього повітря з середньою температурою найбільш холодної п'ятиденки. У СНиП 23-02-2003 цю різницю вдосконалили (замість п'ятиденки використовують тривалість у добах опалювального періоду, тобто періоду з температурою нижчою за $+8^\circ\text{C}$), цю величину назвали градусо-добы. Також інші величини залишились не змінними.

Можна зауважити що формула (1.6) присутня також у СНиП 23-02-2003, але вона використовується лише для промислових будівель з надлишком теплоти більше 23 Вт/м^2 та будівель, призначених для сезонної експлуатації, а також будівель з розрахунковою температурою 12°C і нижче. Приведений опір теплопередачі огорожувальних конструкцій (за виключенням світлопрозорих) R_{req} , $\text{м}^2 * \text{°C/Вт}$ слід приймати не менше значень отримані по формулі (1.6).

Зважаючи на вище зроблене порівняння, можна зробити висновок, що СНиП 23-02-2003 та СНиП II-3-79* дуже схожі, але СНиП 23-02-2003 більш досконалий, спрощений та орієнтований на економію енергоресурсів.

1.4. Опір теплопередачі огорожувальних конструкцій в ДБН України

Державні будівельні норми України ДБН В.2.6-31-2016 «Теплова ізоляція будівель» [5], як і їх попередні редакції [2, 3], встановлюють вимоги до теплотехнічних показників огорожувальних конструкцій (теплоізоляційної оболонки) будинків і споруд і порядку їх розрахунку з метою забезпечення раціонального використання енергетичних ресурсів на обігрівання, забезпечення нормативних санітарно-гігієнічних параметрів мікроклімату приміщень, довговічності огорожувальних конструкцій під час експлуатації будинків і споруд.

Вимоги цих норм є обов'язковими для юридичних і фізичних осіб – суб'єктів підприємницької діяльності на території України незалежно від форми власності та відомчої належності.

Положення Норм мають використовуватися при проектуванні будинків і споруд, що опалюються, при новому будівництві, реконструкції й капітальному ремонті (термомодернізації), при складанні енергетичного паспорта, визначенні витрат паливно-енергетичних ресурсів для опалення будинків розрахунково-аналітичним методом, а також при проведенні енергетичного обстеження будівель та споруд.

Мінімально допустиме значення $R_{q \min}$ опору теплопередачі непрозорих огорожувальних конструкцій, світлопрозорих огорожувальних конструкцій і дверей житлових і громадських будинків визначається за таблицею 1.3 залежно від температурної зони експлуатації будинку, що приймається згідно з картою температурних зон України. На карті з ДБН В.2.6-31-2006, наведеній на рисунку 1.14, визначено чотири температурні зони на території України.

Рисунок 1.14 Карта-схема температурних зон України
за ДБН В.2.6-31-2006

Визначившись з температурною зоною, можна за таблицею 1.3 (таблиця 1 з ДБН) встановити R_{qmin} .

Таблиця 1.3

Мінімально допустиме значення опору теплопередачі
за ДБН В.2.6-31-2006

№ поз.	Вид огорожувальної конструкції	Значення R_{qmin} для температурної зони			
		I	II	III	IV
1	Зовнішні стіни	2,8	2,5	2,2	2,0
2a*	Покриття й перекриття неопалюваних горищ	4,95	4,5	3,9	3,3
2б		3,3	3,0	2,6	2,2
3	Перекриття над проїздами та холодними підвалами, що межують із холодним повітрям	3,5	3,3	3,0	2,5
4	Перекриття над неопалюваними підвалами, що розташовані вище рівня землі	2,8	2,6	2,2	2,0
5a*	Перекриття над неопалюваними підвалами, що розташовані нижче рівня землі*	3,75	3,45	3,0	2,7
5б		2,5	2,3	2,0	1,8
6a	Вікна, балконні двері, вітрини, вітражі, світлопрозорі фасади	0,6	0,56	0,5	0,45
6б		0,5	0,5	0,5	0,45
7	Вхідні двері в багатоквартирні житлові будинки та в громадські будинки	0,44	0,41	0,39	0,32
8	Вхідні двері в малоповерхові будинки та в квартири, що розташовані на перших поверхах багатоповерхових будинків	0,6	0,56	0,54	0,45
9	Вхідні двері в квартири, що розташовані вище першого поверху	0,25	0,25	0,25	0,25

* Для будинків садибного типу і будинків до чотирьох поверхів включно.

У 2013 році були внесені зміни до ДБН В.2.6-31-2006 «Теплова ізоляція будівель». Ці зміни [3] розроблені Державним науково-дослідним інститутом будівельних конструкцій під керівництвом доктора технічних наук Фаренюка Г.Г. та Українським зональним науково-дослідним і проектним інститутом по цивільному будівництву під керівництвом Брусана А.А. і були введені в дію з 1 липня 2013 року.

Ці зміни зокрема передбачають зміни до температурних зон України та зміни мінімально допустимого значення опору теплопередачі R_{qmin} . Якщо в ДБН 2006 року нараховувалось чотири температурні зони, наразі їх кількість зменшена до двох, що й показано на карті з рисунка 1.15.

У ДБН В.2.6 – 31:2016. "Теплова ізоляція будівель" [5] продубльовані значення мінімально необхідного опору теплопередачі зі зміни до ДБН В.2.6-31:2006 "Теплова ізоляція будівель" № 1 від 2013 року, але замінені карта температурних зон, на якій територія Закарпатської області віднесена до другого температурного району, що й показано на рисунку 1.16.

Рисунок 1.15 Карта-схема температурних зон України
за змінами до ДБН В.2.6-31-2006

Рисунок 1.16 Карта-схема температурних зон України
за ДБН В.2.6-31-2016

З рисунка 1.16 видно, що територія України поділена на 2 температурні зони з такими місцевостями:

До першої температурної зони тепер належить більшість території України: Вінницька, Волинська, Дніпропетровська, Донецька, Житомирська, Івано-Франківська, Київська, Кіровоградська, Луганська, Львівська, Полтавська, Рівненська, Сумська, Тернопільська, Харківська, Хмельницька, Черкаська, Чернівецька, Чернігівська області.

До другої температурної зони належить АР Крим, Закарпатська, Запорізька, Миколаївська, Одеська, Херсонська області.

Окрім того, з таблиці 1.4 видно, що мінімальні значення R_{qmin} збільшилися порівняно з першою редакцією ДБН В.2.6-31-2006.

Таблиця 1.4

Таблиця 1 – Мінімумально допустиме значення опору теплопередачі огорожувальної конструкції житлових та громадських будинків ($R_{g, min}$)

№ поз.	Вид огорожувальної конструкції	Значення $R_{g, min}$, $m^2 \cdot K/Вт$, 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	0,44	0,39
7	Вхідні двері в малоповерхові будинки та в квартири, що розташовані на перших поверхах багатоповерхових будинків	0,6	0,54

Порівнюючи ДБН В.2.6-31-2006, зміни до них від 2013 року та ДБН В.2.6 – 31:2016 можемо зробити такі висновки:

Істотні зміни, внесені до ДБН В.2.6 – 31:2016 «Теплова ізоляція будівель», регламентують посилення вимог до мінімумально допустимого значення опору теплопередачі огорожувальних конструкцій будівель і споруд.

Частина змін нормативу також полягають у тому, що було переглянуто кількість температурних зон: якщо раніше територія України ділилася на чотири зони, то зараз виділені лише дві.

Варто відзначити, що згідно з оновленими ДБН, зовнішні стіни при зведенні нового житла або його реконструкції повинні мати такі мінімумально допустимі значення опору теплопередачі:

- для першої температурної зони України - 3,3 $m^2K/Вт$ (раніше було 2,5-2,8 $m^2K/Вт$),
- для другої - 2,8 $m^2K/Вт$ (раніше було 2,0-2,5 $m^2K/Вт$).

Іншими словами, теплоізоляційний шар для фасадних конструкцій:

- для першої температурної зони був 100-120 мм, зараз його товщина орієнтовно повинна бути не менше 120-150 мм;
- для другої температурної зони товщина утеплювача для фасадних конструкцій повинна становити не менше 100 мм, у той час як раніше було регламентовано застосування утеплювачів товщиною 50-80 мм.

Якщо говорити про похилі покрівлі, то мінімальні допустимі значення опору теплопередачі також змінилися з набранням чинності оновленого нормативу. Тепер ці значення становлять:

- для першої температурної зони України - 4,95 м²К/Вт (раніше було 3,3 м²К/Вт),
- для другої - 4,9 м²К/Вт (раніше цей показник становив 2,6 м²К/Вт).

Товщини застосовуваних теплоізоляційних матеріалів для похилих покрівель повинні орієнтовно відповідати таким показникам:

- При утепленні похилої покрівлі в першій температурній зоні товщина утеплювача повинна становити 250-300 мм, у той час, як раніше можна було використовувати 150-200 мм.
- Для другої температурної зони товщина утеплювача повинна становити 150-200 мм, а до набрання чинності змін було досить використовувати 100-120 мм.

1.5. Висновки з огляду літератури та завдання досліджень

Виконаний огляд літературних джерел з питань дослідження температури атмосферного повітря та методів забезпечення теплової надійності огорожувальних конструкцій дозволяє зробити такі **висновки**:

1. Підвищення вимог до теплової надійності будівель шляхом збільшення необхідного опору теплопередачі огорожувальних конструкцій обумовлює широке застосування фасадних систем теплоізоляції різного типу.

2. Достатній рівень теплової надійності забезпечується за рахунок дотримання нормативних вимог щодо значень необхідного опору теплопередачі, які істотно виросли протягом останніх десятиліть.
3. Державні будівельні норми України ДБН В.2.6-31-2016 «Теплова ізоляція будівель», як і норми проектування Російської федерації, вимагають визначати необхідний опір теплопередачі огорожувальних конструкцій цивільних будівель з урахуванням кількості градусо-днів опалювального періоду відповідно до температурної зони за цими нормами.
4. Зміни до ДБН В.2.6-31-2006, чинні з 01.07.2013 року та ДБН В.2.6 – 31:2016 узаконюють перехід від чотирьох до двох температурних зон та додаткове підвищення опору теплопередачі огорожувальних конструкцій. Об'єднання в одну зону усіх південних районів України вказує на те, що для районів Південного берега Криму та Причорномор'я це підвищення може бути надмірним.
5. Системою гідрометеослужби накопичені результати спостережень за температурою атмосферного повітря, що дозволило представити її у вигляді квазістаціонарного диференційованого випадкового процесу, встановити характеристики такого процесу для різних географічних зон України та скласти карти районування за цими характеристиками.
6. Наявні кліматичні характеристики дозволяють оцінити рівень теплової надійності огорожувальних конструкцій, запроектованих у різний час за різними нормами проектування, та проаналізувати доцільність підвищення вимог до теплової надійності огорожувальних конструкцій у південних районах України.

Виходячи з викладеного в даному розділі огляду літературних джерел, сформульована мета кваліфікаційної магістерської роботи: проаналізувати зміни вимог до опору теплопередачі в нормах проектування різних років та їх вплив на рівень теплової надійності огорожувальних конструкцій.

Розділ 2

КЛІМАТОЛОГІЧНІ ПАРАМЕТРИ ТЕМПЕРАТУРИ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ДЛЯ АНАЛІЗУ ТЕПЛОВІЇ НАДІЙНОСТІ

2.1 Мережа метеостанцій і структура бази метеорологічних даних

Для аналізу змін кліматичних параметрів та опору теплопередачі огорожувальних конструкцій вибрані метеостанції, дані яких наведені в двох нормативних документах: ДСТУ-Н Б В.1.1–27:2010 "Будівельна кліматологія" [13] та СНиП 2.01.01-82 "Строительная климатология и геофизика"[17]. До цього списку увійшли обласні центри України та кілька міст на березі Чорного моря, де клімат істотно відрізняється від клімату континентальної частини України. Перелік з 27 обраних метеостанцій наведений в таблиці 2.1, а їх розміщення на території України показано на рисунку 2.1.

Рис. 2.1 Мережа метеостанцій для аналізу параметрів клімату

Таблиця 2.1

Список метеостанцій України

Мережа вибраних метеостанції рівномірно покриває територію України. Для уточнення кліматичних показників до мережі додатково включені три міста в Автономній Республіці Крим, які знаходяться безпосередньо на березі Чорного моря, де клімат і температурні показники істотно відрізняються від інших найближчих районів.

Для кожної метеостанції в ДСТУ [13] та СНиП [17] наведені метеорологічні показники, що характеризують температурний режим місцевості. База даних створена в середовищі Excel у вигляді двох робочих аркушів, зміст яких наведений в таблицях 2.2 і 2.3.

До таблиці 2.2 включені значення середніх температур атмосферного повітря на кожній метеостанції:

- середньомісячні температури усіх місяців року за ДСТУ [13];
- середньомісячні температури січня та липня за СНиП [17];
- середньорічні температури за ДСТУ [13] та СНиП [17].

До таблиці 2.3 включені розрахункові значення температур атмосферного повітря в холодний періоду року на кожній метеостанції за даними ДСТУ [13] та СНиП [17]:

- температура найхолоднішої доби із забезпеченістю 0,98;
- температура найхолоднішої доби із забезпеченістю 0,92;
- температура найхолоднішої п'ятиденки із забезпеченістю 0,98;
- температура найхолоднішої п'ятиденки із забезпеченістю 0,92;
- тривалість опалювального періоду;
- середня температура опалювального періоду.

Використання табличного процесора Excel для створення бази метеорологічних даних дозволяє надалі виконувати статистичну обробку та аналіз метеорологічних даних, а також обчислення необхідних теплотехнічних параметрів огороджувальних конструкцій.

2.2 Середні температури атмосферного повітря

Сформована й описана в попередньому підрозділі база метеорологічних даних містить середньомісячні та середньорічні температури повітря на 27 метеостанціях України, визначені за даними двох нормативних документів: чинного ДСТУ-Н Б В.1.1–27:2010 "Будівельна кліматологія" [13] та його попередника СНиП 2.01.01-82 "Строительная климатология и геофизика"[17]. СНиП [17] розроблені на базі кліматологічної інформації, в основному отриманої до 1975 року. При розробленні ДСТУ враховувалися результати спостережень наступних років, що дозволило використати більші обсяги інформації та врахувати можливі зміни клімату протягом останніх десятиліть.

Саме з метою виявлення змін клімату та підвищення достовірності досліджень у цьому й наступних підрозділах виконано порівняльний аналіз кліматичних параметрів, які враховуються при проектуванні огорожу-вальних конструкцій. В таблиці 2.4 для усіх метеостанцій наведені вихідні дані та відхилення середньомісячних та середньорічних температур атмосферного повітря за ДСТУ від аналогічних значень СНиП. Проаналізовані відхилення середніх температур січня та липня, як найхолоднішого і найтеплішого місяців року, а також середньорічних температур повітря.

В останніх рядках таблиці наведені результати статистичної обробки відхилень температури, а саме: найменші та найбільші різниці в градусах Цельсія між даними СНиП і ДСТУ, а також середнє значення й стандарт вибірки з 27 різниць, обчислені за функціями Excel *CPЗНАЧ(список)* та *СТАНДОТКЛОН(список)*, які реалізують відомі [25,27] формули статистичної обробки випадкових величин

$$M = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i ; \quad S = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (X_i - M)^2} , \quad (2.1)$$

де $N=27$ – обсяг вибірки відхилень (кількість метеостанцій);

X_i – відхилення температур для i -тої метеостанції.

