

Міністерство освіти і науки України

Центральноукраїнський національний технічний університет

Кафедра будівельних, дорожніх машин і будівництва

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ БУДІВЕЛЬ

**Методичні рекомендації з вивчення дисципліни та виконання
практичних робіт для здобувачів освіти спеціальності
192 «Будівництво та цивільна інженерія» усіх форм навчання**

Затверджено на засіданні кафедри
будівельних, дорожніх машин і будівництва
28 серпня 2023 року, протокол № 2

Кропивницький 2023

Методичні рекомендації з вивчення дисципліни та виконання практичних робіт для студентів спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» усіх форм навчання. – Кропивницький: ЦНТУ, 2023. – 40 с.

Методичні рекомендації призначені для самостійного вивчення теоретичної частини курсу "Енергоефективність будівель" і виконання практичних робіт з метою отримання необхідних умінь: виконувати теплотехнічні розрахунки; працювати з нормативною літературою для визначення нормативних показників; підбирати оптимальні варіанти сучасних теплоефективних матеріалів і конструкцій; аналізувати сучасні інженерні методи, що покращують енергоефективність будівель і споруд; вибирати енергоефективні конструкції з урахуванням екологічних та економічних показників. Наведений матеріал відповідає робочій навчальній програмі дисципліни. Методичні рекомендації призначені для використання здобувачами освіти усіх форм навчання.

Укладачі: к.т.н., доцент М.В. Пашинський
к.т.н., проф. В.А. Настоящий,

Рецензент – к.т.н., доцент В.В. Дарієнко

Відповідальний за випуск – завідувач кафедри будівельних,
дорожніх машин і будівництва,
професор В.А. Настоящий

© ЦНТУ, Кропивницький, пр. Університетський, 8
© Настоящий В.А., Пашинський М.В.

Зміст

Практичне заняття №1. ВИВЧЕННЯ НОРМАТИВНИХ ДОКУМЕНТІВ, ЩО РЕГЛАМЕНТУЮТЬ ТЕПЛОВУ НАДІЙНІСТЬ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ	4
Практичне заняття №2. МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЕЛЬ	7
Практичне заняття №3. ТЕПЛОТЕХНІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ОГОРОДЖУВАЛЬНОЇ КОНСТРУКЦІЇ	10
Практичне заняття №4. ВИЗНАЧЕННЯ ВТРАТ ТЕПЛА ЧЕРЕЗ ОГОРОДЖУВАЛЬНУ КОНСТРУКЦІЮ	15
Практичне заняття №5. АНАЛІЗ ТЕПЛОВИХ ВІДМОВ ЗА КРИТЕРІЯМИ КОМФОРТНОСТІ ТА УТВОРЕННЯ КОНДЕНСАТУ	18
Практичне заняття №6. ОЦІНКА ТЕПЛОВОЛОГІСНОГО РЕЖИМУ ОГОРОДЖУВАЛЬНОЇ КОНСТРУКЦІЇ	21
Практичне заняття №7. РОЗРАХУНОК ОСУШУВАЛЬНОЇ ВЕНТИЛЯЦІЇ ТА ОПОРУ ПОВІТРОПРОНИКНОСТІ ОГОРОДЖУВАЛЬНОЇ КОНСТРУКЦІЇ	25
Практичне заняття №8. СТРУКТУРА ТА МЕТОДИКА СКЛАДАННЯ РОЗДІЛУ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЛІ	32
РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА.....	38

ВИВЧЕННЯ НОРМАТИВНИХ ДОКУМЕНТІВ, ЩО РЕГЛАМЕНТУЮТЬ ТЕПЛОВУ НАДІЙНІСТЬ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ

Мета заняття: ознайомитися зі змістом нормативних документів, що встановлюють вимоги та засоби забезпечення енергоефективності будівель і теплової надійності огороджувальних конструкцій.

Завдання та зміст роботи. Необхідно ознайомитися зі структурою та змістом перелічених нижче нормативних документів, звернувши особливу увагу на відмічені питання та розділи.

ДБН В.1.2-14-2018. «Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд» [1]. Норми містять такі ключові положення щодо забезпечення надійності:

- визначення основних понять щодо забезпечення надійності й довговічності будівельних об'єктів (розділ 3);
- вимоги до надійності будівельних об'єктів (пункт 4.1);
- урахування впливів навколишнього середовища (пункт 4.2);
- класифікація будівельних об'єктів та їх елементів за відповідальністю (пункти 5.1, 5.2);
- строки експлуатації будівель і споруд (пункт 5.3);
- граничні стани та розрахункові ситуації (пункти 6.2, 6.3);
- доцільні значення імовірності відмови конструкцій (таблиця Б.1).

ДБН В.2.6-31:2021. «Теплова ізоляція та енергоефективність будівель» [2]. Слід звернути увагу на такі базові вимоги та положення щодо забезпечення енергоефективності будівель і надійності огороджувальних конструкцій:

- сфера застосування норм (розділ 1);
- терміни та визначення основних понять (розділ 3);
- вимоги до показників енергетичної ефективності будівель (розділ 4);
- вимоги до теплотехнічних показників та критерії теплових відмов огороджувальних конструкцій (пункти 5.1...5.5, таблиці 1, 2, 3);
- принципи розрахунку теплових показників огороджувальних конструкцій (пункти 5.6...5.11);

- класи енергетичної ефективності будівель, конструкцій і теплоізоляційних матеріалів та їх визначення (розділ 6);
- вимоги до відображення енергоефективності будівель та конструкцій у складі проектної документації (розділ 7);
- карта температурних зон України (додаток А);
- нормовані параметри мікроклімату будівель (додаток Б);
- форма представлення зведених теплових характеристик будівлі (додаток В).

ДСТУ 9191:2022 Теплоізоляція будівель. Метод вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель [3] містить конкретні методики та довідкові дані для виконання теплотехнічних розрахунків огорожувальних конструкцій:

- сфера застосування норм (розділ 1);
- терміни та визначення понять (розділ 3);
- загальні положення (розділ 4);
- методи розрахунку приведенного опору теплопередачі (розділ 5);
- теплофізичні характеристики будівельних матеріалів (додаток А);
- довідкові дані для розрахунків: коефіцієнти тепловіддачі – додаток Б, тепловий опір замкнутих повітряних прошарків – додаток В, лінійні та точкові коефіцієнти теплопередачі вузлів огорожень – додатки Г, Д).

ДСТУ-Н Б В.1.1–27:2010. «Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівельна кліматологія» [4] містить довідкові дані, необхідні для проектування теплоізоляційної оболонки та аналізу енергетичної ефективності будівель. При аналізі енергоефективності будівель найчастіше використовуються такі дані:

- сфера та принципи застосування норм (розділ 1);
- терміни та визначення понять (розділ 3);
- архітектурно-будівельне кліматичне районування України (розділ 4);
- дані по температурі зовнішнього повітря (розділ 5);
- характеристики вітрового режиму (розділ 6);
- характеристики сонячної радіації (розділ 7);
- дані про вологість повітря (розділ 9).

Окрім перелічених нормативних документів, при проектуванні будівель використовуються також інші ДБН і ДСТУ, посилання на які наведені в розглянутих нормах.

У процесі вивчення рекомендованих основоположних нормативних документів доцільно скласти короткий конспект, якій міг би слугувати «ключем-путівником» для пошуку необхідної інформації при виконанні завдань наступних практичних занять, а також при виконанні теплотехнічних розрахунків, при проектуванні огорожувальних конструкцій та оцінюванні енергетичної ефективності будівель.

Рекомендовано звернути увагу на наступні терміни та визначення понять:

Розрахунковий строк експлуатації. Період часу, для якого виконуються розрахунки надійності об'єкта і після впливу якого можливість його подальшої експлуатації визначається за результатами обстеження технічного стану.

Надійність об'єкта. Властивість об'єкта виконувати задані функції протягом розрахункового строку експлуатації.

Огороджувальні конструкції. Будівельні конструкції, що забезпечують збереження енергії для опалення та/або охолодження приміщень, захист від кліматичних впливів, поділення будівлі на частини або приміщення з різними температурними та вологісними умовами експлуатації

Теплоізоляційна оболонка будівлі. Система, яка складається з огорожувальних конструкцій опалюваного (кондиціонованого) об'єму будівлі, що забезпечує збереження енергії для опалення та/або охолодження приміщень

Теплостійкість приміщень. Властивість конструкцій приміщення зберігати нормовану стабільність температури при коливаннях температури навколишнього середовища та теплової енергії на опалення

Приведений опір теплопередачі. Фізична величина, що характеризує усереднену за площею густину теплового потоку через фрагмент огорожувальної конструкції будівлі за стаціонарних умов теплопередачі, яка чисельно дорівнює відношенню перепаду температури по різні боки огорожувальної конструкції до осередненої за площею фрагмента густини теплового потоку через даний фрагмент конструкції за стаціонарних умов теплопередачі.

Практичне заняття №2

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЕЛЬ

Мета заняття: Детальніше ознайомитися з нормативними документами, які регулюють вимоги до теплотехнічних параметрів житлових та громадських будівель.

Завдання та зміст роботи. Необхідно ознайомитися з послідовністю виконання теплотехнічного розрахунку згідно нормативних документів.

Теплотехнічний розрахунок – першочерговий документ для вирішення завдання теплопостачання будівлі. Його виконують, щоб підібрати товщину та матеріал огорожувальних конструкцій та привести житлові чи громадські будівлі у відповідність до норм теплового захисту. Сфера застосування, терміни та визначення понять, послідовність розрахунку та розрахункові формули нормуються згідно ДБН В.2.6-31:2021 Теплова ізоляція та енергоефективність будівель [2]. Критерієм, за яким оцінюється енергетична ефективність житлових або громадських будівель в цілому чи їх відокремлених частин (за умови їх автономності) є виконання умови:

$$EP_{use} \leq EP_p, \quad (2.1)$$

де EP_{use} – річне розрахункове або фактичне значення загального показника питомого енергоспоживання будівлі при опаленні та охолодженні;

EP_p – граничне значення питомого енергоспоживання при опаленні та охолодженні житлових ($\text{кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2$) та громадських ($\text{кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^3$) будівель, що наведене у додатку до Наказу Мінрегіону [5] залежно від призначення будівлі, її поверховості або показника компактності, температурної зони експлуатації, яка визначається згідно з додатком А [2].

Розрахункове значення EP_{use} , $\text{кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2$ ($\text{кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^3$), визначають за наступними формулами.

Для житлових будівель та готелів:

$$EP_{use} = \frac{QH_{use} + QC_{use}}{A_f}, \quad (2.2)$$

для громадських будівель:

$$EP_{use} = \frac{QH_{use} + QC_{use}}{V}, \quad (2.3)$$

де $Q_{H,use}$, $Q_{C,use}$ – річне енергоспоживання будівлі при опаленні та охолодженні, відповідно, кВт·год, що визначається згідно з ДСТУ 9190:2022 [6];

A_f , V – кондиціонована (опалювана) площа для житлової будівлі, м², та кондиціонований (опалюваний) об'єм для громадської будівлі (або її частини), м³.

Фактичне значення EP_{use} , кВт·год/м² (кВт·год/м³), визначають згідно з ДСТУ Б В.2.2-39 [7], ДСТУ EN ISO 52000-1.

Клас енергетичної ефективності будівлі розраховується за загальним показником питомого енергоспоживання при опаленні та охолодженні EP_{use} згідно з формулою (51) та таблицею 1 Методики [8].

Якщо брати не будівлю в цілому, а окремі її елементи, то при реконструкції чи капітальному ремонті необхідною умовою є наступне співвідношення:

$$R_{\Sigma pr} \geq R_{q min}, \quad (2.4)$$

де $R_{\Sigma pr}$ – приведений опір теплопередачі огорожувальної конструкції, м²·К/Вт;

$R_{q min}$ – мінімально допустиме значення опору теплопередачі, м²·К/Вт.

Методика розрахунку приведенного опору теплопередачі та визначення необхідної товщини утеплювача регламентується розділом 5 ДСТУ 9191:2022 «Теплоізоляція будівель. Метод вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель» [3].

Мінімально допустимі значення приведенного опору теплопередачі непрозорих огорожувальних конструкцій встановлюють згідно табл. 1 ДБН В.2.6-31:2021 «Теплова ізоляція та енергоефективність будівель» [2], яка має такий вигляд:

Таблиця 2.1. Мінімально допустимі значення опору теплопередачі

№	Вид огорожувальної конструкції	Значення R_{qmin} , м ² ·К/Вт, для температурної зони	
		I	II
1	Зовнішні стінові огорожувальні конструкції	4,00	3,50
2	Суміщені покриття, що межують із зовнішнім повітрям	7,00	6,00
3	Покриття опалюваних горищ (технічних поверхів), мансард, горищні перекриття неопалюваних горищ	6,00	5,50
4	Перекриття, що межують із зовнішнім повітрям, та над неопалюваними підвалами	5,00	4,00
5	Світлопрозорі огорожувальні конструкції	0,90	0,70
6	Зенітні ліхтарі	0,80	0,70
7	Зовнішні двері	0,70	0,60

Температурна зона визначається згідно додатку А ДБН [2] та наведена на малюнку 2.1.



Малюнок 2.1. Карта-схема температурних зон України

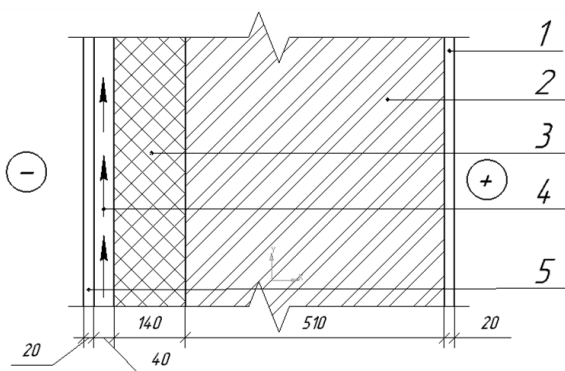
ТЕПЛОТЕХНІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ОГОРОДЖУВАЛЬНОЇ КОНСТРУКЦІЇ

Мета заняття: Детальніше ознайомитися з послідовністю розрахунку та визначення теплотехнічних параметрів житлових та громадських будівель. Виконати теплотехнічний розрахунок огорожувальної конструкції згідно заданого варіанту даних.