Таблиця 2.4

Відхилення середніх температур повітря за ДСТУ від даних СНиП

№	Місто	Температури за СНиП			Температури за ДСТУ			Різниці температур		
		1	7	Рік	1	7	Рік	1	7	Рік
1	Вінниця	-6,0	18,7	6,7	-5,1	18,7	7,3	0,9	0	0,6
2	Луцьк	-4,0	18,6	7,2	-4,2	18,4	7,5	-0,2	-0,2	0,3
3	Луганск	-6,6	22,3	8,0	-5,0	22,0	8,6	1,6	-0,3	0,6
4	Дніпропетровськ	-5,4	22,3	8,5	-4,7	21,6	8,7	0,7	-0,7	0,2
5	Донецьк	-6,6	21,6	7,5	-5,2	21,2	8,1	1,4	-0,4	0,6
6	Житомир	-5,7	18,9	6,8	-5,1	18,5	7,2	0,6	-0,4	0,4
7	Ужгород	-3,1	20,5	9,6	-2,4	20,3	9,8	0,7	-0,2	0,2
8	Запоріжжя	-4,9	22,8	9,0	-3,5	22,4	9,6	1,4	-0,4	0,6
9	Івано-Франківськ	-5,1	18,5	7,3	-4,3	18,3	7,6	0,8	-0,2	0,3
10	Київ	-5,9	19,8	7,2	-4,7	19,8	8,0	1,2	0	0,8
11	Кіровоград	-5,6	20,2	7,5	-4,9	20,4	8,1	0,7	0,2	0,6
12	Сімферополь	-1,0	21,8	10,2	-0,3	21,8	10,6	0,7	0	0,4
13	Феодосія	0,6	23,8	11,7	1,2	23,2	12,0	0,6	-0,6	0,3
14	Ялта	4,0	23,7	13,0	4,1	23,6	13,0	0,1	-0,1	0
15	Львів	-5,0	17,4	6,7	-4,0	17,7	7,4	1	0,3	0,7
16	Миколаїв	-3,5	23,2	9,8	-2,6	22,7	10,1	0,9	-0,5	0,3
17	Одеса	-2,5	22,2	9,8	-1,3	22,0	10,3	1,2	-0,2	0,5
18	Полтава	-6,9	20,6	7,0	-5,6	20,5	7,8	1,3	-0,1	0,8
19	Рівне	-5,4	18,5	6,9	-4,6	18,2	7,3	0,8	-0,3	0,4
20	Суми	-7,9	19,3	6,0	-6,6	19,5	6,8	1,3	0,2	0,8
21	Тернопіль	-5,4	18,4	6,9	-5,0	17,8	6,9	0,4	-0,6	0
22	Харків	-7,3	20,8	6,9	-5,9	20,7	7,6	1,4	-0,1	0,7
23	Херсон	-3,2	23,0	9,8	-2,5	22,4	10,0	0,7	-0,6	0,2
24	Хмельницький	-5,6	18,6	6,8	-4,9	18,4	7,2	0,7	-0,2	0,4
25	Черкаси	-5,8	20,0	7,2	-5,0	20,1	7,9	0,8	0,1	0,7
26	Чернігів	-6,7	19,4	6,5	-5,9	19,2	7,0	0,8	-0,2	0,5
27	Чернівці	-5,0	19,3	7,8	-4,1	19,1	8,1	0,9	-0,2	0,3
Мінімум								-0,2	-0,7	0,0
Максимум								1,6	0,3	0,8
Середнє M								0,87	-0,21	0,45
Стандарт S								0,41	0,26	0,23

За даними таблиці 2.4 збудовані гістограми розподілу відхилень температури за методикою, викладеною в [25,42]. Величини інтервалів відхилень призначені рівними $0,4^{\circ}\text{C}$, щоб отримати до п'яти інтервалів у гістограмі. Для підрахунку кількості даних, що потрапили до обраних інтервалів, використана функція Excel *ЧАСТОТА(список, C_j)*, яка обчислює кількість даних в області „список”, менших за межу j -того інтервалу C_j . Отримані гістограми розподілу наведені на рисунку 2.2.

а) січень

б) липень

в) відхилення середньорічних температур

Рис. 2.2 Гістограми розподілу відхилень температур за ДСТУ та СНиП

З таблиці 2.4 та гістограм розподілу (рис. 2.2) видно, що середньомісячні та середньорічні температури повітря, визначені за ДСТУ та за СНиП, є досить близькими. Найбільша різниця в $1,6^{\circ}\text{C}$ у бік зростання (потепління) спостерігається для середніх температур січня. У середньому по Україні січневі температури підвищуються на $0,9^{\circ}\text{C}$, середньоліпневі – зменшуються на $0,2^{\circ}\text{C}$, а середні температури року зросли на $0,45^{\circ}\text{C}$. Це узгоджується із відомою тенденцією глобального потепління клімату та вказує на певне його пом'якшення протягом останніх десятиліть.

Виявлені відмінності між ДСТУ [13] та СНиП [17] є незначними, а тому в подальшому аналізі з метою забезпечення стабільності результатів будемо використовувати дані ДСТУ [13], як отримані за більшими обсягами результатів метеорологічних спостережень за температурою повітря.

2.3 Розрахункові температури атмосферного повітря

База метеорологічних даних містить не тільки середньомісячні та середньорічні температури повітря, а й розрахункові значення температури. Розрахункові температури для 27 метеостанцій України визначені за даними двох нормативних документів: чинного ДСТУ-Н Б В.1.1–27:2010 "Будівельна кліматологія" [13] та його попередника СНиП 2.01.01-82 "Строительная климатология и геофизика" [17]. СНиП [17] розроблені на базі кліматологічної інформації, в основному отриманої до 1975 року. При розробленні ДСТУ враховувалися результати спостережень наступних років, що дозволило використати більші обсяги інформації та врахувати можливі зміни клімату протягом останніх десятиліть.

Таблиця 2.5

Відхилення розрахункових значень температури повітря
за ДСТУ від даних СНиП

№	Місто (метеостанція)	Різниця розрахункових значень температури			
		найхолоднішої доби із забезпеченістю		найхолоднішої п'ятиденка	
		0,92	0,98	0,92	0,98
1	Вінниця	0	0	0	0
2	Луцьк	0	0	0	0
3	Луганськ	0	0	0	0
4	Дніпропетровськ	-1	-1	-1	-1
5	Донецьк	0	0	1	1
6	Житомир	0	0	1	0
7	Ужгород	-1	-1	-1	0
8	Запоріжжя	1	1	1	1
9	Івано-Франківськ	0	0	0	0
10	Київ	0	0	0	0
11	Кіровоград	-1	0	0	0
12	Сімферополь	0	0	0	1
13	Феодосія	0	0	0	0
14	Ялта	0	0	0	0
15	Львів	-1	-1	0	0
16	Миколаїв	0	0	1	0
17	Одеса	0	0	1	0
18	Полтава	0	0	1	0
19	Рівне	0	0	0	0
20	Суми	2	-1	0	-1
21	Тернопіль	0	0	1	1
22	Харків	0	0	0	0
23	Херсон	0	0	0	0
24	Хмельницький	0	0	0	0
25	Черкаси	0	0	1	1
26	Чернігів	-1	-1	-1	0
27	Чернівці	0	0	0	0
	Мінімум	-1	-1	-1	-1
	Максимум	2	1	1	1
	Середнє M	-0,07	-0,15	0,19	0,11
	Стандарт S	0,62	0,46	0,62	0,51

З метою виявлення змін клімату, зокрема екстремально низьких розрахункових значень температури повітря, та підвищення достовірності досліджень у цьому підрозділі виконано порівняльний аналіз кліматичних параметрів, які враховуються при проектуванні огорожувальних конструкцій. В таблиці 2.3 для усіх метеостанцій наведені розрахункові температури для найхолоднішої доби та п'ятиденки із забезпеченістю 0,98 та 0,92, а також основні параметри опалювального періоду за ДСТУ та СНиП. Відхилення розрахункових значень найхолоднішої доби та найхолоднішої п'ятиденки між ДСТУ та аналогічними даними СНиП обчислені й проаналізовані в таблиці 2.5.

Рис. 2.3 Гістограми розподілу відхилень розрахункових значень температур за ДСТУ та СНиП

В останніх рядках таблиці 2.5 наведені результати статистичної обробки відхилень розрахункових температур, а саме: найменші та найбільші різниці в градусах Цельсія між даними СНиП і ДСТУ, а також середнє значення й стандарт вибірки з 27 різниць, обчислені за функціями Excel *CPЗНАЧ(список)* та *СТАНДОТКЛОН(список)*, за формулами 2.1. За даними таблиці збудовані також гістограми розподілу відхилень, наведені на рисунку 2.3.

Аналіз таблиці 2.5 та рисунка 2.3 показує, що відмінності в розрахункових температурах, визначених за СНиП і за ДСТУ, є незначними. У середньому по території України відхилення не перевищують $0,2^{\circ}\text{C}$, а для окремих метеостанцій коливаються в межах від -1°C до $+1^{\circ}\text{C}$. Лише в одному випадку розрахункова температура найхолоднішої доби із забезпеченістю 0,98 на метеостанції м. Суми в ДСТУ підвищилася на 1°C порівняно зі СНиП. Як видно з гістограм, наведених на рисунку 2.3, для переважної більшості метеостанцій (від 16 до 21 із 27)

розрахункові температури за СНиП і за ДСТУ є однаковими, тобто різниця між ними складає 0°C.

2.4 Кліматичні параметри опалювального періоду

Опалювальним періодом називають холодний період року, протягом якого середньодобова температура зовнішнього повітря менша за +8 °С. До основних параметрів опалювального періоду відноситься його тривалість $t_{оп}$, середня температура атмосферного повітря протягом опалювального періоду $\tau_{оп}$ та кількість градусо-днів опалювального періоду, рівна

$$G_{оп} = t_{оп} \times (20 - \tau_{оп}) , \quad (2.2)$$

де 20°C – нормативна температура в житловому приміщенні за ДБН [1].

В ДСТУ [13] та СНиП [17] для кожного з наявних населених пунктів України наведені значення $t_{оп}$ і $\tau_{оп}$, які й включені до бази метеорологічних даних, сформованих нами у середовищі Excel. Кількість градусо-днів $G_{оп}$ для кожної з 27 метеостанцій, обчислена за формулою (2.2) та даними ДСТУ та СНиП, вказана в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6

Кліматичні параметри опалювального періоду за ДСТУ та СНиП

№	Місто	За СНиП			За ДСТУ			Відхилення		
		$t_{оп}$, діб	$\tau_{оп}$, °С	$G_{оп}$, гр-діб	$t_{оп}$, діб	$\tau_{оп}$, °С	$G_{оп}$, гр-діб	$t_{оп}$, діб	$\tau_{оп}$, °С	$G_{оп}$, гр-діб
1	Вінниця	189	-1,1	3988	182	-0,2	3676	-7	0,9	-312
2	Луцьк	187	-0,2	3777	180	0,3	3546	-7	0,5	-231
3	Луганськ	180	-1,6	3888	172	-0,4	3509	-8	1,2	-379
4	Дніпропетровськ	175	-1,0	3675	172	-0,2	3474	-3	0,8	-201
5	Донецьк	183	-1,8	3989	176	-0,5	3608	-7	1,3	-381
6	Житомир	192	-0,8	3994	184	-0,2	3717	-8	0,6	-277
7	Ужгород	162	1,6	2981	154	1,4	2864	-8	-0,2	-116
8	Запоріжжя	174	-0,4	3550	166	0,6	3220	-8	1,0	-329
9	Івано-Франківськ	184	-0,1	3698	179	0,4	3508	-5	0,5	-190
10	Київ	187	-1,1	3946	176	-0,1	3538	-11	1,0	-408
11	Кіровоград	185	-1,0	3885	175	-0,3	3553	-10	0,7	-333
12	Сімферополь	158	1,9	2860	154	2,6	2680	-4	0,7	-180
13	Феодосія	144	2,9	2462	142	3,6	2329	-2	0,7	-134
14	Ялта	126	5,2	1865	126	5,3	1852	0	0,1	-13
15	Львів	191	-0,2	3858	179	0,4	3508	-12	0,6	-350
16	Миколаїв	165	0,4	3234	161	1,1	3043	-4	0,7	-191
17	Одеса	165	1,0	3135	158	2,0	2844	-7	1,0	-291
18	Полтава	187	-1,9	4095	178	-0,8	3702	-9	1,1	-393
19	Рівне	191	-0,5	3916	182	0,1	3622	-9	0,6	-294
20	Суми	195	-2,5	4388	187	-1,4	4002	-8	1,1	-386
21	Тернопіль	190	-0,5	3895	184	-0,2	3717	-6	0,3	-178
22	Харків	189	-2,1	4177	179	-1,0	3759	-10	1,1	-418
23	Херсон	167	0,6	3240	163	1,3	3048	-4	0,7	-192
24	Хмельницький	191	-0,6	3935	183	-0,1	3678	-8	0,5	-256
25	Черкаси	189	-1,0	3969	178	-0,3	3613	-11	0,7	-356
26	Чернігів	191	-1,7	4145	187	-0,9	3908	-4	0,8	-236
27	Чернівці	179	-0,2	3616	175	0,5	3413	-4	0,7	-203
Мінімальні								-12	-0,2	-418
Максимальні								0	1,3	-13
Середні								-6,8	0,73	-268

Порівняльний аналіз трьох вказаних параметрів опалювального періоду виконано в таблиці 2.6, де наведені значення $t_{оп}$, $\tau_{оп}$ і $G_{оп}$, встановлені за СНиП [17] і за ДСТУ [13], а також відхилення даних ДСТУ від даних СНиП. В трьох останніх стовпчиках таблиці 2.6 наведені різниці тривалості опалювального періоду, середньої температури повітря та кількості градусо-днів за СНиП та ДСТУ. Знак мінус в колонках тривалості опалювального періоду та кількості градусо-днів вказує, наскільки зменшилися ці величини в ДСТУ порівняно зі СНиП. Знак мінус в колонці відхилень середньої температури опалювального періоду вказує на нижчі (холодніші) температури в ДСТУ порівняно зі СНиП.

а) тривалість опалювального періоду

б) середня температура

в) кількість градусо-днів

Рис. 2.4 Гістограми розподілу відхилень параметрів опалювального періоду, визначених за ДСТУ та СНиП

За даними таблиці 2.6 збудовані також гістограми розподілу відхилень, які зображені на рисунку 2.4. Методика побудови гістограм у середовищі Excel така сама, як і в попередніх підрозділах.

Аналіз таблиці 2.6 та рисунка 2.4 вказує на істотні відмінності даних ДСТУ[13] та СНиП [17]. Середні температури опалювального періоду в ДСТУ стали дещо вищими. Для п'яти метеостанцій ця різниця перевищує 1°C , а в середньому по Україні дорівнює $0,7^{\circ}\text{C}$. Тривалість опалювального періоду на різних метеостанціях зменшилася в межах до 12 днів (у середньому на 7 днів), а кількість градусо-днів опалювального періоду в ДСТУ зменшена в межах від 13 до 418 гр-днів (у середньому по Україні на 267 гр-днів). Зменшення кількості градусо-днів пропорційне зменшенню тривалості опалювального періоду. Це підтверджується рисунком 2.5, на якому вздовж осі абсцис відкладені відхилення $t_{оп}$, а вздовж осі ординат – відхилення $G_{оп}$.

Рис. 2.5 Залежність між відхиленнями тривалості та кількості градусо-днів опалювального періоду, визначених за ДСТУ та СНиП

Виявлені зміни та залежності між параметрами опалювального періоду можна пояснити загальним збільшенням температури атмосферного повітря в зимовий період року, яке було виявлене в підрозділах 2.2 і 2.3. Загалом проведений аналіз свідчить, що в ДСТУ передбачено менші періоди опалювання, аніж були встановлені в СНиП, та менші кількості градусо-днів, за якими визначаються необхідні теплотехнічні характеристики огорожувальних конструкцій будівель.

2.5 Визначення кліматичних параметрів опалювального періоду за метеорологічними даними

Проектування огорожувальних конструкцій будівель здійснюється з урахуванням вимог ДБН В.2.6-31:2016 "Теплова ізоляція будівель" [5] та кліматичних параметрів, встановлених у ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 "Будівельна кліматологія" [13]. Оскільки теплова ізоляція призначена для збереження тепла в холодний період року, визначальним фактором теплотехнічних розрахунків є параметри опалювального періоду, які аналізувалися в попередньому підрозділі за даними ДСТУ [13] та СНиП [17].

Необхідні для теплотехнічних розрахунків характеристики атмосферного повітря наведені в ДСТУ [13] лише для 57 населених пунктів України. Кліматичні характеристики для інших населених пунктів необхідно встановлювати за даними найближчих населених пунктів, або визначати безпосередньо за результатами метеорологічних спостережень.

Для обґрунтування методики визначення параметрів опалювального періоду за результатами метеорологічних спостережень використана вибіркова мережа з 27 метеостанцій України, до якої увійшли обласні центри та декілька

приморських метеостанцій. Перелік цих метеостанцій та їх розміщення на території України наведені в таблиці 2.1 та на рисунку 2.1, а необхідні для подальшого аналізу метеорологічні дані з ДСТУ [13] введені в базу даних Microsoft Excel та вказані в таблицях 2.2 і 2.3. Ці таблиці містять середньорічну температуру повітря, середні температури кожного з місяців року, а також тривалість та середню температуру опалювального періоду.

Подальші пояснення методики визначення кліматичних параметрів опалювального періоду проілюстровані прикладом розрахунку для метеостанції Кіровоград. Детальний наліз показав, що для інших метеостанцій виявлені залежності мають подібний характер.