Завдання та зміст роботи. Необхідно ознайомитися з послідовністю виконання теплотехнічного розрахунку згідно нормативних документів при реконструкції та капітальному ремонті огорожувальних конструкцій.

Приведений опір теплопередачі – фізична величина, що характеризує усереднену за площею густину теплового потоку через фрагмент огорожувальної конструкції будівлі за стаціонарних умов теплопередачі. Вона чисельно дорівнює відношенню перепаду температури по різні боки огорожувальної конструкції до осередненої за площею фрагмента густини теплового потоку через даний фрагмент конструкції за стаціонарних умов теплопередачі.

Аналіз вихідних даних



Умова: Для кліматичних умов міста

Кропивницький запроектувати зовнішню огорожувальну конструкцію будівлі заданого типу.

Будівля: громадська.

-внутрішня температура за [2]: 20 °С

-відносна вологість внутрішнього повітря: 50%

Тип конструкції: - стіна

- 1-Розчин цементно-перлітовий;
- 2-керамічна цегла;
- 3-утеплювач;
- 4-вентильований повітряний прошарок;
- 5- фактурно-ізоляційний шар.

Утеплювач: - плити мінераловатні 30 кг/м³

Послідовність розрахунку:

1. Аналізуємо вихідні дані та згідно ДСТУ 9191:2022. Теплоізоляція будівель. Метод вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель [3] (додаток А, таблиця А.1) створюємо таблицю зі значеннями теплофізичних характеристик

Таблиця 3.1. Значення розрахункових теплофізичних характеристик

Номер	Назва	густина ρ_0 , кг/м ³	Товщина d_i , м	теплопровідність, λ_p , Вт/(м×К)
1	Розчин цементно-перлітовий	800	0,02	0,23
2	Кладка з цегли керамічної порожнистої густиною 1400 кг/м ³ (брутто) на цементно-піщаному розчині	1600	0,51	0,64
3	Плити з мінеральної вати на основі базальтового волокна	75		0,047
4	Вентильований повітряний прошарок	0	0,04	0
5	Фактурно-ізоляційний шар	600	0,02	0,17

Згідно ДБН В.2.6-31:2021, розрахункова температура внутрішнього повітря складає $t_v=20^{\circ}\text{C}$, відносна вологість внутрішнього повітря – 50% (пункт «Інші громадські заклади»). Мінімально допустиме значення, $R_{q\ min}$, опору теплопередачі непрозорих огорожувальних конструкцій, світлопрозорих огорожувальних конструкцій, дверей та воріт промислових будинків встановлюється згідно з табл. 1 [2] залежно від температурної зони експлуатації будинку, що приймається за додатком А [2] (прийнято І температурну зону) і тепловологісного режиму внутрішнього середовища, що визначають за додатком Б.3 (прийнято нормальний режим).

Опір теплопередачі термічно однорідної непрозорої огорожувальної конструкції розраховується за формулою:

$$R_{\Sigma} = \frac{1}{h_{si}} + \sum_{i=1}^n R_i + \frac{1}{h_{se}} = \frac{1}{h_{si}} + \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{\lambda_{ip}} + \frac{1}{h_{se}} \quad (3.1)$$

де h_{si} , h_{se} – коефіцієнти теплообміну внутрішньої і зовнішньої поверхонь огорожувальної конструкції, Вт/(м² · К), які приймають згідно з додатком Б ДСТУ 9191:2022 [3]. (прийнято $h_{si}=8,7$; $h_{se}=12$)

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

d_i – товщина i -го шару конструкції, м;

λ_{ip} – теплопровідність матеріалу i -го шару конструкції за розрахункових умов експлуатації (розрахункова теплопровідність), Вт/(м · К), приймають згідно з додатком А ДСТУ 9191:2022 [3].

Приймаємо $R_{\Sigma} = R_{q \min} = 4,0$ м²К/Вт

$$4,0 = \frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,23} + \frac{0,51}{0,64} + \frac{x}{0,048} + 0 + \frac{1}{12}$$

Звідки:

$$x = \left(4,0 - \frac{1}{8,7} - \frac{0,02}{0,23} - \frac{0,51}{0,64} - \frac{1}{12} \right) * 0,047 = 0,137 \text{ м}$$

Найближчий уніфікований розмір утеплювача = 0,14 м = 140 мм

Реальний опір теплопередачі такої конструкції складатиме:

$$R_{\Sigma} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,23} + \frac{0,51}{0,64} + \frac{0,14}{0,047} + 0 + \frac{1}{12} = \frac{4,06 \text{ м}^2\text{К}}{\text{Вт}},$$

що більше за $R_{q \min}$ 4,0 м²К/Вт

Розрахунок конструкції на теплостійкість

Згідно [9] визначаємо теплову інерцію огорожувальної конструкції:

$$D = \sum_{i=1}^n R_i s_{ip} \quad (3.2)$$

де R_i – термічний опір i -го шару конструкції;

n – кількість шарів в конструкції за напрямком теплового потоку.

s_{ip} – коефіцієнт теплотасвоєння матеріалу i -го шару конструкції в розрахункових умовах експлуатації, Вт/(м² · К), що приймають згідно з додатками К (Умови експлуатації – Б) та додатком Л (дані наведено у таблиці 2)

Таблиця 3.2. Значення розрахункових теплофізичних характеристик

№	Назва	Товщина d_i , м	теплопро- відність, λ_p , Вт/(м К)	Термічний опір, R	Коефіцієнт тепло- засвоєння, s	Теплова інерція, D
1	Розчин цементно-перлітовий	0,02	0,23	0,08	4,51	0,36
2	Кладка з цегли керамічної порожнистої густиною 1400 кг/м ³ (брутто) на цементно-піщаному розчині	0,51	0,64	0,80	8,48	6,78
3	Плити з мінеральної вати на основі базальтового волокна	0,14	0,047	2,98	0,48	1,43
4	Вентильований повітряний прошарок	0,04	0	0,00	0,00	0,00
5	Фактурно-ізоляційний шар	0,02	0,17	0,12	3,06	0,37

Визначаємо загальну теплову інерцію конструкції.

$$D = \sum R_i \times s_{i,p} = 0,36 + 6,78 + 1,43 + 0 = 8,57$$

Згідно п. 5.8 [2]: Теплостійкість огорожувальних конструкцій у літній період року дозволяється не перевіряти за таких умов:

- якщо середня температура зовнішнього повітря найбільш жаркого місяця менше ніж 21 °С;
- якщо зовнішня стіна, що розглядається, має теплову інерцію більше ніж 4;
- якщо покриття, що розглядається, має теплову інерцію більше ніж 5;
- якщо використовуються конструкції фасадної теплоізоляції з вентильованим повітряним прошарком.