За наявними даними для кожної метеостанції утворені послідовності середньомісячних значень температури за холодний період року (з вересня по квітень). Ці послідовності описані поліномами третього ступеню

$$\tau(t) = a_0 + a_1t + a_2t^2 + a_3t^3, \quad (2.3)$$

де $a_0 \dots a_3$ – коефіцієнти, визначені шляхом побудови лінії тренду в Excel;

$\tau(t)$ – середньодобова температура в момент часу t ;

t – час у днях до середини кожного місяця, починаючи з 1 вересня (для вересня $t=15$, для жовтня $t=45$ діб і так далі).

Для визначення коефіцієнтів поліному $a_0 \dots a_3$ в Excel будується діаграма типу "точечная", на ній наноситься лінія тренду, після чого коефіцієнти $a_0 \dots a_3$ з рівняння на діаграмі переносяться в таблицю робочого листа. Приклад функції математичного сподівання температури повітря в зимовий період для метеостанції Кіровоград наведено на рисунку 2.6.

Рис. 2.6 Зміни температури повітря протягом зими на метеостанції Полтава

З наведеного на рисунку 1 прикладу функції $\tau(t)$ для метеостанції Полтава видно, що поліном третього ступеня (2.2) цілком задовільно описує

послідовність середньомісячних температур повітря. При цьому коефіцієнти полінома (1) дорівнюють $a_0=18,0$; $a_1=-0,238$; $a_2=-1,36 \times 10^{-4}$; $a_3=4,54 \times 10^{-6}$. Така сама добра відповідність полінома (2.3) до фактичних функцій середньомісячних температур повітря спостерігається і для інших метеостанцій України. Отримані за результатами підбору ліній тренду коефіцієнти апроксимуючих функцій (2.3) для усіх 27 проаналізованих метеостанцій наведені в таблиці 2.7.

Наявність апроксимуючої функції (2.3) з конкретними значеннями коефіцієнтів $a_0 \dots a_3$ дозволяє визначити час початку $t_{\text{п}}$ та кінця $t_{\text{к}}$ опалювального періоду як корені рівнянь

$$\tau(t_{\text{п}}) = 8^{\circ}\text{C}; \quad \tau(t_{\text{к}}) = 8^{\circ}\text{C}, \quad (2.4)$$

які розв'язувалися в середовищі Excel шляхом підбору таким чином, щоб результат обчислення за формулою (2.3) був близький до $+8^{\circ}\text{C}$, що й відповідає початку та закінченню опалювального періоду.

Тоді тривалість опалювального періоду дорівнює

$$t_{\text{оп}} = t_{\text{к}} - t_{\text{п}}. \quad (2.5)$$

Кількість градусо-днів опалювального періоду визначається як інтеграл по функції температури атмосферного повітря в межах опалювального періоду

$$G_{\text{оп}} = \int_{t_{\text{п}}}^{t_{\text{к}}} [20 - \tau(t)] dt = 20t_{\text{оп}} - \int_{t_{\text{п}}}^{t_{\text{к}}} \tau(t) dt, \quad (2.6)$$

де врахована також температура повітря в житловому приміщенні, яка згідно з нормами [2] дорівнює $+20^{\circ}\text{C}$.

Підставивши функцію (2.3) до формули (2.6) і взявши визначений інтеграл у межах від $t_{\text{п}}$ до $t_{\text{к}}$, отримуємо вираз для аналітичного обчислення кількості градусо-днів опалювального періоду:

$$G_{\text{оп}} = 20 t_{\text{оп}} - \frac{a_3 t_{\text{к}}^4}{4} - \frac{a_2 t_{\text{к}}^3}{3} - \frac{a_1 t_{\text{к}}^2}{2} - a_0 t_{\text{к}} + \frac{a_3 t_{\text{п}}^4}{4} + \frac{a_2 t_{\text{п}}^3}{3} + \frac{a_1 t_{\text{п}}^2}{2} + a_0 t_{\text{п}}, \quad (2.7)$$

який конкретизується для кожної метеостанції шляхом підстановки відповідних значень коефіцієнтів $a_0 \dots a_3$.

Середню температуру опалювального періоду можна також визначити шляхом інтегрування, подібно до (2.7), але більш простим способом буде її обчислення за формулою, отриманою за визначенням поняття градусо-днів (2.2):

$$\tau_{\text{оп}} = 20 - G_{\text{оп}}/t_{\text{оп}}, \quad (2.8)$$

де $G_{\text{оп}}$ – кількість градусо-днів опалювального періоду за (2.7);

$t_{\text{оп}}$ – тривалість опалювального періоду за (2.5);

20°C – нормативна температура в житловому приміщенні, врахована при визначенні кількості градусо-днів за (2.7).

В якості прикладу розглянемо данні метеостанції Полтава. Функція середньодобових температур наведена на рисунку 2.6, описується поліномом (2.3) з коефіцієнтами, вказаними вище. Час початку й кінця опалювального періоду визначено шляхом підбору за рівняннями (2.3) з підстановкою апроксимуючої функції (2.4): при $t_{\text{п}} = 42$ доби $\tau(42) = 8,1^\circ\text{C}$; при $t_{\text{к}} = 222$ доба $\tau(222) = 8,0^\circ\text{C}$. Тривалість опалювального періоду складає $t_0 = 222 - 42 = 180$ днів, кількість градусо-днів опалювального періоду, обчислена за формулою (2.7), становить $G_{\text{оп}} = 3762$ гр-днів.

Близькість отриманих результатів до даних ДСТУ [39]: $t_{\text{оп}} = 175$ днів, $G = 3553$ гр-днів і $\tau_{\text{оп}} = -0,3^\circ\text{C}$ свідчить про можливість застосування розробленої методики на базі використання значного обсягу метеорологічних даних, узагальнених та наведених в таблиці 2.2 для сформованої нами вибіркової мережі метеостанцій України.

Результати обчислень за описаною методикою для усіх 27 проаналізованих метеостанцій наведені в таблиці 2.7. З таблиці видно, що тривалість опалювального періоду досить закономірно зростає з півдня на північ України: від 124 днів у Ялті до 186 днів у Сумах. Таким же чином зростає кількість градусо-

дiб опалювального перiоду вiд 1825 у Ялті до 4016 у Сумах. Середня температура опалювального перiоду понижується з пiвдня на пiвнiч України вiд +5,2°C в Ялті до -1,6°C в Сумах.

Вiдмiнностi мiж обчисленими параметрами опалювального перiоду та вiдповiдними даними ДСТУ [13] проаналiзованi в таблицi 2.8 i на рисунку 2.7, де наведенi гiстограми розподiлу, збудованi за даними таблицi 2.8.

Таблиця 2.7

Кліматичні параметри опалювального періоду за розрахунком

№	Місто (метеостанція)	Коефіцієнти полінома				Параметри опалювального періоду				
		a ₃	a ₂	a ₁	a ₀	t _п , дiб	t _к , дiб	t _{оп} , дiб	G _{оп} , гр-дiб	τ _{оп} , °C
1	Вінниця	4,20E-06	-1,63E-04	-2,13E-01	1,68E+01	41	224	183	3735	-0,4
2	Луцьк	3,88E-06	-1,22E-04	-2,06E-01	1,66E+01	42	224	182	3612	0,2
3	Луганск	4,94E-06	-2,62E-04	-2,28E-01	1,86E+01	49	219	170	3514	-0,7
4	Дніпропетровськ	4,26E-06	-4,06E-05	-2,49E-01	1,93E+01	47	220	173	3524	-0,4
5	Донецьк	4,52E-06	-1,24E-04	-2,41E-01	1,86E+01	45	221	176	3644	-0,7
6	Житомир	4,31E-06	-2,26E-04	-2,04E-01	1,63E+01	41	224	183	3747	-0,5
7	Ужгород	3,24E-06	1,58E-04	-2,35E-01	1,95E+01	53	214	161	2944	1,7
8	Запоріжжя	4,23E-06	-9,33E-05	-2,36E-01	1,98E+01	52	219	167	3260	0,5
9	Івано-Франківськ	3,35E-06	7,77E-05	-2,25E-01	1,71E+01	42	223	181	3571	0,3
10	Київ	4,33E-06	-1,67E-04	-2,18E-01	1,74E+01	44	222	178	3605	-0,3
11	Кіровоград	4,37E-06	-1,27E-04	-2,33E-01	1,83E+01	45	221	176	3597	-0,4
12	Сімферополь	3,50E-06	-1,10E-04	-1,94E-01	1,97E+01	62	217	155	2695	2,6
13	Феодосія	3,29E-06	-7,67E-05	-1,97E-01	2,14E+01	72	214	142	2342	3,5
14	Ялта	2,09E-06	1,40E-04	-1,87E-01	2,17E+01	86	210	124	1825	5,3
15	Львів	3,66E-06	-7,77E-05	-2,04E-01	1,64E+01	42	224	182	3579	0,3
16	Миколаїв	3,65E-06	7,18E-05	-2,46E-01	2,07E+01	54	217	163	3079	1,1
17	Одеса	3,69E-06	-1,16E-04	-2,09E-01	2,03E+01	61	220	159	2873	1,9
18	Полтава	4,54E-06	-1,36E-04	-2,38E-01	1,80E+01	42	222	180	3762	-0,9
19	Рівне	4,10E-06	-1,79E-04	-2,04E-01	1,64E+01	42	224	182	3667	-0,1
20	Суми	5,00E-06	-3,18E-04	-2,18E-01	1,65E+01	38	224	186	4016	-1,6
21	Тернопіль	4,05E-06	-1,56E-04	-2,07E-01	1,62E+01	40	225	185	3770	-0,4
22	Харків	4,78E-06	-2,03E-04	-2,35E-01	1,78E+01	41	222	181	3826	-1,1
23	Херсон	3,73E-06	9,08E-06	-2,35E-01	2,01E+01	55	218	163	3071	1,2
24	Хмельницький	4,03E-06	-1,33E-04	-2,11E-01	1,66E+01	40	224	184	3729	-0,3
25	Черкаси	4,47E-06	-1,89E-04	-2,22E-01	1,77E+01	44	222	178	3643	-0,5
26	Чернігів	4,60E-06	-2,56E-04	-2,11E-01	1,63E+01	39	224	185	3889	-1,0
27	Чернівці	3,63E-06	2,83E-05	-2,28E-01	1,79E+01	45	221	176	3456	0,4

Таблиця 2.8

Порівняння кліматичних параметрів опалювального періоду з даними ДСТУ

№	Місто	За ДСТУ			За розрахунком			Відхилення		
		$t_{оп}$, діб	$\tau_{оп}$, °C	$G_{оп}$, гр- діб	$t_{оп}$, діб	$\tau_{оп}$, °C	$G_{оп}$, гр- діб	$t_{оп}$, діб	$\tau_{оп}$, °C	$G_{оп}$, гр- діб
1	Вінниця	182	-0,2	3676	183	-0,4	3735	1	-0,2	58
2	Луцьк	180	0,3	3546	182	0,2	3612	2	-0,1	66
3	Луганськ	172	-0,4	3509	170	-0,7	3514	-2	-0,3	5
4	Дніпро	172	-0,2	3474	173	-0,4	3524	1	-0,2	50
5	Донецьк	176	-0,5	3608	176	-0,7	3644	0	-0,2	36
6	Житомир	184	-0,2	3717	183	-0,5	3747	-1	-0,3	30
7	Ужгород	154	1,4	2864	161	1,7	2944	7	0,3	80
8	Запоріжжя	166	0,6	3220	167	0,5	3260	1	-0,1	39
9	Івано- Франківськ	179	0,4	3508	181	0,3	3571	2	-0,1	63
10	Київ	176	-0,1	3538	178	-0,3	3605	2	-0,2	67
11	Кіровоград	175	-0,3	3553	176	-0,4	3597	1	-0,1	45
12	Сімферополь	154	2,6	2680	155	2,6	2695	1	0,0	16
13	Феодосія	142	3,6	2329	142	3,5	2342	0	-0,1	13
14	Ялта	126	5,3	1852	124	5,3	1825	-2	0,0	-27
15	Львів	179	0,4	3508	182	0,3	3579	3	-0,1	71
16	Миколаїв	161	1,1	3043	163	1,1	3079	2	0,0	36
17	Одеса	158	2,0	2844	159	1,9	2873	1	-0,1	29
18	Полтава	178	-0,8	3702	180	-0,9	3762	2	-0,1	59
19	Рівне	182	0,1	3622	182	-0,1	3667	0	-0,2	45
20	Суми	187	-1,4	4002	186	-1,6	4016	-1	-0,2	14
21	Тернопіль	184	-0,2	3717	185	-0,4	3770	1	-0,2	53
22	Харків	179	-1,0	3759	181	-1,1	3826	2	-0,1	67
23	Херсон	163	1,3	3048	163	1,2	3071	0	-0,1	23
24	Хмельницький	183	-0,1	3678	184	-0,3	3729	1	-0,2	50
25	Черкаси	178	-0,3	3613	178	-0,5	3643	0	-0,2	30
26	Чернігів	187	-0,9	3908	185	-1,0	3889	-2	-0,1	-19
27	Чернівці	175	0,5	3413	176	0,4	3456	1	-0,1	44
Мінімальні								-2	-0,3	-26,7
Максимальні								7	0,3	79,6
Середні								0,85	-0,12	38,7

З таблиці видно, що середні температури опалювального періоду, обчислені за формулою (2.8), відрізняються від даних ДСТУ не більше, ніж на $0,3^{\circ}\text{C}$ в більшу чи в меншу сторону. Такі незначні відхилення не викликають потреби в побудові й аналізі гістограми їх розподілу.

Рис. 2.7 Гістограми розподілу відхилень кліматичних параметрів опалювального періоду, визначених за розрахунком і за ДСТУ

З таблиці 2.8 та рисунка 2.7 видно, що тривалість опалювального періоду, обчислена за метеоданими та формулою (2.5), у більшості випадків перевищує значення, наведені в ДСТУ [13], до 3 діб. Для 5-ти метеостанцій формула (2.5) дає занижені значення на 1 чи 2 доби, а в 5-ти випадках спостерігається співпадіння в межах однієї доби. Винятком є метеостанція Ужгород, для якої розрахункова тривалість опалювального періоду за (2.5) отримана на 7 діб більшою, ніж вказано в ДСТУ.

Кількості градусо-діб опалювального періоду, обчислені за формулою (2.6), у середньому отримані на 38,7 доби більшими, ніж встановлено в ДСТУ [13]. З наведеної на рисунку 2.7 гістограми розподілу видно, що лише у двох випадках за формулою (2.6) отримані значення, менші за дані ДСТУ. Для 25 з 27 розглянутих метеостанцій формула (2.6) дає більші значення, при чому перевищення даних ДСТУ може сягати 80 градусо-діб. Однак у відносному вираженні наявні перевищення не виходять за межі 2,8%, а тому відмінності розрахункових значень від даних ДСТУ можна вважати цілком допустимими.

Проведений аналіз показав, що розроблена методика дозволяє досить точно визначати основні кліматичні характеристики опалювального періоду (тривалість, середню температуру та кількість градусо-діб) за послідовностями середньомісячних температур атмосферного повітря для кожного населеного

пункту, проводилися систематичні спостереження за температурою атмосферного повітря. Такий підхід дозволяє проектувати теплоізоляційні оболонки будівель з урахуванням реального температурного режиму місця будівництва. Необхідні метеорологічні дані можна отримати в системі Державної гідрометеорологічної служби, в ряді спеціалізованих метеорологічних видань [36,37], а також в роботах [38], де узагальнена метеорологічна інформація про температуру атмосферного повітря майже для 500 пунктів спостереження України.

2.6 Висновки з розділу

1. За даними норм з будівельної кліматології ДСТУ-Н Б В.1.1–27:2010 та СНиП 2.01.01-82 сформована електронна база метеорологічних даних з температури атмосферного повітря для мережі з 27 метеостанцій, яка досить щільно й рівномірно охоплює територію України.

2. Середні та розрахункові значення температури атмосферного повітря, встановлені в ДСТУ-Н Б В.1.1–27:2010 та в попередніх СНиП 2.01.01-82 є досить близькими. Незначне підвищення температур у січні та зниження в липні узгоджується з відомою тенденцією глобального потепління та вказує на певне пом'якшення клімату протягом останніх десятиліть.

3. ДСТУ-Н Б В.1.1–27:2010 передбачають дещо менші тривалості опалювального періоду, аніж були встановлені в СНиП 2.01.01-82, та менші кількості градусо-днів, за якими визначаються необхідні теплотехнічні характеристики огорожувальних конструкцій будівель, що також узгоджується з тенденцією до глобального потепління клімату.