Для міста Кропивницький:

середня температура зовнішнього повітря найбільш жаркого місяця в ДСТУ В.1.1-27:2010. Будівельна кліматологія [11]:

Кропивницький (Кіровоград)													
Показник	Січ	Лют	Бер	Кві	Тра	Чер	Лип	Сер	Вер	Жов	Лис	Гру	Рік
Середня температура, °С	-4,9	-3,9	0,8	9,1	15,2	18,6	20,4	19,7	14,7	8,2	2,1	-2,6	8,1

Максимальна температура спостерігається у липні і становить $20,4^{\circ}\text{C} < 21^{\circ}\text{C}$ згідно ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 [11].

Теплова інерція стіни становить $D = 8,57 > 4$, а також використовуються конструкції фасадної теплоізоляції з вентильованим повітряним прошарком, отже розрахунок на теплостійкість у літніх умовах можна не виконувати.

**ВИЗНАЧЕННЯ ВТРАТ ТЕПЛА
ЧЕРЕЗ ОГОРОДЖУВАЛЬНУ КОНСТРУКЦІЮ**

Мета заняття: засвоїти методику визначення втрат тепла через огорожувальні конструкції з урахуванням мікрокліматичних параметрів приміщення та розрахункових параметрів температури повітря в районі експлуатації будівлі.

Завдання та зміст роботи. За відомими теплофізичними залежностями визначити втрати тепла протягом опалювального періоду через стіну та покрівлю будівлі певного призначення, яка експлуатується в заданих кліматичних умовах.

Теоретичне обґрунтування роботи. Основою розрахунків є загальна формула будівельної теплотехніки, яка дозволяє визначити кількість тепла, переданого через пласку конструкцію з опором теплопередачі R_0 при стаціонарному тепловому режимі:

$$Q = \frac{\Theta_{int} - \Theta_{ext}}{R_{\Sigma}} \times F \times t \text{ (Вт)}, \quad (4.1)$$

де Θ_{int} і Θ_{ext} – температури внутрішнього і зовнішнього повітря;

F – площа ділянки огородження, що розглядається;

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

Час t , протягом якого відбувається теплопередача, дорівнює тривалості опалювального періоду. Сезонні та випадкові зміни температури зовнішнього повітря адекватно враховуються кількістю градусо-днів опалювального періоду $G_{оп}$, яка визначається за формулою:

$$G_{оп} = (\Theta_{int} - \Theta_{оп}) \times t_{оп}, \quad (4.2)$$

де Θ_{int} – температура внутрішнього повітря в приміщенні за таблицею Б.2

ДБН В.2.6-31:2021 [2];

$\Theta_{оп}$ – середня температура опалювального періоду за таблицею 2

ДСТУ-Н Б В.1.1–27:2010 [4];

$t_{оп}$ – тривалість опалювального періоду за таблицею 2

ДСТУ-Н Б В.1.1–27:2010 [4].

Перетворення (4.1) з урахуванням (4.2) та перетворенням розмірностей (1 ват = 859,845 калорій/годину) дає формулу для визначення втрат тепла (у кілокалоріях) через один квадратний метр огорожувальної конструкції з відомим опором теплопередачі R_{Σ} ($\text{м}^2 \times \text{С}$)/Вт протягом опалювального періоду тривалістю $t_{оп}$ (діб):

$$Q_c = 20,6 \frac{G_{оп}}{R_{0c}}. \quad (4.3)$$

Втрати тепла (у кілокалоріях) протягом опалювального періоду через один квадратний метр вікна з відомим опором теплопередачі $R_{0в}$ ($\text{м}^2 \times \text{С}$)/Вт визначаються за аналогічною формулою:

$$Q_b = 20,6 \frac{G_{оп}}{R_{0b}}. \quad (4.4)$$

Наявність і відносна площа вікон задається коефіцієнтом скління K_c , який дорівнює відношенню площі вікон до загальної площі огороження. При відсутності вікон $K_c = 0$, а для суцільного вітражу $K_c = 1$. Сумарні приведені втрати тепла протягом одного опалювального сезону через один квадратний метр частково заскленої стіни чи покриття з зенітними вікнами дорівнюють

$$Q = 20,6 \times G_{оп} \left[\frac{K_c}{R_{0b}} + \frac{(1 - K_c)}{R_{0c}} \right] (\text{Ккал}). \quad (4.5)$$

Таким чином, для визначення річних страт тепла через огорожувальну конструкцію необхідно задати значення опорів теплопередачі стіни та вікон, географічний район будівництва та призначення приміщення.

Розв'язання задачі здійснюється в такому порядку:

1. За заданим призначенням будівлі з таблиці Б.2 ДБН В.2.6-31:2021 [2] визначається температура внутрішнього повітря в приміщенні θ_{int} .

2. За заданим районом експлуатації з таблиці 2 ДСТУ-Н Б В.1.1–27:2010 [4] визначається тривалість $t_{оп}$ і середня температура $\theta_{оп}$ опалювального періоду (період з середньодобовою температурою повітря меншою за $+8^\circ\text{С}$).

3. За формулою (4.2) обчислюється кількість градусо-днів опалювального періоду $G_{оп}$ в заданому районі будівництва.

4. За проєктними даними, результатами натурних обмірів чи за завданням встановлюється величина коефіцієнта скління K_c .

5. За завданням чи за результатами розрахунку з практичного заняття № 2 визначається опір теплопередачі стіни чи покрівлі R_{0c} .

6. За формулою (4.3) обчислюються річні втрати тепла через 1 м² суцільної (непрозорої) ділянки стіни чи покрівлі Q_c .

7. За завданням чи з таблиці 1 ДБН В.2.6-31:2021 [2] визначається приведений опір теплопередачі світлопрозорої конструкції (вікон) і за формулою (4.4) обчислюються річні втрати тепла через 1 м² вікна.

8. За формулою (4.5) обчислюються приведені річні втрати тепла через 1 м² стіни чи покрівлі з урахуванням наявного скління.

9. За додатковим завданням викладача за формулою (4.3) обчислюються річні втрати тепла через 1 м² суцільної (непрозорої) ділянки стіни чи покрівлі для значень опору теплопередачі в межах даних таблиці 1 ДБН В.2.6-31:2021 [2], тобто $R_{0c} = 3, 4, 5, 6, 7$ (м²×С)/Вт, будується графік залежності річних втрат тепла від опору теплопередачі огородження і робиться висновок щодо доцільності використання поліпленої теплоізоляції.