4. Розроблена методика, яка дозволяє досить точно визначати основні кліматичні характеристики опалювального періоду (тривалість, середню

температуру та кількість градусо-днів) за послідовностями середньомісячних температур атмосферного повітря на конкретній метеостанції. Відмінності отриманих результатів від даних ДСТУ-Н Б В.1.1–27:2010 не перевищує 3%.

5. Розроблена методика дозволяє визначати кліматичні параметри опалювального періоду, необхідні для проектування теплоізоляційної оболонки будівель, для кожної з понад 400 метеостанцій та метеопостів України, на яких велися систематичні спостереження за температурою атмосферного повітря.

Розділ 3

ТЕПЛОВІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТІН ЦИВІЛЬНИХ БУДІВЕЛЬ

3.1 Завдання й методика досліджень

Конструктивні рішення й теплотехнічні розрахунки огорожувальних конструкцій повинні відповідати ДБН В.2.6-31:2016 «Теплова ізоляція будівель» [5]. Ці норми поширюються на будинки та споруди, що обігріваються, при новому будівництві та при реконструкції й капітальному ремонті, включаючи термомодернізацію. Норми встановлюють вимоги до теплотехнічних характеристик огорожувальних конструкцій будівель, порядок проведення розрахунків при проектуванні теплоізоляції будинків та споруд та вимоги до теплотехнічних характеристик будинків і споруд в цілому.

Загальні принципи проектування теплоізоляційної оболонки будинків полягають у наступному:

- Норми [5] встановлюють мінімально допустимий рівень теплоізоляції будинків при їх проектуванні. За узгодженням з замовником (споживачем, інвестором) рівень теплоізоляції будинку, що проектується, може перевищувати нормативні показники.
- При проектуванні нових будинків та реконструкції існуючих, шари з теплоізоляційних матеріалів слід розташовувати з зовнішньої сторони огорожувальної конструкції використовуючи при цьому конструкції фасадної теплоізоляції згідно з ДБН В.2.6-33 [4] та ДСТУ Б В.2.6-34 [6].
- При проектуванні будинків слід передбачати захист внутрішньої й зовнішньої поверхонь стін від впливу вологи та атмосферних опадів шляхом облицювання, штукатурки чи фарбування.
- Розрахункові теплофізичні характеристики будівельних матеріалів приймаються відповідно до положень ДБН [5].

Завданням даного розділу є порівняльний аналіз конструкції стін житлових і громадських будівель, запроектованих за нормами проектування

різних років. Для можливості порівняння використовуються викладені загальні принципи та сучасні конструктивні рішення стін у двох варіантах:

1. Суцільна стіна з ніздрюватого бетону, захищена й оздоблена внутрішньою та зовнішньою штукатуркою.
2. Стіна з порожнистої керамічної цегли з "мокрим" фасадним утепленням, виконаним з пінополістирольних плит, захищена й оздоблена внутрішньою та зовнішньою штукатуркою.

Конструкції стін обох типів з технічними характеристиками усіх шарів описані в таблиці 3.1 і зображені на рисунку 3.1.

Таблиця 3.1

Конструкції стін житлових і громадських будівель

Конструктивні шари стіни	Товщина δ	Середня густина ρ , кг/м ³	Коефіцієнт теплопровідності λ , Вт/(м×К)
1. Стіна з ніздрюватого бетону			
Зовнішня фасадна штукатурка на цементній основі	1 см	1600	0,70
Конструкційно-теплоізоляційний ніздрюватий бетон марки 600 за середньою густиною	за розрахунком	600	0,16
Внутрішня штукатурка з вапняно-піщаного розчину	2 см	1800	0,76
2. Стіна з керамічної цегли з фасадним утепленням			
Зовнішня фасадна штукатурка на цементній основі	1 см	1600	0,79
Плита з пінополістиролу марки 25 за середньою густиною	за розрахунком	25	0,043
Кладка з повнотілої керамічної цегли на цементно-піщаному розчині	25 см	1800	0,70
Внутрішня штукатурка з вапняно-піщаного розчину	2 см	1800	0,76

Вказані в таблиці 3.1 значення товщин шарів відповідають зазвичай уживаним конструкціям стін, а розрахункові значення коефіцієнтів теплопровідності матеріалів визначені за ДБН В.2.6-31:2006 [3] для нормальних умов експлуатації – "А".

а) стіна з ніздрюватого бетону

б) стіна з керамічної цегли

Рис. 3.1 Конструкції стін житлових будинків

У розрахунках враховуються технічні характеристики стінових матеріалів, наведені в таблиці 3.1, та кліматичні параметри для 27 міст України, які аналізувалися в розділі 2. Такий підхід дозволяє охопити всю територію України та врахувати кліматичні особливості різних географічних зон. Порівняльні розрахунки стін житлових і громадських будівель виконуються в такому порядку:

- 1) визначається мінімально необхідний опір теплопередачі для кліматичних умов кожного з 27 міст України за вимогами СНиП II-3-79**;
- 2) визначається мінімально необхідний опір теплопередачі для кліматичних умов кожного з 27 міст України за вимогами ДБН В.2.6-31:2006;
- 3) визначається мінімально необхідний опір теплопередачі для кліматичних умов кожного з 27 міст України за вимогами змін до ДБН В.2.6-31:2006 від 01.07.2013 року;
- 4) відповідно до кожного з трьох значень опору теплопередачі обчислюється необхідна товщина основного утеплювального шару (ніздрюватий бетон для стіни за варіантом 1 та пінопласт для стіни за варіантом 2) для кліматичних умов кожного з 27 міст України;
- 5) будуються й аналізуються графіки змін опору теплопередачі та товщини утеплювального шару залежно від норм, за якими запроектовані стіни.

Таким чином, для кожного з 27 міст України проектується стіни двох конструктивних рішень згідно з вимогами трьох нормативних документів, що дає 162 варіанти теплотехнічного розрахунку. Аналіз результатів дозволить виявити відмінності у вимогах трьох нормативних документів, які діяли в різні

періоди, а також вплив вимог цих норм та географічного району будівництва на конструкції стін житлових і громадських будівель.

3.2 Опір теплопередачі та конструкція стін, запроектованих за СНиП

Згідно з вимогами СНиП II-3-79** [14], необхідний опір теплопередачі огорожувальних конструкцій обчислювався за формулою

$$R_o^{TP} = \frac{n(t_B - t_H)}{\Delta t^H \alpha_B}, \quad (3.1)$$

де n – коефіцієнт, що враховує положення зовнішньої поверхні

огорожувальної конструкції відносно повітря (для зовнішніх стін $n=1$);

t_B – розрахункова температура внутрішнього повітря, рівна $+20^\circ\text{C}$ для житлових приміщень;

t_H – розрахункова зимова температура зовнішнього повітря, яка встановлюється для заданого географічного району з урахуванням масивності огорожувальної конструкції;

Δt^H – нормативний температурний перепад між температурою внутрішнього повітря і температурою внутрішньої поверхні огороження (для стін житлових та більшості цивільних будівель $\Delta t^H=6^\circ\text{C}$);

α_B – коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції, який для стін дорівнює $8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \times \text{К})$.

Для визначення розрахункової температури зовнішнього повітря t_H необхідно обчислити показник масивності стіни за формулою

$$D = R_1 s_1 + R_2 s_2 + \dots + R_n s_n, \quad (3.2)$$

де R та s – термічні опори та коефіцієнти теплосвоєння усіх шарів стіни.

Розрахунки за формулою (3.2) виконані в таблиці 3.2 без урахування теплоізоляційного шару в цегляній сні та при мінімальній з конструктивної точки зору товщині ніздрюватого бетону 20 см. Розрахункові значення коефіцієнтів теплопровідності та теплосвоєння прийняті за додатком Л ДБН [2] для нормальних умов експлуатації.

Таблиця 3.2

Теплові характеристики стін житлових і громадських будівель

Конструктивні шари стіни	δ , м	λ , Вт/(м×К)	R , (м ² ×К)/Вт	s	D
Стіна з ніздрюватого бетону					
Зовнішня фасадна штукатурка на цементній основі	0,01	0,79	0,013	8,69	0,110
Ніздрюватий бетон марки 600	0,2	0,16	1,250	2,65	3,313
Внутрішня штукатурка з вапняно-піщаного розчину	0,02	0,76	0,026	9,60	0,253
Усього:			1,289		3,675
Стіна з керамічної цегли					
Зовнішня фасадна штукатурка на цементній основі	0,01	0,79	0,013	8,69	0,110
Кладка з порожнистої керамічної цегли на цементно-піщаному розчині	0,25	0,7	0,357	9,2	3,286
Внутрішня штукатурка з вапняно-піщаного розчину	0,02	0,76	0,026	9,6	0,253
Усього:			0,396		3,648

Згідно з таблицею 3.2, для стін обох типів показники масивності знаходяться в межах $1,5 < D < 4,0$. У цьому випадку необхідне значення опору теплопередачі за формулою (3.1) обчислюється з урахуванням температури найхолоднішої доби при забезпеченості 0,92. Ці температури для 27 розглянутих міст України визначені за ДСТУ [13]. При наявності теплоізоляції в цегляній стіні чи при збільшенні товщини ніздрюватого бетону показники масивності стін будуть зростати. У таких випадках розрахунковим значенням температури стає середня температура трьох найхолодніших днів, або температура найхолоднішої п'ятиденки. Ці значення є дещо меншими за абсолютною величиною, тому урахування температури найхолоднішої доби створює певний запас по величині термічного опору стіни.

Розрахунки за формулою (3.1) для усіх 27-ми метеостанцій України виконані в середовищі Excel, а їх результати наведені в таблиці 3.3, у якій вказані такі дані:

- порядковий номер метеостанції;
- назва метеостанції (місто України);
- розрахункова температура зовнішнього повітря
- необхідний опір теплопередачі за (3.1);
- необхідна товщина ніздрюватого бетону в стіні типу 1;
- необхідна товщина пінополістиролу в стіні типу 2.

Необхідна товщина шару утеплювача (ніздрюватий бетон в стіні типу 1 чи пінополістирол в стіні типу 2) обчислювалася за формулою

$$\delta_y = 1000 \times \left(R_o^{tp} - \frac{1}{\alpha_b} - \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} - \frac{1}{\alpha_3} \right) \times \lambda_y, \quad (3.3)$$

де $\sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_{ip}}$ – сума термічних опорів усіх шарів огорожувальної конструкції,

за винятком теплоізоляційного шару;

R_o^{tp} – необхідний опір теплопередачі стіни, $(m^2 \times K)/Wt$;

λ_y – коефіцієнт теплопровідності утеплюючого шару, $Wt/(m \cdot K)$;

$\alpha_b = 8,7 Wt/(m^2 \times K)$ та $\alpha_3 = 23 Wt/(m^2 \times K)$ – коефіцієнти тепловіддачі внутрішньої і зовнішньої поверхонь стіни за СНиП [14].

Формула (3.3) забезпечує переведення результату в міліметри, як це й вказано в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3

Розрахунки стін за СНиП II-3-79**

№	Місто України	$t_n, ^\circ\text{C}$	$R_o^{тр},$ ($\text{m}^2 \times \text{K}$)/Вт	Товщина, мм	
				бетону	пінопласту
1	Вінниця	-26	0,88	109	14
2	Луцьк	-24	0,84	103	12
3	Луганск	-29	0,94	119	16
4	Дніпропетровськ	-26	0,88	109	14
5	Донецьк	-27	0,90	113	15
6	Житомир	-25	0,86	106	13
7	Ужгород	-22	0,80	97	11
8	Запоріжжя	-25	0,86	106	13
9	Івано-Франківськ	-24	0,84	103	12
10	Київ	-26	0,88	109	14
11	Кіровоград	-26	0,88	109	14
12	Сімферополь	-20	0,77	91	9
13	Феодосія	-19	0,75	88	8
14	Ялта	-8	0,54	54	-1
15	Львів	-23	0,82	100	12
16	Миколаїв	-23	0,82	100	12
17	Одеса	-21	0,79	94	10
18	Полтава	-27	0,90	113	15
19	Рівне	-25	0,86	106	13
20	Суми	-28	0,92	116	16
21	Тернопіль	-24	0,84	103	12
22	Харків	-28	0,92	116	16
23	Херсон	-23	0,82	100	12
24	Хмельницький	-25	0,86	106	13
25	Черкаси	-26	0,88	109	14
26	Чернігів	-27	0,90	113	15
27	Чернівці	-24	0,84	103	12
	Мінімум	-29	0,536	54,3	0
	Максимум	-8	0,939	118,7	16,5
	Середнє	-24,1	0,845	103,7	12,5

З метою полегшення візуального аналізу отриманих результатів збудовані гістограми розподілу чотирьох показників, наведених в таблиці 3.3. Як і в попередньому розділі, підрахунок кількостей даних, які належать до кожного інтервалу, виконано в середовищі Excel за допомогою вбудованої функції

ЧАСТОТА(*список, C_j*), яка обчислює кількість даних в області „список”, менших за межу *j*-того інтервалу *C_j*.

Отримані гістограми розподілу наведені на рисунку 3.2. Над кожним стовпчиком гістограм вказані кількості метеостанцій, дані яких належать до відповідного інтервалу.

З таблиці 3.3 та рисунка 3.2 видно, що розрахункові температури повітря на континентальній території України змінюються від -29°C до -21°C , цілком закономірно зростаючи з північного сходу на південь. Дещо вищі температури – 20°C та -19°C спостерігаються на кримських метеостанціях Сімферополь та Феодосія. Принципово відрізняється метеостанція Ялта, розрахункова температура для якої дорівнює -8°C . Такий теплий клімат пояснюється її розташуванням на Південному березі Криму, який захищається Кримськими горами від проникнення холодного повітря з півночі.

Рис. 3.2 Гістограми розподілу теплових характеристик стін

Необхідний опір теплопередачі, обчислений за методикою СНиП [14] та проаналізованими значеннями розрахункової температури повітря, змінюється в межах від $0,75 \text{ (м}^2 \times \text{К)}/\text{Вт}$ до $0,94 \text{ (м}^2 \times \text{К)}/\text{Вт}$ пропорційно змінам розрахункової температури повітря. Виняток знову складає метеостанція Ялта для якої необхідний опір теплопередачі є набагато меншим і дорівнює $0,54 \text{ (м}^2 \times \text{К)}/\text{Вт}$.

Наведені на рисунку 3.2 гістограми розподілу товщин утеплювальних шарів стін (ніздрюватий бетон чи пінополістирол) подібні до гістограми розподілу необхідного опору теплопередачі, що є цілком природним явищем. Як і раніше, сильно виділяється метеостанція Ялта, для якої товщина ніздрюватого

бетону отримана рівною 54 мм, а товщина пінополістиролу дорівнює –1 мм. Це свідчить, що для досягнення необхідного опору теплопередачі достатньо цегляної стіни товщиною 25 см без додаткового утеплення. Для усіх інших міст необхідна товщина шару пінополістиролу не перевищує 17 мм. Отже при проектуванні стін за вимогами СНиП II-3-79** у використанні ефективних теплоізоляційних матеріалів взагалі не було потреби.

Необхідна товщина ніздрюватого бетону змінюється від 9 см в Криму до 12 см в Луганську і в середньому по Україні дорівнює 104 мм. Такі товщини стіни явно недостатні з точки зору несучої здатності та нераціональні конструктивно, оскільки блоки з ніздрюватого бетону зазвичай випускаються товщиною 20 см. У такому випадку можна було використовувати піно- чи газобетон більш високої марки за середньою густиною (800 або 1000). Він має більшу теплопровідність, що вимагатиме більшої товщини стіни. Разом з середньою густиною зростає також міцність ніздрюватого бетону, що дозволило б споруджувати малоповерхові будівлі з несучими стінами з ніздрюватого бетону.

3.3 Опір теплопередачі та конструкція стін, запроектованих за ДБН

Процедура проектування огорожувальних конструкцій за вимогами ДБН В.2.6-31:2006 [2] та змінами до них від 01.07.2013 року [3] спрощена порівняно зі СНиП II-3-79**. Як було показано в першому розділі, необхідний опір теплопередачі визначається за таблицею ДБН чи змін до них залежно від виду огорожувальної конструкції та температурної зони України. Різниця між ДБН В.2.6-31:2006 та змінами до них від 2013 року полягає в переході від чотирьох до двох температурних зон та деякому збільшенні мінімально необхідного опору теплопередачі.

Узагальнені результати вибору конструкцій двох описаних вище типів стін житлових будівель для кліматичних умов 27-ми обраних метеостанцій України наведені в таблиці 3.4, де вказані:

- номер температурної зони за [2] [3];
- мінімально необхідний опір теплопередачі стін;
- необхідна товщина утеплювального шару (ніздрюватого бетону для варіанту 1 та пінополістиролу для варіанту 2), обчислена за (3.3);
- кількості метеостанцій, які потрапили до відповідного температурного району з вказаними в таблиці значеннями опору теплопередачі та товщини утеплювальних шарів.

З таблиці видно, що необхідний опір теплопередачі та товщина утеплювальних шарів стін є набагато більшими, ніж при проектуванні за СНиП II-3-79**. Зміни до ДСТУ, введені у 2013 році, також призвели до помітного зростання опору теплопередачі й товщини утеплювальних шарів стін обох типів порівняно з ДСТУ 2006 року. Середні з 27 метеостанцій значення необхідного опору теплопередачі стін житлових будівель виросли з 2,56 ($\text{m}^2 \times \text{K}$)/Вт до 3,17 ($\text{m}^2 \times \text{K}$)/Вт, тобто на 24%. Середня по Україні товщина ніздрюватого бетону збільшилися на 25%, а пінополістиролу – на 30%.

Таблиця 3.4

Розрахунки стін за ДБН В.2.6-31:2006 та зміною до них від 2013 року

Температурна зона за ДБН	Необхідний опір теплопередачі R, ($\text{m}^2 \times \text{K}$)/Вт	Товщина стіни з ніздрюватого бетону, мм	Товщина утеплювача з пінополістиролу, мм	Кількість метеостанцій
Розрахунок за ДБН В.2.6-31:2006 [2]				
1	2,8	416	97	14
2	2,5	368	84	6
3	2,2	320	71	5
4	2,0	288	62	2

Середні	2,56	379	86	
Розрахунок за зміною № 1 до ДБН В.2.6-31:2006 від 01.07.2013 року [3]				
1	3,3	496	118	20
2	2,8	416	97	7
Середні	3,17	476	112	

Стіни з ніздрюватого бетону, запроектовані за останньою версією норм [3], повинні мати товщину від 420 до 500 мм, що є цілком реальними розмірами з конструктивної точки зору. Товщина утеплювального шару з пінополістирольних плит змінюється від 100 до 120 мм, що також відповідає технологічним можливостям будівництва.

Звичайно, визначення середніх по усій території держави товщин утеплювальних шарів стін не має сенсу, але їх порівняння дозволяє виявити й оцінити наявну тенденцію до зростання опору теплопередачі, рівня теплової надійності стін та комфортності житлових будівель.

3.4 Зміни теплових характеристик стін, запроектованих за нормами проектування різних років

У попередніх підрозділах для кліматичних умов 27 міст України визначені необхідні опори теплопередачі та товщина утеплювальних шарів стін житлових будівель двох типів, зображених на рисунку 3.1 і описаних в таблиці 3.1:

1 – стіна з ніздрюватого бетону; 2 – стіна з керамічної цегли та пінополістирольним утепленням. Теплові характеристики стін визначалися згідно з вимогами трьох нормативних документів:

- СНиП II-3-79** "Строительная теплотехника" [14], за якими велось проектування огорожувальних конструкцій до 2006 року;
- ДБН В.2.6-31:2006 "Теплова ізоляція будівель" [2], введеними в Україні з 2006 року;
- зміни № 1, до ДБН В.2.6-31:2006, введеної з липня 2013 року.

Нижче виконано порівняльний аналіз теплових характеристик стін, що проектувалися згідно з вимогами вказаних нормативних документів для різних географічних районів України. Результати вибору опору теплопередачі та розрахунків товщини утеплювальних шарів для стін двох типів наведені в таблиці 3.5.

За даними таблиці 3.5 на рисунках 3.3 і 3.4 збудовані графіки, які відображають зміни теплових характеристик стін, запроектованих за нормативними документами різних років. На кожному графіку наведені три значення опору теплопередачі чи товщини утеплювача: найменше, найбільше та середнє з 27 проаналізованих метеостанцій. Вони відображають загальний характер змін теплових характеристик стін житлових і громадських будівель в межах усїєї території України.

Таблиця 3.5

Результати проектування стін за нормами різних років

№	Місто	СНиП II-3-79**			ДБН В.2.6-31:2006			Зміни ДБН В.2.6-31		
		R	δ бет	δ піп	R	δ бет	δ піп	R	δ бет	δ піп
1	Вінниця	0,88	109	14	2,8	416	97	3,3	496	118
2	Луцьк	0,84	103	12	2,5	368	84	3,3	496	118
3	Луганск	0,94	119	16	2,8	416	97	3,3	496	118
4	Дніпропетровськ	0,88	109	14	2,5	368	84	3,3	496	118
5	Донецьк	0,90	113	15	2,8	416	97	3,3	496	118
6	Житомир	0,86	106	13	2,8	416	97	3,3	496	118

7	Ужгород	0,80	97	11	2,2	320	71	3,3	496	118
8	Запоріжжя	0,86	106	13	2,5	368	84	2,8	416	97
9	Івано-Франківськ	0,84	103	12	2,5	368	84	3,3	496	118
10	Київ	0,88	109	14	2,8	416	97	3,3	496	118
11	Кіровоград	0,88	109	14	2,8	416	97	3,3	496	118
12	Сімферополь	0,77	91	9	2,2	320	71	2,8	416	97
13	Феодосія	0,75	88	8	2	288	62	2,8	416	97
14	Ялта	0,54	54	0	2	288	62	2,8	416	97
15	Львів	0,82	100	12	2,5	368	84	3,3	496	118
16	Миколаїв	0,82	100	12	2,2	320	71	2,8	416	97
17	Одеса	0,79	94	10	2,2	320	71	2,8	416	97
18	Полтава	0,90	113	15	2,8	416	97	3,3	496	118
19	Рівне	0,86	106	13	2,8	416	97	3,3	496	118
20	Суми	0,92	116	16	2,8	416	97	3,3	496	118
21	Тернопіль	0,84	103	12	2,8	416	97	3,3	496	118
22	Харків	0,92	116	16	2,8	416	97	3,3	496	118
23	Херсон	0,82	100	12	2,2	320	71	2,8	416	97
24	Хмельницький	0,86	106	13	2,8	416	97	3,3	496	118
25	Черкаси	0,88	109	14	2,8	416	97	3,3	496	118
26	Чернігів	0,90	113	15	2,8	416	97	3,3	496	118
27	Чернівці	0,84	103	12	2,5	368	84	3,3	496	118
	Мінімум	0,54	54	0	2,0	288	62	2,8	416	97
	Максимум	0,94	119	16	2,8	416	97	3,3	496	118
	Середнє M	0,845	104	12,5	2,56	379	86	3,17	476	112
	Стандарт S=	0,077	12,3	3,19	0,28	45,5	12,2	0,22	35,7	9,6

З рисунка 3.3 видно, що у 2006 році при переході від СНиП II-3-79** до ДБН В.2.6-31:2006 необхідний опір теплопередачі збільшився у три рази. Окрім того, приблизно удвічі виросла територіальна мінливість опору теплопередачі внаслідок точнішого урахування температурного режиму різних регіонів України. Зміни до ДБН В.2.6-31:2006, введені з липня 2013 року, додатково збільшили необхідний опір теплопередачі на 18 – 40%, але при цьому зменшився територіальний розкид опору теплопередачі внаслідок заміни чотирьох температурних зон двома. Нова редакція ДБН В.2.6 – 31:2016 [5] дає ті ж результати, що й документ від 2013 року.

Рис. 3.3 Зміни необхідного опору теплопередачі стін, запроектованих за нормами різних років

Зміни товщини утеплювальних шарів стін, відображені на рисунку 3.4, в основному пропорціональні змінам необхідного опору теплопередачі. При переході від СНиП II-3-79** до ДБН В.2.6-31:2006 необхідна товщина ніздрюватого бетону зростає від конструктивно неможливих значень 54–119 мм до цілком прийнятних величин 288–416 мм. Введення змін до ДБН В.2.6-31 у 2013 році призводить до додаткового зростання товщини ніздрюватого бетону на 19–44%, але не виводить її за межі конструктивно оправданих значень (від 420 до 500 мм).

Товщина утеплювального шару з пінополістирольних плит у цегляних стінах, запроектованих за ДБН В.2.6-31:2006, повинна бути в межах від 60 мм до 100 мм, що значно більше, ніж при розрахунках за СНиП II-3-79** (від нуля до 16 мм). Зміни до ДБН В.2.6-31 від 2013 року та ДБН В.2.6 – 31:2016 вимагають збільшити товщину пінополістиролу ще на 22–55%, довівши її до 100–120 мм.

Рис. 3.4 Зміни товщини утеплювальних шарів стін, запроектованих за нормами різних років

Загалом істотне підвищення необхідного опору теплопередачі в кожних наступних нормах проектування сприяє зростанню теплової надійності огорожувальних конструкцій, підвищенню комфортності будинків та зменшенню витрат енергії на їх опалення. Разом з тим, викликає сумніви незначна територіальна мінливість опору теплопередачі стін та товщини утеплювальних шарів. При проектуванні за змінами до ДБН В.2.6-31 від 2013 року та чинними в даний час ДБН В.2.6 – 31:2016 необхідний опір теплопередачі стін житлових будівель в межах усієї території України змінюється на 18%, товщина стіни з ніздрюватого бетону – на 19%, а товщина пінополістирольного

утеплювача в цегляній стіні – на 22%. Територіальна мінливість розрахункових значень температури повітря та кліматичних параметрів опалювального періоду, які аналізувалися в розділі 2, є набагато більшою. Непропорційність територіальної мінливості кліматичних параметрів та теплових характеристик стін, які визначаються за цими параметрами, наводить на думку про недостатнє урахування кліматичних характеристик різних регіонів України чинними нормами проектування теплової ізоляції будівель.

Перевірка відповідності кліматичних умов та опору теплопередачі виконана шляхом аналізу одного з критеріїв теплових відмов, встановлених ДБН [2], а саме величини температурного перепаду між стіною та повітрям в приміщенні, що забезпечує комфортність перебування поблизу стін:

$$\Delta_B = t_B - \tau_{BC} \leq \Delta_{CR}, \quad (3.3)$$

де t_B – розрахункова температура внутрішнього повітря, рівна $+20^\circ\text{C}$ для житлових приміщень;

τ_{BC} – температура внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції;

Δ_{CR} – допустима за санітарно-гігієнічними вимогами норм [2] величина температурного перепаду між температурою внутрішнього повітря і приведеною температурою внутрішньої поверхні стіни, яка для житлових приміщень встановлена рівною 4°C .

Виходячи з залежностей для визначення температури огорожувальних конструкцій, різницю між температурами повітря в приміщенні та внутрішньої поверхні стіни можна обчислити за формулою

$$\Delta_B = \frac{t_B - t_3}{R_O \alpha_B}, \quad (3.4)$$

де t_B – розрахункова температура внутрішнього повітря, рівна $+20^\circ\text{C}$ для житлових приміщень;

t_3 – розрахункова температура атмосферного повітря за ДСТУ [13];

α_B – коефіцієнт внутрішньої тепловіддачі;

R_O – опір теплопередачі стіни.

Розрахунки за формулою (3.4) виконані з урахуванням розрахункових значень температури найхолоднішої доби для забезпеченості 0,92, наведених в таблиці 3.3, коефіцієнта внутрішньої тепловіддачі $\alpha_{в}=8,7$ Вт/(м²×К) та опорів теплопередачі стін, рівних мінімально необхідним значенням за [14,2,3], які вказані в таблиці 3.5 для усіх розглянутих метеостанцій. Результати обчислень наведені в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6

Перепади температури між повітрям у приміщенні та внутрішніми поверхнями стін, запроєктованих за нормами різних років

№	Місто (метеостанція)	t _з , °С	СНІП П-3-79**		ДБН В.2.6-31:2006		Зміни ДБН В.2.6-31	
			R _о	Δ _в	R _о	Δ _в	R _о	Δ _в
1	Вінниця	-26	0,88	6,00	2,8	1,89	3,3	1,60
2	Луцьк	-24	0,84	6,00	2,5	2,02	3,3	1,53
3	Луганск	-29	0,94	6,00	2,8	2,01	3,3	1,71
4	Дніпропетровськ	-26	0,88	6,00	2,5	2,11	3,3	1,60
5	Донецьк	-27	0,90	6,00	2,8	1,93	3,3	1,64
6	Житомир	-25	0,86	6,00	2,8	1,85	3,3	1,57
7	Ужгород	-22	0,80	6,00	2,2	2,19	3,3	1,46
8	Запоріжжя	-25	0,86	6,00	2,5	2,07	2,8	1,85
9	Івано-Франківськ	-24	0,84	6,00	2,5	2,02	3,3	1,53
10	Київ	-26	0,88	6,00	2,8	1,89	3,3	1,60
11	Кіровоград	-26	0,88	6,00	2,8	1,89	3,3	1,60
12	Сімферополь	-20	0,77	6,00	2,2	2,09	2,8	1,64
13	Феодосія	-19	0,75	6,00	2,0	2,24	2,8	1,60
14	Ялта	-8	0,54	6,00	2,0	1,61	2,8	1,15
15	Львів	-23	0,82	6,00	2,5	1,98	3,3	1,50
16	Миколаїв	-23	0,82	6,00	2,2	2,25	2,8	1,77
17	Одеса	-21	0,79	6,00	2,2	2,14	2,8	1,68
18	Полтава	-27	0,90	6,00	2,8	1,93	3,3	1,64
19	Рівне	-25	0,86	6,00	2,8	1,85	3,3	1,57
20	Суми	-28	0,92	6,00	2,8	1,97	3,3	1,67
21	Тернопіль	-24	0,84	6,00	2,8	1,81	3,3	1,53
22	Харків	-28	0,92	6,00	2,8	1,97	3,3	1,67
23	Херсон	-23	0,82	6,00	2,2	2,25	2,8	1,77
24	Хмельницький	-25	0,86	6,00	2,8	1,85	3,3	1,57
25	Черкаси	-26	0,88	6,00	2,8	1,89	3,3	1,60
26	Чернігів	-27	0,90	6,00	2,8	1,93	3,3	1,64
27	Чернівці	-24	0,84	6,00	2,5	2,02	3,3	1,53

Середнє	M	6,00		1,61		1,15
Мінімум	X_{\min}	6,00		2,25		1,85
Максимум	X_{\max}	6,00		1,99		1,60
Розмах	$X_{\max} - X_{\min}$	0,00		0,64		0,70
Розмах без Ялти				0,44		0,38

З таблиці видно, що для усіх 27 метеостанцій температурні перепади Δ_B для стін, запроектованих за СНиП [14], дорівнюють 6°C . Це пояснюється тим, що формула (3.1), за якою обчислювалися необхідні опори теплопередачі, отримана в [14] саме з умови забезпечення нормативного температурного перепаду $\Delta_B=6^\circ\text{C}$ для житлових приміщень. Оскільки сучасні норми [2] обмежують температурний перепад для житлових приміщень величиною $\Delta_B=6^\circ\text{C}$, усі стіни, запроектовані за СНиП П-3-79**, в сучасних умовах мають недостатню теплову надійність і підлягають термомодернізації.

За даними таблиці 3.6 на рисунку 3.5 збудовані гістограми розподілу температурного перепаду Δ_B для стін, запроектованих за ДБН В.2.6-31:2006 та змінами до них від 2013 року (те ж саме – за ДБН В.2.6 – 31:2016).

Рис. 3.5 Гістограми розподілу температурного перепаду Δ_B для стін, запроектованих за нормами різних років

З таблиці та гістограм видно, що при проектуванні стін згідно з вимогами ДБН В.2.6-31:2006 температурні перепади Δ_B знаходяться в межах від $1,61^\circ\text{C}$ до $2,25^\circ\text{C}$, а з урахуванням змін до ДБН [3] та ДБН В.2.6 – 31:2016 [5] не перевищують $1,85^\circ\text{C}$. Отже, нормативні документи України забезпечують достатній рівень теплової надійності стін житлових будівель у всіх кліматичних зонах України.

Звертає на себе увагу місто Ялта, для якого отримані найменші значення температурних перепадів: при проектуванні за ДБН В.2.6-31:2006 $\Delta_B=1,61^\circ\text{C}$, а

при проектуванні за змінами до ДБН $\Delta_B=1,15^\circ\text{C}$. З гістограм розподілу (рис. 3.5) видно, що ці значення явно відділяються від даних для інших міст України в меншу сторону.