10. За додатковим завданням викладача визначити фактичні втрати тепла в момент проведення занять. Для цього необхідно за допомогою термометра виміряти температури зовнішнього Θ_{ext} і внутрішнього повітря Θ_{int} , а потім обчислити втрати тепла через 1 м² протягом однієї години за формулою

$$Q = 0,860 \times \frac{\Theta_{int} - \Theta_{ext}}{R_{\Sigma}} \text{ (Ккал)}, \quad (4.6)$$

де R_{Σ} – фактичний опір теплопередачі стіни;

множник 0,860 забезпечує перетворення ват у кілокалорії за годину.

АНАЛІЗ ТЕПЛОВИХ ВІДМОВ ЗА КРИТЕРІЯМИ КОМФОРТНОСТІ ТА УТВОРЕННЯ КОНДЕНСАТУ

Мета заняття: вивчити методику перевірки огорожувальних конструкцій будівель на комфортність перебування поблизу огороження та можливість утворення конденсату в зоні теплопровідного включення.

Завдання та зміст роботи. Для будівлі заданого призначення виконати перевірку різниці між температурою внутрішнього повітря і приведеною температурою внутрішньої поверхні стіни чи покрівлі, а також перевірку можливості утворення конденсату на внутрішній поверхні огорожувальної конструкції в заданій зоні теплопровідного включення.

Порядок розв'язання поставленого завдання визначається вказівками розділу 5 ДБН В.2.6-31:2021 [2] і додатка К ДСТУ 9191:2022 [3]. Розрахунки рекомендується виконувати в такій послідовності:

1. За індивідуальним завданням та результатами практичного заняття № 2 встановити такі дані:

- призначення приміщення та розрахункові значення температури θ_{int} й відносної вологості внутрішнього повітря (за таблицею Б.2 ДБН В.2.6-31 [2]);
- район будівництва, температурну зону за картою з додатка А та відповідне йому розрахункове значення температури зовнішнього повітря θ_{ext} за таблицею Б.4 ДБН В.2.6-31:2021 [2];

2. Визначити температуру внутрішньої поверхні однорідної непрозорої огорожувальної конструкції за формулою (К.3) ДСТУ 9191:2022 [3]:

$$\theta_{\text{si,H,i}} = \theta_{\text{int}} - \frac{\theta_{\text{int}} - \theta_{\text{ext}}}{R_{\Sigma, \text{np,H}} \times h_{\text{si}}}, \quad (5.1)$$

де θ_{int} – розрахункове значення температури внутрішнього повітря в приміщенні за таблицею Б.2 ДБН В.2.6-31:2021 [2];

θ_{ext} – розрахункове значення температури зовнішнього повітря за таблицею Б.4 ДБН В.2.6-31:2021 [2];

$R_{\Sigma, \text{np,H}}$ – опір теплопередачі огорожувальної конструкції;

h_{si} – коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні огороження, Вт/(м² · К).

3. Обчислити різницю температур внутрішнього повітря та внутрішньої поверхні стіни за формулою:

$$\Delta\theta_{\text{int-si}} = \theta_{\text{int}} - \theta_{\text{si,пр,Н}}, \quad (5.2)$$

перевірити виконання граничної нерівності (5) з ДБН В.2.6-31:2021 [2] з урахуванням допустимої за санітарно-гігієнічними вимогами різниці температур $\Delta\theta_{\text{int-si,max}}$ з таблиці 3 ДБН В.2.6-31:2021 [2] та зробити висновок щодо можливості нормальної експлуатації огородження.

4. За допомогою термометра й пірометра виміряти температури зовнішнього θ_{ext} та внутрішнього повітря θ_{int} , а також температуру внутрішньої поверхні стіни $\theta_{\text{si,Н}}$.

5. Повторити обчислення за пунктом 2 з урахуванням фактично виміряних температур зовнішнього θ_{ext} та внутрішнього повітря θ_{int} , а також фактичного опору теплопередачі дослідженої стіни $R_{\Sigma,Н}$.

6. За допомогою пірометра виміряти температуру внутрішньої поверхні стіни $\theta_{\text{si,Н}}$, порівняти її зі значенням, обчисленим у пункті 2, та зробити висновок щодо відповідності результатів розрахунку та вимірювання.

7. За допомогою пірометра виміряти температуру внутрішньої поверхні віконного укосу в місці примикання віконного блоку $\theta_{\text{si,Н}}$, або взяти готове значення цієї температури із завдання.

8. Обчислити умовний опір теплопередачі при виміряних значеннях температури зовнішнього та внутрішнього повітря, а також внутрішньої поверхні віконного укосу за формулою:

$$R_{ef} = \frac{\theta_{\text{int}} - \theta_{\text{ext}}}{h_{\text{si}}(\theta_{\text{int}} - \theta_{\text{si,Н}})} \quad (5.3)$$

де θ_{int} – виміряна в пункті 4 температура внутрішнього повітря;

θ_{ext} – виміряна в пункті 4 температура зовнішнього повітря;

$\theta_{\text{si,Н}}$ – виміряна в пункті 7 температура укосу;

h_{si} – коефіцієнт внутрішньої тепловіддачі.

9. За формулою (5.1) обчислити температуру внутрішньої поверхні віконного укосу при розрахункових значеннях температури зовнішнього θ_{ext} та внутрішнього повітря θ_{int} , встановлених у пункті 2 за ДБН [2]. Замість опору теплопередачі $R_{\Sigma,пр,Н}$ до формули (5.1) слід підставити умовне значення R_{ef} (5.3).

10. За встановленими у пункті 1 розрахунковими значеннями температури θ_{int} й відносної вологості внутрішнього повітря в приміщенні визначити температуру точки роси за таблицею 5.1.

11. Порівнявши значення температури укусу з пункту 9 і температури точки роси з пункту 10, зробити висновок щодо виконання граничної нерівності (5) з ДБН В.2.6-31:2021 [2] та можливості утворення конденсату в місці примикання віконного блоку до стіни.

12. За допомогою датчика виміряти температуру й вологість повітря в приміщенні, визначити за таблицею 5.1 фактичну температуру точки роси.

13. Порівняти фактичне значення точки роси з пункту 12 з розрахованим за пунктом 9 та з виміряним у пункті 7 значеннями температури віконного укусу та зробити висновок щодо можливості утворення конденсату при розрахунковій та при фактичній температурі зовнішнього повітря.