Цей висновок підтверджується також рисунком 3.6, на якому зображені залежності температурних перепадів Δ_B з таблиці 3.6 від розрахункових значень температури повітря. На графіках 3.6 усі точки утворюють чотири чи дві прямих лінії, що відповідають метеостанціям, віднесеним до чотирьох температурних зон за ДБН В.2.6-31:2006 та двох температурних зон за змінами до них [3]. Однак точка, що відповідає Ялті, відокремлена від інших метеостанцій і винесена далеко вниз, у бік менших температурних перепадів. Розмахи вибірок температурних перепадів при проектуванні за нормами [2,3] дорівнюють $0,64^\circ\text{C}$ та $0,70^\circ\text{C}$, а без урахування Ялти вони зменшуються до $0,44^\circ\text{C}$ та $0,38^\circ\text{C}$. Більша компактність вибірок значень температурних перепадів свідчить про рівнонадійність стін, запроектованих за чинними нормами, а відокремлення даних Ялти – про надмірно високий рівень теплової надійності стін, запроектованих для цього міста.

Рис. 3.6 Залежності температурного перепаду Δ_B від розрахункової температури t_3 для стін, запроектованих за нормами різних років

Причина надмірно високого рівня теплової надійності стін житлових будівель, запроектованих згідно з вимогами чинних ДБН [2] для умов м. Ялта, полягає у віднесенні Ялти до тієї самої другої температурної зони, що й уся АР Крим та приморські області України. Було б доцільно при територіальному районування України зберегти дві температурні зони, встановлені чинними змінами до ДБН [3], та виділити Південний берег Криму з його субтропічним кліматом у третю температурну зону з дещо нижчими вимогами до необхідного опору теплопередачі огорожувальних конструкцій. Таке рішення дозволить зменшити товщину стін будівель в районі Південного берега Криму, вирівнявши

показники теплової надійності огорожувальних конструкцій з середніми по території України.

3.5 Висновки з розділу

1. Порівняльний аналіз на прикладі двох типових конструкцій стін житлових і громадських будівель дозволив виявити зміни кліматичних параметрів та теплових характеристик стін, запроектованих за нормами проектування різних років.

2. Середні та розрахункові значення температури повітря, тривалість та кількість градусо-днів опалювального періоду, встановлені нормами з будівельної кліматології різних років, є досить близькими. Незначні відмінності у бік пом'якшення температурного режиму атмосферного повітря можуть бути наслідком глобального потепління клімату.

3. Норми проектування теплової ізоляції будівель ДБН В.2.6-31:2006 та зміни до них від 2013 року, ДБН В.2.6 – 31:2016 та ДБН В.2.6 – 31:2016 встановлюють простішу, порівняно з їх попередником СНиП II-3-79**, процедуру вибору необхідного опору теплопередачі стін залежно від температурної зони розташування будівлі.

4. В українських нормах проектування теплової ізоляції будівель ДБН В.2.6-31:2006, змінах до них від 2013 року та в ДБН В.2.6 – 31:2016 необхідний опір теплопередачі стін житлових і громадських будівель підвищено в три – чотири рази порівняно з СНиП II-3-79**. Це призвело до відповідного збільшення товщини утеплювальних шарів та практичної неможливості використання стін з цегли чи керамзитобетону без додаткового утеплення ефективними теплоізоляційними матеріалами.

5. Непропорційність територіальної мінливості кліматичних параметрів та теплових характеристик стін, які визначаються за цими параметрами за вказівками ДБН В.2.6-31:2016, наводить на думку про недостатнє урахування

кліматичних характеристик різних регіонів України чинними нормами проектування теплової ізоляції будівель.

6. Аналіз перепадів температур повітря в приміщенні та внутрішньої поверхні стіни, як одного з критеріїв теплової надійності огороджувальних конструкцій, виявив правомірність виконаного в змінах до ДБН В.2.6-31:2006 об'єднання усієї континентальної території України у дві температурні зони, але вказав на необхідність виділення Південного берега Криму в третю температурну зону з меншими значеннями необхідного опору теплопередачі огороджувальних конструкцій будівель.

Розділ 4

ЕКОНОМІЧНИЙ АНАЛІЗ ДОЦІЛЬНОСТІ ПІДВИЩЕННЯ ТЕПЛОВОЇ НАДІЙНОСТІ СТІН

4.1 Завдання економічного аналізу

Конструктивні рішення й теплотехнічні розрахунки сучасних огорожувальних конструкцій повинні відповідати ДБН В.2.6-31:2016 «Теплова ізоляція будівель» [5]. З метою забезпечення достатньо високого рівня теплової надійності та збереження енергетичних ресурсів у цих нормах вимоги до опору теплопередачі огорожувальних конструкцій житлових і громадських будівель підвищено в три – чотири рази порівняно зі СНиП II-3-79**, які були попередником ДБН В.2.6-31:2006 та ДБН В.2.6 – 31:2016. Це рішення забезпечило принципове поліпшення теплових характеристик огорожувальних конструкцій, але одночасно призвело до збільшення товщини утеплювальних шарів та відповідного зростання вартості огорожувальних конструкцій.

Суперечливість тенденцій до зниження експлуатаційних витрат на опалення за рахунок зростання початкової вартості огорожувальних конструкцій обумовлює необхідність проведення економічного аналізу наслідків підвищення опору теплопередачі стін житлових будівель, які аналізувалися в попередніх розділах. Виходячи з суті задачі, сформульовані такі завдання економічного аналізу та загальний порядок їх реалізації:

1. Розглядається один квадратний метр зовнішніх стін двох типів (з ніздрюватого бетону та цегляна з пінопластовим утепленням, як описано в розділі 3), опір теплопередачі та конструкція яких визначені в розділі 3 згідно з вимогами трьох нормативних документів, які діяли в різні роки: СНиП II-3-79** "Строительная теплотехника" [14], ДБН В.2.6-31:2006 "Теплова ізоляція будівель" [2], зміна № 1 до ДБН В.2.6-31:2006 від 01.07.2013 року [3], ДБН В.2.6 – 31:2016 [5].

2. За відомим опором теплопередачі стін, запроєктованих за вимогами трьох нормативних документів у двох варіантах конструктивних рішень, та кліматичними параметрами опалювального періоду для умов кожної з 27-ми метеостанцій, розглянутих у розділі 2, визначаються втрати тепла протягом одного опалювального сезону через 1 м^2 стін.
3. З урахуванням середньозваженої вартості одиниці теплової енергії (наприклад, однієї кілокалорії, мегакалорії чи гігакалорії за укрупненими розцінками) та кількості тепла, що передається через 1 м^2 стін двох конструктивних рішень, запроєктованих за вимогами трьох нормативних документів, визначаються річні витрати на опалення в кліматичних умовах 27-ми розглянутих у попередніх розділах міст України.
4. На підставі кошторисних розрахунків визначаються вартості одного квадратного метра стін обох типів, товщини утеплювальних шарів яких визначені згідно з вимогами трьох вказаних вище нормативних документів та ув'язані з конструктивними вимогами.
5. Для обох типів стін, запроєктованих за вимогами трьох нормативних документів, визначаються річні приведені витрати з урахуванням початкової вартості стіни та витрат на опалення в кліматичних умовах 27-ми розглянутих міст України.
6. Виконується статистичний аналіз отриманих економічних показників, на підставі якого визначаються тенденції їх зміни в процесі удосконалення норм проектування та територіальна мінливість у межах України.

Розв'язання перелічених завдань дозволить зробити обґрунтовані висновки щодо доцільності підвищення опору теплопередачі огороджувальних конструкцій, реалізованого в ДБН В.2.6-31:2006, у змінах до них від 01 липня 2013 року та в ДБН В.2.6-31:2016 [5], а також дати рекомендації щодо тенденцій подальшого розвитку норм проектування теплоізоляційної оболонки будівель.

4.2 Конструкції стін, запроектованих за нормами різних років

В розділі 3 розглядалися стіни житлових будівель двох типів, конструкція яких представлена в таблиці 3.1 і на рисунку 3.1: стіна з ніздрюватого бетону та цегляна стіна з утеплювачем з плит пінополістиролу. Виходячи з вимог трьох згаданих вище нормативних документів, що діяли в різні роки, у розділі 3 для кліматичних умов 27 міст України визначено необхідні опори теплопередачі, а також відповідні товщини ніздрюватого бетону та пінополістиролу. У даному підрозділі ці товщини узгоджені з конструктивними вимогами та реальними розмірами виробів з ніздрюватого бетону і пінополістиролу.

Згідно з ДСТУ Б В.2.7-137:2008 [9], блоки з ніздрюватого бетону для зовнішніх стін можуть мати товщину від 200 мм до 500 мм з кроком 50 мм. З урахуванням цих розмірів та наведених у таблицях 3.3 і 3.4 товщин ніздрюватого бетону, необхідних для забезпечення потрібного опору теплопередачі, в таблиці 4.1 наведені конструктивно обґрунтовані товщини ніздрюватого бетону та відповідні фактичні опори теплопередачі стін для умов 27-ми міст України, включених до сформованої нами мережі метеостанцій. Значення товщини встановлені з округленням (в основному в сторону збільшення або незначного заниження) до можливої товщини блока, кратної 50 мм. Фактичні значення опору теплопередачі обчислені з урахуванням теплових характеристик усіх шарів стіни, наведених в таблицях 3.1 і 3.2 за відомою формулою з ДБН [2]

$$R_{\Sigma} = \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \sum_{i=1}^n R_i + \frac{1}{\alpha_3} = \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_3}, \quad (4.1)$$

де $\alpha_{\text{в}}$, α_3 – коефіцієнти тепловіддачі внутрішньої і зовнішньої поверхонь огорожувальної конструкції, Вт/(м² · К), які приймаються згідно з додатком Е ДБН [2];

R_i – термічний опір i -го шару конструкції, м² · К/Вт;

λ_i – теплопровідність матеріалу i -го шару конструкції в розрахункових умовах експлуатації (згідно з додатком Л), Вт/(м · К);

δ_i – товщина i -го шару конструкції, м.

Таблиця 4.1

Теплові характеристики стін з ніздрюватого бетону,
запроектованих за нормами різних років

Таблиця 4.2

Теплові характеристики стін з цегли та пінополістиролу,
запроектованих за нормами різних років

В таблиці 4.2 наведені значення конструктивно обґрунтованої товщини утеплювального шару з пінополістиролу в цегляній стіні та обчислені за (4.1) опори теплопередачі отриманих стін для умов тих же 27-ми міст України. При цьому враховано, що згідно з вимогами ДСТУ Б В.2.7-8-94 [12], плити з пінополістиролу випускаються з товщиною, кратною 10 мм, до якої й округлювалися необхідні товщини теплоізоляційного шару, які були обчислені в таблиці 3.3.

При проектуванні за СНиП отримані невеликі товщини ніздрюватого бетону, тому товщина стіни прийнята рівною 200 мм, тобто мінімальній товщині блока, для всіх розглянутих міст. Необхідна товщина пінополістиролу в таблиці 4.2 також прийнята однаковою для усіх міст (20 мм з конструктивних міркувань та зручності виконання робіт) за винятком Ялти, де додаткове утеплення цегляної стіни взагалі не потрібне.

При проектуванні за ДСТУ [2] та змінами до них від 2013 року товщини стін також округлені до вказаних вище допустимих розмірів блоків з ніздрюватого бетону та плит з пінополістиролу, але при цьому вони різними для різних температурних зон і ближчими до обчислених за теплотехнічними вимогами й наведеними в таблиці 3.4.

4.3 Втрати тепла через стіни, запроектовані за нормами різних років

Загальні залежності будівельної теплотехніки [60, 2] дозволяють обчислювати втрати тепла через огорожувальну конструкцію з відомим опором теплопередачі R_0 у стаціонарному режимі теплопередачі за загальною формулою

$$Q = \frac{\tau_B - \tau_3}{R_0} \times F \times t, \quad (4.2)$$

де τ_B і τ_3 – температури внутрішнього і зовнішнього повітря;

F – площа ділянки огороження, що розглядається;

t – час, на протязі якого відбувається теплопередача в стаціонарному тепловому режимі.

У нашому випадку площа ділянки огорожувальної конструкції приймається рівною 1 м^2 . Час t , протягом якого відбувається теплопередача, дорівнює тривалості опалювального періоду. Температуру внутрішнього повітря в житловому приміщенні можна вважати постійною в часі $\tau_B = +20^\circ\text{C}$. Сезонні та випадкові зміни температури зовнішнього повітря адекватно враховуються величиною кількості градусо-днів опалювального періоду $G_{оп}$, яка визначена в розділі 2 для кожної з розглянутих метеостанцій.

Тоді втрати тепла через один квадратний метр стіни з відомим опором теплопередачі R ($\text{м}^2 \times \text{C}$)/Вт протягом опалювального періоду можна обчислити за формулою, яка дає результат у кілокалоріях:

$$Q = 20,6 \frac{G_{оп}}{R_0}. \quad (4.3)$$

Для перерахунку в мегакалорії результат обчислень за (4.3) слід поділити на 10^3 , а в гікалорії – на 10^6 .

Подібна формула була отримана в роботі [39], де аналізувалися втрати тепла через світлопрозорі огорожувальні конструкції різних типів.

Обчислення за формулою (4.3) виконані з урахуванням реальної кількості градусо-днів опалювального періоду для кожного населеного пункту з таблиці 2.8 та значень опору теплопередачі стін з таблиць 4.1 і 4.2. Отримані в результаті обчислень річні втрати тепла через один квадратний метр стіни наведені в таблиці 4.3, де для зручності запису вони виражені в мегакалоріях. За даними

таблиці збудовані також гістограми розподілу тепловтрат, наведені на рисунку 4.1.

Таблиця 4.3

Втрати тепла через 1 м² стін протягом опалювального періоду (мегакалорії)

№	Місто (метеостанція)	G _{оп} , гр-діб	СНиП II-3-79**		ДБН В.2.6-31:2006		Зміни до ДБН від 2013 року	
			бетон	цегла	бетон	цегла	бетон	цегла
1	Вінниця	3735	53,2	75,4	28,5	26,7	23,2	23,0
2	Луцьк	3612	51,4	72,9	31,2	30,8	22,4	22,2
3	Луганск	3514	50,0	71,0	26,8	25,1	21,8	21,6
4	Дніпропетровськ	3524	50,2	71,2	30,4	30,1	21,9	21,7
5	Донецьк	3644	51,9	73,6	27,8	26,1	22,6	22,4
6	Житомир	3747	53,3	75,7	28,6	26,8	23,2	23,1
7	Ужгород	2944	41,9	59,5	29,3	27,8	18,3	18,1
8	Запоріжжя	3260	46,4	65,8	28,2	27,8	24,9	23,3
9	Івано-Франківськ	3571	50,8	72,1	30,9	30,5	22,1	22,0
10	Київ	3605	51,3	72,8	27,5	25,8	22,4	22,2
11	Кіровоград	3597	51,2	72,6	27,5	25,7	22,3	22,1
12	Сімферополь	2695	38,4	54,4	26,8	25,4	20,6	19,3
13	Феодосія	2342	33,3	47,3	24,1	24,7	17,9	16,8
14	Ялта	1825	26,0	67,8	18,8	19,3	13,9	13,1
15	Львів	3579	51,0	72,3	30,9	30,5	22,2	22,0
16	Миколаїв	3079	43,8	62,2	30,6	29,1	23,5	22,0
17	Одеса	2873	40,9	58,0	28,6	27,1	21,9	20,5
18	Полтава	3762	53,6	76,0	28,7	26,9	23,3	23,2
19	Рівне	3667	52,2	74,0	28,0	26,2	22,7	22,6
20	Суми	4016	57,2	81,1	30,7	28,7	24,9	24,7
21	Тернопіль	3770	53,7	76,1	28,8	27,0	23,4	23,2
22	Харків	3826	54,5	77,3	29,2	27,4	23,7	23,6
23	Херсон	3071	43,7	62,0	30,5	29,0	23,5	22,0
24	Хмельницький	3729	53,1	75,3	28,5	26,7	23,1	23,0
25	Черкаси	3643	51,9	73,6	27,8	26,1	22,6	22,4

26	Чернігів	3889	55,4	78,5	29,7	27,8	24,1	23,9
27	Чернівці	3456	49,2	69,8	29,9	29,5	21,4	21,3
Мінімум			26,0	47,3	18,8	19,3	13,9	13,1
Максимум			57,2	81,1	31,2	30,8	24,9	24,7
Середнє			48,5	69,9	28,5	27,2	22,1	21,7
Розмах у % від середнього			64,3	48,3	43,6	42,4	49,5	53,8

Рис. 4.1 Втрати тепла протягом опалювального сезону через один квадратний метр стін

Аналіз даних таблиці 4.3 та гістограм з рисунка 4.1 показує, що зростання опору теплопередачі стін, реалізоване у більш пізніх нормативних документах, обумовлює відповідне зменшення тепловтрат. При переході від СНиП II-3-79** до ДБН В.2.6-31:2006 середні по території України втрати тепла через стіни з ніздрюватого бетону зменшилися з 48,5 Мк (мегакалорій за опалювальний період) до 28,5 Мк, тобто в 1,7 разу. Для цегляних стін з пінополістирольним утепленням відбулося зменшення тепловтрат з 69,9 Мк (мегакалорій за опалювальний період) до 27,2 Мк, тобто в 2,6 разу.

Різниця між стінами двох типів пояснюється тим, що стіни з ніздрюватого бетону при проектуванні за СНиП прийняті конструктивно товщиною 200 мм. Це створило значний запас опору теплопередачі. Уведення в дію змін до ДБН В.2.6-31 від 2013 року додатково знизило тепловтрати ще на 22%.

Разом з тим при упровадженні змін до ДБН у 2013 році відбулося зростання розкиду тепловтрат по території України. Розмахи вибірок втрат тепла в кліматичних умовах різних міст зросли з 44% до 50% для стін з ніздрюватого бетону та з 42% до 54% для стін з пінопластовим утепленням. Це викликано тим, що в ДБН [2] уся територія розділена на чотири температурні зони з однаковими

по зоні значеннями необхідного опору теплопередачі, а в змінах до ДБН [3] кількість температурних зон зменшена до двох. Тепловтрати через стіни, запроектовані за чинними ДБН В.2.6-31:2016 [5], дорівнюють тепловтратам через стіни, запроектовані за нормами 2013 року [3].

На гістограмах розподілу звертає на себе увагу наявність декількох метеостанцій, для яких тепловтрати набагато менші від звичайного рівня. При проектуванні стін за СНиП виділяються метеостанції Ялта, Феодосія і Сімферополь, а при проектуванні за ДБН та за змінами до них – місто Ялта. Такий характер територіального розподілу тепловтрат ще раз підтверджує висунуту в попередньому розділі пропозицію щодо необхідності виділення Південного берега Криму в окрему температурну зону.

4.4 Методика оцінювання економічного ефекту від підвищення опору теплопередачі стін житлових і громадських будівель

У попередніх розділах за результатами аналізу встановлено, що протягом останніх 30-ти років у нормативних документах був двічі істотно підвищений опір теплопередачі огорожувальних конструкцій. У розділі 3 були порівняні стіни запроектовані за нормативними документами різних років, зокрема СНиП [14], ДБН [2] та Зміни до ДБН [3], ДБН [5]. Проаналізувавши отримані результати ми прийшли до висновку, що з роками стіни стали значно товстішими. На разі виникає питання чи економічно вигідні ці зміни у нормативних документах.

Методика виявлення економічного ефекту, яка була використана для кожної з 27 метеостанцій України та для двох видів стін, запроектованих у розділі 3, полягала в наступному.

Для 1 м² стіни з ніздрюватого бетону для 27 метеостанцій були визначені такі данні:

1. Товщина стіни запроектована за даними СНиП [14], ДБН [2], Змінами до ДБН [3], ДБН [5].

2. Кошторисна вартість 1 м^2 для стіни запроектованої по СНиП [14], ДБН [2], Змінами до ДБН [3], ДБН [5].
3. Тепловтрати протягом опалювального періоду через 1 м^2 стіни, запроектованої за СНиП [14], ДБН [2] та Змінами до ДБН [3], ДБН [5].
4. Вартість гігакалорії тепла (Грн/Гкал) у кожному з розглянутих міст за даними постанови [41];
5. Приведені річні витрати для стін, запроектованих за СНиП [14], ДБН [2] та Змінами до ДБН [3].

Для 1 м^2 стіни цегляної з утеплювачем з пінополістиролу для 27 метеостанцій були визначені такі данні:

1. Кошторисна вартість несучої цегляної стіни товщиною 25 см разом із внутрішньою штукатуркою.
2. Товщина утеплювача, запроектована за СНиП [14], ДБН [2] та змінами до ДБН [3].
3. Кошторисна вартість несучої стіни з утеплювачем, запроектованої за СНиП [14], ДБН [2] та Змінами до ДБН [3], ДБН [5].
4. Тепловтрати протягом опалювального періоду через стіни, запроектовані за СНиП [14], ДБН [2] та Змінами до ДБН [3], ДБН [5].
5. Вартість гігакалорії тепла (Грн/Гкал) у кожному з розглянутих міст за даними постанови [41], та ж сама, що й для стін з ніздрюватого бетону.
6. Приведені річні витрати для стін, запроектованих за СНиП [14], ДБН [2] та Змінами до ДБН [3].

Товщини стін з ніздрюватого бетону були визначені у підпункті 4.2 та зібрані у таблиці 4.1 з урахуванням реальних конструктивних розмірів та вимог трьох перелічених нормативних документів.

Тепловтрати стіни протягом опалювального періоду були визначені у розділі 4.3 та відображені для кожної метеостанції згідно з розрахунками за трьома нормативними документами у таблиці 4.3.

Кошторисна вартість 1 м^2 визначена на основі локальних кошторисів для кожної з 27 метеостанцій. Нижче наведений приклад локального кошторису для метеостанції Полтава для 1 м^2 стіни з ніздрюватого бетону товщиною 200 мм.

Локальний кошторис складається з двох розділів. Перший розділ це мурування стіни з ніздрюватого бетону з внутрішнім штукатуренням. Другий розділ включає улаштування зовнішнього опорядження стін (штукатуренням, фарбуванням). Для стіни з цегли з утеплення з пінополістиролу кошторис має також два розділи: мурування стіни з цегли та улаштування утеплювача з зовнішнім штукатуренням. Це зроблено для того щоб краще бачити ціну утеплювача та ціну несучої стіни, тому що остання є сталою для всіх кошторисів.

Відмітимо, що кошторисна вартість стін визначалася з урахуванням цін на будівельні матеріали та розцінок на виконання робіт, які діяли в час дії відповідних норм теплового захисту.

На прикладі даного кошторису видно, що вартість стіни складає 214 грн (8 стовпчик), поліпшене штукатурення складає 34 грн.

В першому розділі кошторисна вартість складає 286 грн, а в другому – 109 грн. У кінці кошторису в 8 стовпчику наведена кошторисна вартість 395 грн, кошторисна трудомісткість 5,09 люд.год та кошторисна заробітна плата 107грн.

Для кожної метеостанції було розроблено 6 локальних кошторисів, по три локальних кошторисів для кожного виду стіни.

У випадку цегляної стіни з утеплювачем з пінополістиролу локальний кошторис має 2 розділи: мурування цегляної стіни з внутрішнім штукатуренням та улаштування зовнішнього утеплення стін з опорядженням (штукатуренням, фарбуванням).

Це було зроблено у зв'язку з тим що вартість несучої стіни є незмінною, як і її товщина. Змінною є товщина утеплювача в межах від 0 до 120 мм. Такий підхід дозволяє виділити окремо вартість утеплення та правильно розрахувати річні приведені витрати з урахування реальних термінів експлуатації різних частин цегляної стіни.

Приведені витрати являють собою суму річних поточних витрат (собівартості) і капітальних вкладень, приведених до річного виміру за допомогою нормативу порівняльної ефективності та згідно з положеннями економіки [42] визначаються за формулою:

$$P=C+E_n*K \quad (4.4)$$

де C – поточні витрати;

E_n - нормативний коефіцієнт порівняльної ефективності, одн;

K - загальні капітальні вкладення, грош. одн.

Для визначення річних приведених витрат за нашими даними з урахуванням специфіки поставленої задачі були використані такі формули, отримані :

$$Pr=Q * Ц + \frac{1}{100} Kc \quad (4.5)$$

$$Pr=Q * Ц + \frac{1}{100} Kc + \frac{1}{25} Kут \quad (4.6)$$

де Q - тепловтрати 1м^2 стіни;

$Ц$ - вартість тепла, 1 гікалорії, грн/Гкал;

$1/100 K_c$ – коефіцієнт, який визначає кількість років експлуатації помножений на кошторисну вартість стіни;

$1/25 K_{ут}$ – коефіцієнт, який визначає кількість років експлуатації утеплювача та помножений на його кошторисну вартість;

Річні приведені витрати розраховуються з урахуванням строку служби будівлі, який за нормами [1] для житлових і громадських будівель складає 100 років. Стіна з ніздрюватого бетону одночасно виконує несучі та теплоізоляційні функції, а тому повний термін експлуатації усіх її частин – 100 років. Термін експлуатації несучої частини цегляної стіни також складає 100 років, аде згідно з вимогами норм [4] для ефективного утеплювача строк служби повинен бути не менше 25 років. Тому формула (4.5), яка використовується для стіни з ніздрюватого бетону, містить загальний строк служби 100 років, а формула (4.6) для цегляної стіни з пінополістиролом враховує термін експлуатації несучої частини 100 років, а утеплювача й зовнішньої штукатурки – 25 років.

Ціни на утеплювач були взяті з прайсу виробника [40]. Значення вартості пінополістирольних плит різних розмірів наведені в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4

Вартість плит для будівельної теплоізоляції з екструдованого пінополістиролу за даними XPSТехноНИКОЛЬ

Carbon ECO	Вартість 1м ² , грн	Вартість 1м ³ , грн
1200x600x20	22,17	1108,62
1200x580x40	44,53	1113,24
1200x580x50	55,66	1113,24
XPS Carbon Prof		
1180x580x80	127,12	1588,95
1180x580x100	158,90	1588,95
1180x580x120	198,66	1655,49

Вартість блоків з ніздрюватого бетону прийнята середньою на основі поточних цін в середовищі АВК станом на 15 квітня 2018 року.

Невід’ємною частиною визначення економічного ефекту є вартість гігакалорії тепла. Калорія це кількість тепла необхідного для підігріву 1 граму води на 1 градус Цельсія при тиску в 1 атмосферу. Гігакалорія дорівнює $1\ 000\ 000\ 000=(1 \times 10^9)$ калорій. Саме в гігакалоріях вимірюється кількість теплової енергії, затраченої на опалення приміщення. Вартість гігакалорії тепла для наших розрахунків була взята з постанов Національної комісії що здійснює державне регулювання у сфері комунальних послуг які були надруковані в газеті центральних органів виконавчої влади "Урядовий кур’єр" від 9, 18 та 24 квітня 2014 року.

Так наприклад, для м.Полтава була видана постанова № 288 від 08.04.2014 р Про встановлення тарифів на теплову енергію, її виробництво, транспортування, постачання для потреб населення Дочірньому підприємству «Полтаватеплокомуненерго» ТОВ «Центр науково-технічних інновацій Української нафтогазової академії» [41]. Ця постанова набирає чинності з 1 липня 2014 року. Дані аналогічних документів використані й для усіх інших міст України.

4.5 Економічна ефективність змін опору теплопередачі стін житлових і громадських будівель

За описаною методикою виконані розрахунки приведених витрат на експлуатацію розглянутих вище двох типів стін (з ніздрюватого бетону та цегляної з утепленням із пінополістиролу) в кліматичних умовах 27 міст України, які розглядалися в попередніх розділах. Необхідна товщина стін з ніздрюватого бетону чи теплоізоляційного шару з пінополістиролу прийняті за даними таблиць 4.1 і 4.2. Величина капітальних вкладень дорівнює кошторисній вартості стіни відповідної товщини, встановленій шляхом складання відповідних локальних кошторисів. Приведені витрати обчислені за формулою (4.5) для стін

з ніздрюватого бетону або за формулою (4.6) для цегляних стін з утепленням із пінополістиролу. Результати розрахунків наведені в таблицях 4.5 і 4.6.

Таблиця 4.5

Річні приведені витрати на на 1 м² стіни з ніздрюватого бетону

№	Назва метеостанції	Ціна тепла, Грн/Гкал	Капітальні вкладення (вартість 1 м ² стіни), грн			Приведені витрати, грн/(м ² ×рік)		
			СНиП	ДБН-06	ДБН-13	СНиП	ДБН-06	ДБН-13
1	Вінниця	306,29	395	630	750	20,23	15,04	14,59
2	Луцьк	327,67	395	572	750	20,80	15,94	14,84
3	Луганськ	351,70	395	630	750	21,54	15,74	15,16
4	Дніпропетровськ	356,66	395	572	750	21,84	16,58	15,29
5	Донецьк	430,11	395	630	750	26,26	18,27	17,22
6	Житомир	285,05	395	630	750	19,15	14,46	14,12
7	Ужгород	439,78	395	512	750	22,38	17,99	15,53
8	Запоріжжя	274,66	395	572	630	16,70	13,45	13,14
9	Івано-Франківськ	306,27	395	572	750	19,52	15,17	14,28
10	Київ	217,00	395	630	750	15,09	12,27	12,35
11	Кіровоград	366,75	395	630	750	22,73	16,38	15,68
12	Сімферополь	369,76	395	512	630	18,14	15,03	13,91
13	Феодосія	464,87	395	512	630	19,45	15,95	14,62
14	Ялта	483,28	395	512	630	16,51	13,89	13,04
15	Львів	325,38	395	572	750	20,53	15,78	14,72
16	Миколаїв	300,65	395	512	630	17,13	14,32	13,37
17	Одеса	311,80	395	512	630	16,70	14,03	13,14
18	Полтава	315,98	395	630	750	20,87	15,38	14,87
19	Рівне	334,20	395	630	750	21,40	15,66	15,10
20	Суми	319,11	395	630	750	22,19	16,09	15,45
21	Тернопіль	267,82	395	630	750	18,32	14,01	13,76
22	Харків	291,87	395	630	750	19,85	14,83	14,43
23	Херсон	352,59	395	512	630	19,37	15,89	14,57
24	Хмельницький	265,21	395	630	750	18,03	13,85	13,63
25	Черкаси	218,46	395	630	750	15,28	12,38	12,44
26	Чернігів	302,56	395	630	750	20,70	15,29	14,80
27	Чернівці	265,78	395	572	750	17,03	13,66	13,20
	Мінімум	217,00				15,09	12,27	12,35
	Максимум	483,28				26,26	18,27	17,22
	Середнє	327,82				19,55	15,09	14,34

Аналіз отриманих результатів показав, що приведені витрати на 1 м² стіни змінюються в межах від 15,09 грн до 26,26 грн при проектуванні за СНиП [14] і від 12,35 грн до 17,22 грн при проектуванні за ДБН [5]. Зміни приведених витрат залежно від нормативного документа, за яким запроектовані стіни, відображені на рисунку 4.2, де наведені найбільші, найменші та середні по території України значення приведених витрат з таблиці 4.5.

Рис. 4.2 Річні приведені витрати на один квадратний метр стін з ніздрюватого бетону

З таблиці 4.5 та рисунка 4.2 видно, що перехід від проектування за СНиП [14] до ДБН [2] забезпечив зменшення приведених витрат на 19% – 30%. Упровадження вимог 2013 року та ДБН [5] від 2016 року дало додаткову економію в середньому на 5%, але для міст Київ та Черкаси відбулося зростання приведених витрат, обумовлене найнижчими по Україні цінами на теплову енергію в цих містах. З рисунка 4.2 видно, що при сучасному співвідношенні вартості будівництва та цін те теплову енергію подальше збільшення опору теплопередачі стін не приведе до істотної економії енергетичних ресурсів.