Таблиця 5.1. Температури точки роси

Температура повітря	Температура точки роси при відносній вологості повітря (%)													
	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%
+10°C	-6,7	-5,2	-3,2	-1,7	-0,3	0,8	2,2	3,2	4,4	5,5	6,4	7,3	8,2	9,1
+11°C	-6	-4	-2,4	-0,9	0,5	1,8	3	4,2	5,3	6,3	7,4	8,3	9,2	10,1
+12°C	-4,9	-3,3	-1,6	-0,1	1,6	2,8	4,1	5,2	6,3	7,5	8,6	9,5	10,4	11,7
+13°C	-4,3	-2,5	-0,7	0,7	2,2	3,6	5,2	6,4	7,5	8,4	9,5	10,5	11,5	12,3
+14°C	-3,7	-1,7	0	1,5	3	4,5	5,8	7	8,2	9,3	10,3	11,2	12,1	13,1
+15°C	-2,9	-1	0,8	2,4	4	5,5	6,7	8	9,2	10,2	11,2	12,2	13,1	14,1
+16°C	-2,1	-0,1	1,5	3,2	5	6,3	7,6	9	10,2	11,3	12,2	13,2	14,2	15,1
+17°C	-1,3	0,6	2,5	4,3	5,9	7,2	8,8	10	11,2	12,2	13,5	14,3	15,2	16,6
+18°C	-0,5	1,5	3,2	5,3	6,8	8,2	9,6	11	12,2	13,2	14,2	15,3	16,2	17,1
+19°C	0,3	2,2	4,2	6	7,7	9,2	10,5	11,7	13	14,2	15,2	16,3	17,2	18,1
+20°C	1	3,1	5,2	7	8,7	10,2	11,5	12,8	14	15,2	16,2	17,2	18,1	19,1
+21°C	1,8	4	6	7,9	9,5	11,1	12,4	13,5	15	16,2	17,2	18,1	19,1	20
+22°C	2,5	5	6,9	8,8	10,5	11,9	13,5	14,8	16	17	18	19	20	21
+23°C	3,5	5,7	7,8	9,8	11,5	12,9	14,3	15,7	16,9	18,1	19,1	20	21	22
+24°C	4,3	6,7	8,8	10,8	12,3	13,8	15,3	16,5	17,8	19	20,1	21,1	22	23
+25°C	5,2	7,5	9,7	11,5	13,1	14,7	16,2	17,5	18,8	20	21,1	22,1	23	24
+26°C	6	8,5	10,6	12,4	14,2	15,8	17,2	18,5	19,8	21	22,2	23,1	24,1	25,1
+27°C	6,9	9,5	11,4	13,3	15,2	16,5	18,1	19,5	20,7	21,9	23,1	24,1	25	26,1
+28°C	7,7	10,2	12,2	14,2	16	17,5	19	20,5	21,7	22,8	24	25,1	26,1	27
+29°C	8,7	11,1	13,1	15,1	16,8	18,5	19,9	21,3	22,5	22,8	25	26	27	28
+30°C	9,5	11,8	13,9	16	17,7	19,7	21,3	22,5	23,8	25	26,1	27,1	28,1	29

ОЦІНКА ТЕПЛОВОЛОГІСНОГО РЕЖИМУ ОГОРОДЖУВАЛЬНОЇ КОНСТРУКЦІЇ

Мета заняття: Детальніше ознайомитися з нормативними документами, які регулюють вимоги до тепловологісних параметрів житлових та громадських будівель. Виконати тепловологісний розрахунок огороджувальної конструкції згідно обраного варіанта.

Завдання та зміст роботи. Необхідно ознайомитися з послідовністю виконання тепловологісного розрахунку згідно нормативних документів.

Одношарові конструкції – конструкції, що складаються з одного основного шару конструкційних матеріалів (цегла, бетони тощо) та можливим опорядженням тонкошаровими штукатурками товщиною до 10 мм.

Багатошарові конструкції – конструкції, що складаються з двох та більше шарів матеріалів.

Для зовнішніх огороджувальних конструкцій опалюваних будинків обов'язкове виконання умови:

$$\Delta w \leq \Delta w_d \quad (1)$$

де Δw збільшення вологості матеріалу у товщі шару конструкції, в якому може відбуватися конденсація води, за холодний період року, % за масою;

Δw_d - допустиме за теплоізоляційними характеристиками збільшення вологості матеріалу, в шарі якого може відбуватися конденсація води, % за масою, що встановлюється залежно від виду матеріалу.

Значення розрахункових тепловологісних характеристик, необхідних для розрахунку, наведені у таблиці 6.1:

Таблиця 6.1. Значення розрахункових тепловологісних характеристик

Номер	Назва	Товщина d_i , м	теплопровідність, λ_p , Вт/(м×К)	Паропроник- ність δ , (мг/(м×год×Па))	Опір паропроникності, R_E	Термічний опір, R
1	Розчин цементно-перлітовий	0,02	0,23	0,17	0,118	0,08
2	Кладка з цегли керамічної порожнистої густиною 1400 кг/м ³ (брутто) на цементно-піщаному розчині	0,51	0,64	0,14	3,643	0,80
3	Плити з мінеральної вати на основі базальтового волокна	0,14	0,047	0,50	0,28	2,979
4	Вентильований повітряний прошарок	0,04	0	0	0	0
5	Фактурно-ізоляційний шар	0,02	0,17	0,07		
Σ					4,041	3,859

Знаходимо значення парціального тиску водяної пари згідно ДСТУ-Н Б В.2.6-192:2013 [10]:

$$e_g = 0,01 \phi_g E_g,$$

e_v – парціальний тиск водяної пари внутрішнього повітря, Па, що визначається за розрахунковим значенням відносної вологості, ϕ_v (50%), і значенням парціального тиску насиченої водяної пари, $E_v=2064,6$ що залежить від температури.

$$e_g = 0,01 \phi_g E_g, \quad e_v = 0,01 * 50 * 2064,6 = 1032,3 \text{ Па}$$

Знаходимо значення парціального тиску зовнішнього повітря, прийнявши в розрахунок дані для найхолоднішого місяця – січня згідно [4].

$$t_3 = -4,9 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\phi_3 = 86 \%$$

Температура / $^\circ\text{C}$	-100	-90	-80	-70	-60	-50	-40	-30	-20	-10	0
Тиск / Па	0.0014	0.0097	0.055	0.261	1.080	3.94	12.84	38.00	103.2	259.9	611.2

Інтерполяцією визначаємо, що при температурі $-4,9 \text{ }^\circ\text{C}$ $E_3 = 430$

$$e_3 = 0,01 * 86 * 430 = 370 \text{ Па}$$

Знаходимо значення парціальних тисків у перерізі огорожі на кордонах внутрішніх шарів за формулою:

$$e(x) = e_{\epsilon} - \frac{e_{\epsilon} - e_3}{R_{e \Sigma}} R_{ex}$$

1) В площині між шарами 1 та 2

$$e_{1-2} = 1032 - \frac{1032 - 370}{4,04} * 0,118 = 1013 \text{ Па}$$

2) Між шарами 2 та 3

$$e_{2-3} = 1032 - \frac{1032 - 370}{4,04} * (0,118 + 3,643) = 416 \text{ Па}$$

3) Між шарами 3 та 4

$$e_{3-4} = 1032 - \frac{1032 - 370}{4,04} * (0,118 + 3,643 + 0,28) = 370 \text{ Па}$$

4) Між шарами 4 та 5

$$e_{4-5} = 1032 - \frac{1032 - 370}{4,04} * (0,118 + 3,643 + 0,28 + 0) = 370 \text{ Па}$$

Знаходимо температуру перерізу на зазначених кордонах внутрішніх шарів.