Таблиця 4.6

Річні приведені витрати на на 1 м² цегляної стіни з пінополістиролом

№	Назва метеостанції	Грн/ Гкал	СНиП	ДБН- 06	ДБН- 13	СНиП	ДБН- 06	ДБН- 13
1	Вінниця	306,29	677	820	861	40,73	31,53	32,03
2	Луцьк	327,67	677	786	861	41,53	32,08	32,28
3	Луганськ	351,70	677	820	861	42,59	32,19	32,60
4	Дніпропетровськ	356,66	677	786	861	43,01	32,71	32,73
5	Донецьк	430,11	677	820	861	49,28	34,56	34,64

6	Житомир	285,05	677	820	861	39,20	30,99	31,57
7	Ужгород	439,78	677	753	861	43,78	32,89	32,96
8	Запоріжжя	274,66	677	786	820	35,71	29,63	29,75
9	Івано-Франківськ	306,27	677	786	861	39,72	31,32	31,72
10	Київ	217,00	677	820	861	33,43	28,94	29,81
11	Кіровоград	366,75	677	820	861	44,27	32,78	33,11
12	Сімферополь	369,76	677	753	820	37,75	30,07	30,48
13	Феодосія	464,87	677	712	820	39,62	30,53	31,14
14	Ялта	483,28	315	712	820	35,90	28,35	29,66
15	Львів	325,38	677	786	861	41,15	31,92	32,16
16	Миколаїв	300,65	677	753	820	36,33	29,41	29,97
17	Одеса	311,80	677	753	820	35,72	29,12	29,76
18	Полтава	315,98	677	820	861	41,63	31,85	32,31
19	Рівне	334,20	677	820	861	42,38	32,11	32,54
20	Суми	319,11	677	820	861	43,51	32,51	32,88
21	Тернопіль	267,82	677	820	861	38,02	30,57	31,21
22	Харків	291,87	677	820	861	40,18	31,34	31,87
23	Херсон	352,59	677	753	820	39,50	30,89	31,09
24	Хмельницький	265,21	677	820	861	37,60	30,42	31,08
25	Черкаси	218,46	677	820	861	33,70	29,04	29,89
26	Чернігів	302,56	677	820	861	41,39	31,77	32,24
27	Чернівці	265,78	677	786	861	36,18	29,82	30,65
	Мінімум	217,00				33,43	28,35	29,66
	Максимум	483,28				49,28	34,56	34,64
	Середнє	327,82				39,77	31,09	31,56

Аналіз даних таблиці 4.6, де вказані приведені витрати на 1 м² цегляної стіни з утепленням із пінополістиролу показав, що приведені витрати є значно більшими, ніж для стін з ніздрюватого бетону. Вони змінюються в межах від 33,43 грн до 49,28 грн при проектуванні за СНиП [14] і від 29,66 грн до 34,64 грн при проектуванні за нормами 2013 року [3] і чинним ДБН [5]. Зміни приведених витрат залежно від нормативного документа, за яким запроектовані стіни, відображені на графіку 4.4, збудованому за даними таблиці 4.6.

Рис. 4.3 Річні приведені витрати на один квадратний метр цегляних стін з пінополістирольним утепленням

З таблиці 4.6 та рисунка 4.3 видно, що перехід від проектування за СНиП [4] до ДБН [2] зменшив приведені витрати на 15% – 30%. Упровадження вимог ДБН [5] навпаки, призвело до зростання приведених витрат в умовах усіх розглянутих міст України в межах 5%. Це обумовлено високою вартістю пінополістиролу та його незначним терміном експлуатації (25 років за ДБН [4]), що змушує виконувати його заміну протягом встановленого терміну експлуатації житлового будинку, рівного 100 років. З рисунка 4.3 видно, що при сучасному співвідношенні вартості будівництва та цін на теплову енергію подальше збільшення опору теплопередачі стін з утепленням з пінополістиролу приведе до зростання приведених витрат, а тому є недоцільним.

Виконаний аналіз приведених витрат показав, що оптимальне значення опору теплопередачі залежить не лише від кліматичних умов району будівництва, але й від конструкції стіни та від співвідношення вартості будівництва та вартості теплової енергії.

4.6 Економічна ефективність подальших змін опору теплопередачі стін цивільних будівель

Необхідність забезпечення енергоефективності будівель в умовах дефіциту та зростання вартості енергоносіїв спонукає до поліпшення теплових характеристик огорожувальних конструкцій. Вище показано, що чинні норми проектування теплової ізоляції будівель [5] встановлюють мінімально допустимі значення опору теплопередачі стін цивільних будівель для першої температурної зони, до якої належать 20 областей, $R_{q\ min}=3,3\ \text{м}^2 \times \text{К/Вт}$ і для другої температурної зони (5 південних регіонів) $R_{q\ min}=2,8\ \text{м}^2 \times \text{К/Вт}$. Наведені в [5] значення є дещо вищими від вимог попередньої редакції норм [2].

Доцільність подальшого підвищення вимог до опору теплопередачі проаналізована за величиною приведених витрат, які враховують вартість огорожувальної конструкції та видатки на опалення. Розглядаються поширені конструкції стін багатоповерхових цивільних будівель, які складаються з таких шарів: внутрішня штукатурка вапняно-піщаним розчином товщиною 20 мм,

цегляна кладка з пустотілої цегли на цементному розчині товщиною 510 мм, утеплювач з екструзійного пінополістиролу з середньою густиною 30 кг/м^3 і розрахунковим значенням коефіцієнта теплопровідності $\lambda=0,037 \text{ Вт/(м}\times\text{К)}$, зовнішній опоряджувальний шар з цементно-піщаного розчину товщиною 10 мм. У подальших розрахунках коефіцієнти теплопровідності усіх матеріалів прийняті за ДСТУ [2] для умов експлуатації А. Товщина пінополістирольного утеплювача, визначена за заданим значенням опору теплопередачі стіни $2 \leq R_0 \leq 5 \text{ м}^2 \times \text{К/Вт}$, змінювалася в межах від 30 мм до 160 мм.

Втрати тепла через один квадратний метр огорожувальної конструкції при стаціонарному тепловому режимі визначені за формулою (4.3) з урахуванням опору теплопередачі R_0 та кількості градусо-днів опалювального періоду $G_{оп}$, яка для усіх метеостанцій визначена раніше.

Як і в попередніх розрахунках, річні приведені витрати дорівнюють сумі річних поточних витрат (собівартості опалення) і капітальних вкладень, приведених до річного виміру. При цьому враховано такі величини:

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

C_H і C_U – вартості несучої (цегляна кладка та внутрішня штукатурка) та утеплюючої (теплоізоляційний шар і зовнішнє опорядження) частин стіни;

T_H і T_U – встановлені терміни експлуатації несучої та утеплюючої частин стіни.

Річні приведені витрати (3) обчислені з урахуванням встановленого терміну експлуатації цивільних будівель $T_H=100$ років та строку служби ефективного утеплювача, який згідно з вимогами норм [2] повинен бути не меншим за $T_U=25$ років. Вартості одного квадратного метра несучої C_H та утеплюючої C_U частин стіни визначалися за кошторисним розрахунком з урахуванням вартості будівельних матеріалів та будівельно-монтажних робіт станом на рік введення в дію норм [ДБН-16], тобто на початок 2017 року.

Теплотехнічні розрахунки виконані для міст Полтава та Одеса, які знаходяться в першій та другій температурних зонах за картою районування [1]. За таблицею 2.7 встановлено, що кількість градусо-днів опалювального періоду в

м. Одеса дорівнює $G_{оп}=2863$, а в м. Полтава з більш холодними кліматом $G_{оп}=3762$. Для обох міст проаналізовано три варіанти ціни теплової енергії:

- ціни, встановлені постановами уряду в 2014 році для кожного міста України] (312 грн/Гкал для Одеси і 316 грн/Гкал для Полтави);
- ціни, встановлені постановою уряду в 2015 році для кожного міста України [56] (670 грн/Гкал для Одеси і 663 грн/Гкал для Полтави);
- ціни, встановлені постановою уряду в 2021 році для кожного міста України [57] (1229,20 грн/Гкал для Одеси і 1596,93 грн/Гкал для Полтави);

Результати розрахунків наведені в таблиці 4.7 і на рисунку 4.4 у вигляді залежностей приведених витрат від опору теплопередачі стіни. Три кривих відповідають трьом вказаним вище рівням цін на теплову енергію.

Таблиця 4.7

Приведені витрати на опалення будівель з різними опорами теплопередачі стін у м. Полтава та м. Одеса

Рис. 4.4 Приведені витрати на 1 м² стіни при різних опорах теплопередачі та цінах на теплову енергію

Наведені на рисунку залежності приведених витрат на 1 м² стіни від її опору теплопередачі дозволяють встановити оптимальне значення опору теплопередачі за критерієм мінімуму приведених витрат.

При цінах 2014 року (нижня крива) найменші значення приведених витрат реалізуються при опорі теплопередачі $R_0 = 2,5$ (м²×С)/Вт для Одеси та $R_0 = 2,9$ (м²×С)/Вт для Полтави. Ці значення близькі до нормативних вимог [ДБН-06], які діяли до літа 2013 року.

Введення нової ціни на теплову енергію 670 грн/Гкал для Одеси і 663 грн/Гкал для Полтави, підвищує оптимальні значення опору теплопередачі

до $R_0 = 3,7 \text{ (м}^2 \times \text{С)}/\text{Вт}$ для Одеси та $R_0 = 4,2 \text{ (м}^2 \times \text{С)}/\text{Вт}$ для Полтави. Ці значення перевищують сучасні вимоги до мінімально необхідного опору теплопередачі стін житлових і громадських будівель, встановлені змінами до ДБН [5].

У випадку підвищення ціни на теплову енергію до 800 грн/Гкал при умові збереження сучасного рівня цін на будівельні матеріали опір теплопередачі стін необхідно збільшувати до $R_0 = 4,0 \text{ (м}^2 \times \text{С)}/\text{Вт}$ для Одеси та $R_0 = 4,6 \text{ (м}^2 \times \text{С)}/\text{Вт}$ для Полтави. При підвищенні цін на будівельні матеріали зростання опору теплопередачі повинно бути дещо меншим, ніж прогнозоване виконаними розрахунками, але необхідність підвищення вимог до огорожувальних конструкцій залишається очевидною.

Не дивлячись на деяку умовність розглянутого модельного прикладу, виконаний аналіз вказує на явно виражену тенденцію доцільності подальшого підвищення мінімально необхідного опору теплопередачі огорожувальних конструкцій цивільних будівель в умовах зростання вартості енергоносіїв.

4.7 Висновки з розділу

1. За результатами теплотехнічних розрахунків встановлено, що заміна СНиП II-3-79** "Строительная теплотехника" на ДБН В.2.6-31:2006 «Теплова ізоляція будівель» призвела до зростання товщини теплоізоляційних шарів стін житлових будівель у 1,5 – 4 рази, а введення змін від 2013 року та ДБН В.2.6-31:2016 викликало додаткове зростання товщини теплоізоляції приблизно на 30%. Таке підвищення вимог до теплової надійності стінових конструкцій забезпечило зменшення втрат тепла через стіни в кліматичних умовах 27 міст України у 2 – 3 рази.
2. З метою аналізу економічної доцільності підвищення вимог до теплової надійності стінових конструкцій, реалізованого в нормах проектування України, визначені кошторисні вартості зведення стін двох типів (з ніздрюватого бетону та цегляної з утепленням із пінополістиролу) при

встановлених розрахунком значеннях товщини теплоізоляційних шарів, а також вартості теплової енергії в 27-ми містах України.

3. Розраховані річні приведені витрати на стіни двох типів (з ніздрюватого бетону та цегляної з утепленням із пінополістиролу), які запроектовані згідно з вимогами трьох нормативних документів (СНиП II-3-79**, ДБН В.2.6-31:2006 та зміни № 1 до них від 01.07.2013 року) та експлуатуються в кліматичних умовах 27 міст, що охоплюють усю територію України. При цьому враховані капітальні витрати, рівні кошторисній вартості стіни відповідної конструкції, та експлуатаційні видатки, рівні вартості тепла, яке щорічно втрачається через ці стіни. Дані для чинних ДБН В.2.6-31:2016 відповідають нормам 2013 року.
4. Приведені витрати на 1 м² стіни з ніздрюватого бетону змінюються в межах від 15,09 грн до 26,26 грн при проектуванні за СНиП II-3-79** і від 12,35 грн до 17,22 грн при проектуванні за змінами до ДБН В.2.6-31:2006. Для стін з утепленням із пінополістиролу приведені витрати змінюються в межах від 33,43 грн до 49,28 грн при проектуванні за СНиП II-3-79** і від 29,66 грн до 34,64 грн при проектуванні за змінами до ДБН В.2.6-31:2006 від 2013 року або за ДБН В.2.6-31:2016.
5. Виконаний аналіз приведених витрат показав, що оптимальне значення опору теплопередачі залежить як від кліматичних умов району будівництва, так і від конструкції стіни та від співвідношення вартості будівництва й вартості теплової енергії.
6. При співвідношенні вартості будівництва та цін на теплову енергію на рівні 2020 року збільшення опору теплопередачі стін з ніздрюватого бетону не дасть істотної економії енергетичних ресурсів, а збільшення опору теплопередачі стін з утепленням із пінополістиролу є недоцільним, оскільки воно приведе до зростання приведених витрат.
7. Подальше підвищення цін на теплову енергію спонукає до істотного збільшення мінімально необхідного опору теплопередачі стін цивільних будівель до значень порядку $R_0 = 4 \dots 5 \text{ (м}^2 \times \text{С) / Вт}$.

ВИСНОВКИ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Результати проведених досліджень дозволяють зробити такі загальні висновки:

1. Протягом останніх десятиліть проектування теплозахисної оболонки будівель велося за трьома нормативними документами: СНиП II-3-79** "Строительная теплотехника", ДБН В.2.6-31:2006 «Теплова ізоляція будівель» та зміна № 1 до ДБН В.2.6-31:2006 від 01.07.2013 року та ДБН В.2.6-31:2016. При удосконаленні нормативних документів України проводиться послідовна технічна політика, орієнтована на зростання вимог до огорожувальних конструкцій будівель з метою підвищення їх теплової надійності та зменшення енергетичних витрат на опалення.
2. З метою проведення порівняльного аналізу теплових характеристик стін житлових будівель, запроектованих згідно з вимогами норм різних років видання для різноманітних кліматичних умовах України, в середовищі Excel сформована електронна база метеорологічних даних з температури атмосферного повітря, необхідних для проектування теплозахисної оболонки будівель, для репрезентативної мережі з 27-ми метеостанцій.
3. Порівняльний аналіз параметрів температури атмосферного повітря для проектування теплозахисної оболонки будівель, встановлених нормативними документами з будівельної кліматології різних років видання, виявив близькість цих даних. Незначні відмінності температур у січні та в липні, а також дещо менші тривалості опалювального періоду в ДСТУ-НБ В.1.1-27:2010, порівняно зі СНиП 2.01.01-82, вказують на певне пом'якшення клімату протягом останніх десятиліть, що узгоджується з відомою тенденцією до глобального потепління клімату.
4. Розроблена методика, яка дозволяє досить точно визначати кліматичні характеристики опалювального періоду (тривалість, середню температуру та кількість градусо-днів) за послідовностями середньомісячних температур

атмосферного повітря на конкретній метеостанції, які відомі для більш ніж 400 пунктів спостереження України.

5. Аналіз необхідного опору теплопередачі та товщини теплоізоляційних шарів типових стін житлових і громадських будівель, запроектованих для кліматичних умов усіх метеостанцій з обраної мережі за нормативними документами різних років, показав, що в українських нормах проектування теплової ізоляції будівель ДБН В.2.6-31:2006 та змінах до них від липня 2013 року, ДБН В.2.6-31:2016 необхідний опір теплопередачі стін житлових і громадських будівель підвищено в три – чотири рази порівняно зі СНиП II-3-79**. Це призвело до збільшення необхідної товщини теплоізоляційних шарів стін житлових будівель у 2 – 4 рази та до практичної неможливості використання стін з цегли чи керамзитобетону без додаткового утеплення ефективними теплоізоляційними матеріалами.
6. Для усіх 27-ми метеостанцій з обраної мережі визначені втрати тепла протягом опалювального періоду через стіни житлових і громадських будівель, запроектовані за нормативними документами різних років. Підвищення вимог до теплової надійності стінових конструкцій, реалізоване в нормах проектування України, забезпечило зменшення втрат тепла через стіни у 2 – 4 рази.
7. Економічна ефективність від підвищення теплових характеристик стін, яке реалізоване в українських нормах проектування ДБН В.2.6-31:2006 та в змінах до них від 2013 року, ДБН В.2.6-31:2016 проаналізована шляхом порівняння приведених витрат, обчислених з урахуванням капітальних витрат, рівних кошторисній вартості стіни відповідної конструкції, та експлуатаційних видатків, рівних вартості тепла, яке щорічно втрачається через ці стіни.
8. Порівняння приведених витрат на 1 м² стін з ніздрюватого бетону та стін з утепленням із пінополістиролу в умовах 27 міст України вказує на їх істотне зменшення при переході від проектування за СНиП II-3-79** до проектування за ДБН В.2.6-31:2006. При сучасному співвідношенні вартості

будівництва та цін на теплову енергію подальше збільшення опору теплопередачі стін з ніздрюватого бетону не дасть помітної економії енергетичних ресурсів, а збільшення опору теплопередачі стін з утепленням із пінополістиролу є недоцільним, оскільки воно приведе до зростання приведених витрат.

9. Виконаний аналіз теплотехнічних та економічних показників показав, що оптимальне значення опору теплопередачі необхідно встановлювати з урахуванням кліматичних умов району будівництва, конструкції стіни та використаних теплоізоляційних матеріалів, а також співвідношення вартості будівництва й вартості теплової енергії в конкретному регіоні.