$$t(x) = t_{\epsilon} - \frac{t_{\epsilon} - t_{3e}}{R_{\Sigma}} \left(\frac{1}{\alpha_{\epsilon}} + R_x \right)$$

$$t_1 = 20 - \frac{20 + 4,9}{3,86} * \left(\frac{1}{8,7} \right) = 19,26 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$t_{1-2} = 20 - \frac{20 + 4,9}{3,86} * \left(\frac{1}{8,7} + 0,08 \right) = 18,74 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$t_{2-3} = 20 - \frac{20 + 4,9}{3,86} * \left(\frac{1}{8,7} + 0,08 + 0,8 \right) = 13,58 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$t_{3-4} = 20 - \frac{20 + 4,9}{3,86} * \left(\frac{1}{8,7} + 0,08 + 0,8 + 2,98 \right) = -5,64 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$t_{4-5} = 20 - \frac{20 + 4,9}{3,86} * \left(\frac{1}{8,7} + 0,08 + 0,8 + 2,98 + 0 \right) = -5,64 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$t_5 = 20 - \frac{20 + 4,9}{3,86} * \left(\frac{1}{8,7} + 0,08 + 0,8 + 2,98 + 0 \right) = -5,64 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

За таблицею знаходимо за обчисленими температурами значення парціальних тисків насиченої водяної пари на кордонах шарів за допомогою інтерполяції.

Температура / $^{\circ}\text{C}$	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18
0	0.6112	0.7060	0.8135	0.9353	1.0729	1.2281	1.4027	1.5989	1.8187	2.0646
20	2.3392	2.6452	2.9857	3.3638	3.7809	4.2452	4.7582	5.3240	5.9472	6.6324
40	7.3848	8.2096	9.1126	10.100	11.117	12.352	13.632	15.023	16.534	18.173
60	19.948	21.869	23.946	26.188	28.605	31.210	34.013	37.010	40.240	43.704
80	47.416	51.388	55.636	60.174	65.018	70.183	75.685	81.542	87.771	94.390
100	101.42	108.87	116.78	125.15	134.01	143.38	153.28	163.74	174.77	186.41

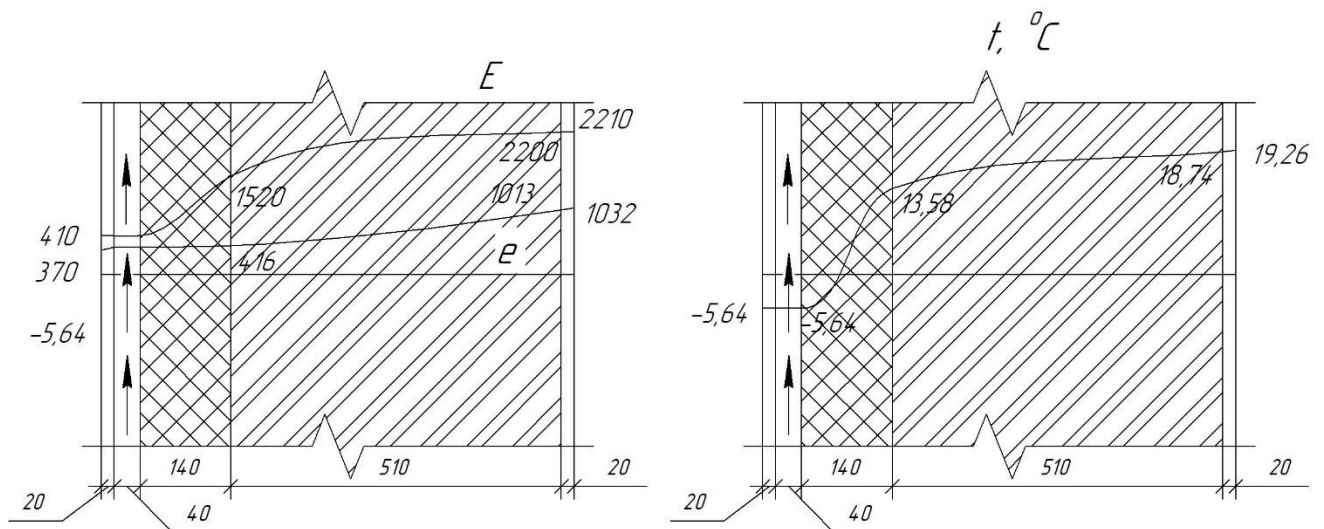
$$\begin{aligned}
E_1 &= 2210 \text{ Па} \\
E_{1-2} &= 2200 \text{ Па} \\
E_{2-3} &= 1520 \text{ Па} \\
E_{3-4} &= 410 \text{ Па} \\
E_{4-5} &= 410 \text{ Па}
\end{aligned}$$

Оцінюємо можливість конденсації на кордонах шарів

$$\begin{aligned}
E_{1-2} = 2200 \text{ Па} &> e_{1-2} = 1013 \text{ Па} \\
E_{2-3} = 1520 \text{ Па} &> e_{2-3} = 416 \text{ Па} \\
E_{3-4} = 410 \text{ Па} &> e_{3-4} = 370 \text{ Па} \\
E_{4-5} = 410 \text{ Па} &> e_{4-5} = 370 \text{ Па}
\end{aligned}$$

Отже, конденсація вологи не наступає, кількість вологи, що конденсується, не розраховуємо.

Графіки розподілу температури та парціального тиску



РОЗРАХУНОК ОСУШУВАЛЬНОЇ ВЕНТИЛЯЦІЇ ТА ОПОРУ ПОВІТРОПРОНИКНОСТІ ОГОРОДЖУВАЛЬНОЇ КОНСТРУКЦІЇ

Мета заняття: Ознайомитися з принципами розрахунку осушувальної вентиляції та з нормативними документами, які регулюють вимоги до повітропроникності огороджувальних конструкцій. Виконати розрахунок огороджувальної конструкції на повітропроникність.

Завдання та зміст роботи. Необхідно ознайомитися з принципами розрахунку осушувальної вентиляції та послідовністю виконання розрахунку на повітропроникність згідно нормативних документів.

Вентильоване покриття – плоске або скатне покриття з вентиляційною системою.

Покриття, що експлуатується – плоске суміщене покриття для руху пішоходів і/або транспорту.

Вентиляційна (осушувальна) система – система повітряних прошарків, продуктів, каналів і флюгарок, яка забезпечує відведення з товщі суміщеного покриття водяної пари.

Вентиляційні отвори – система отворів у стінах і на покритті горища, яка забезпечує необхідну роботу припливно-витяжної вентиляції горищного простору.

Вирішальним заходом для запобігання конденсації вологи в огороджувальних конструкціях є влаштування в них повітряного прошарку, продуктів і каналів над поверхнею і в товщі теплоізоляційного шару при забезпеченні їх вентиляції зовнішнім повітрям. Відсутність конденсації водяної пари у товщі огороджувальної конструкції може бути забезпечена у випадку, коли різниця між кількістю пари, що надходить у повітряний прошарок через частину конструкції зсередини, і кількістю пари, яка може видалятися назовні, буде дорівнювати або бути меншою тієї кількості пари, видалення якої забезпечує вентиляція прошарку, продуктів і каналів [12]. Забезпечення цієї умови виражається розрахунковою залежністю (7.1)

$$\frac{e_e - e_{np}}{\sum R_0^1} - \frac{e_{np} - e_3^{xol}}{\sum R_0^2} \leq m, \quad (7.1)$$

де e_e – пружність водяної пари внутрішнього повітря (Па) при розрахунковій температурі і вологості цього повітря;

e_3^{xol} – середня величина пружності пари зовнішнього повітря (гПа) в холодний період року, обчислюється на основі вихідних даних за формулою (7.2)

$$e_3^{xol} = \sum e^{xol} / N_{xol}, \quad (7.2)$$

$\sum e^{xol}$ – сума середніх величин пружності пари зовнішнього повітря всіх місяців, які мають середню температуру меншу ніж -5°C ;

N_{xol} – кількість місяців, які мають середню температуру меншу ніж -5°C ;

e_{np} – пружність водяної пари (гПа) в повітряному прошарку, продухах і каналах, визначається з наступного рівняння регресії для холодного періоду

$$e_{np} = a \cdot e_3^{xol} + b, \quad (7.3)$$

де a – числові значення коефіцієнтів, які відповідають тій чи іншій схемі вентиляції суміщених дахів; приймаються за табл. 13 [4];

$\sum R_0^1$ – сума опорів паропроникненню ($\text{м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{гПа} / \text{мг}$) шарів покриття, які знаходяться нижче повітряного прошарку; обчислюються за формулою (7.1);

$\sum R_0^2$ – сума опорів паропроникненню ($\text{м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{гПа} / \text{мг}$) шарів покриття які знаходяться вище повітряного прошарку; визначаються за формулою (7.1);

m – кількість вологи ($\text{г} / \text{м}^2 \cdot \text{год}$), яка видаляється з товщі 1 м^2 суміщеного покриття з повітрям вентиляційної системи; визначається за формулою (7.4)

$$m = \frac{Q}{S} (f_e - f_{np}) k, \quad (7.4)$$

де f_e, f_{np} – відповідно, абсолютна вологість повітря ($\text{г} / \text{м}^3$) в приміщеннях під покриттям та повітряного прошарку в товщі покриття; визначаються за формулами (7.5) та (7.6)

$$f_e = 1,058 e_e / (1 + \frac{t_e}{273}), \quad (7.5)$$

$$f_{np} = 1,058 e_e / (1 + \frac{t_3 + 1}{273}), \quad (7.6)$$

t_3 – середня температура зовнішнього повітря ($^\circ\text{C}$) в холодний період року;

k – знижувальний коефіцієнт, який враховує здатність утеплювача накопичувати і віддавати вологу;

S – площа поверхні покриття будівлі (м^2);

Q – кількість повітря, яке проходить через вентиляційну систему за добу ($\text{м}^3/\text{год}$); визначається за формулою:

$$Q = 3600(v_{\text{ши}}\delta_{\text{ши}}l + v_{\text{нд}}F_{\text{нд}} + v_{\text{кан}}F_{\text{кан}}), \quad (7.7)$$

де $v_{\text{ши}}, v_{\text{нд}}, v_{\text{кан}}$ – середня швидкість руху повітря в прошарку, продухах і каналах ($\text{м}/\text{сек}$); приймається за табл. 13 [4] в залежності від вибраної схеми вентиляційної системи;

$\delta_{\text{ши}}$ – товщина повітряного прошарку (м);

l – загальна довжина крайки повітряного прошарку (м), яка з'єднується з зовнішнім повітрям (вздовж примикань і карнизів);

$F_{\text{нд}}$ – сумарна площа поперечного перерізу всіх продухів і флюгарок (м^2);

$F_{\text{кан}}$ – сумарна площа поперечного перерізу всіх продухів і флюгарок (м^2).

Виконання нерівності (7.1) залежить від вибору схеми вентиляційної системи, до якої найчастіше включаються повітряний прошарок, продухи, канали та інші елементи. Тому остаточну схему вентиляційної системи підбирають методом послідовних наближень до повного виконання умови (7.1).

Елементами вентиляційних систем слід призначати (по мірі ускладнення): повітряний прошарок над шаром теплоізоляції; компенсатори з осушувальними патрубками; продухи з карнизними і рядовими флюгарками; канали з магістральними флюгарками.

Вентиляційні продухи і канали слід передбачати тільки в товщі негорючих теплоізоляційних матеріалів. Мінімальна межа вогнестійкості покрівельного килима при цьому повинна складати не менше ніж 0,5 год за мінімальної межі розповсюдження вогню, котра наближається до нуля.

На покриттях зі схилом до 10%, при наклеюванні покрівельного килима на поверхню вирівнювальних стяжок, основним і обов'язковим елементом вентиляційної системи повинен бути повітряний прошарок. Він розміщується під покрівельним килимом і сполучається із зовнішнім повітрям через свою відкриту крайку по периметру покриття. При переході від нормального до мокрого

вологісного режиму експлуатації приміщень під покриттям вентиляційна система з повітряним прошарком доповнюється продухами і каналами у товщі теплоізоляційного шару.

На покриттях зі схилом понад 10%, а також при наклеюванні покрівельного килима безпосередньо на поверхню теплоізоляційного шару, застосування повітряного прошарку виключається. Основними елементами вентиляційних систем у таких випадках повинні бути повітряні продухи і канали у товщі теплоізоляційного шару, з'єднані з зовнішнім повітрям через систему флюгарок.

Для створення повітряного прошарку слід передбачати локальне (точкове чи смугове) приклеювання покрівельного килима до основи. Такі приклеювання повинні бути рівномірними та складати: крапкове 5% і смугасте 25% загальної площі покрівельного килима на схилах менше 2,5% та відповідно 10 і 30 % на схилах більше 2,5% і менше 5%; на схилах більше 5% і менше 10% – відповідно 15% і 35%; при крапковому локальному закріпленні слід передбачати наклеювання покрівельного килима через підкладку з перфорованого руберойду.

Трикутні компенсатори в поєднанні з повітряними прошарками передбачають розрізку всієї товщі покрівельного килима під компенсатором. Це зумовлює наступне їх застосування: безпосередньо на поверхні покрівлі вздовж основних схилів покриття – в складі однопрогонових покриттів, незалежно від кута їх нахилу; тільки вздовж поперечних і поздовжніх гребенів водорозділів – у складі плоских (зі схилом до 10%) багатопрогонових покриттів; тільки вздовж поперечних гребенів водорозділів – в складі похилих багатопрогонових покриттів (зі схилом 10% і більше).

Для сполучення порожнин компенсатора з зовнішнім повітрям слід передбачати застосування осушувальних патрубків із оцинкованої покрівельної сталі або пластмаси з екрануючим захистом вихідного отвору.

Вентиляційні продухи слід передбачити завширшки 20 мм і глибиною, рівною товщині теплоізоляційного шару. При їх ширині до 20 мм утеплення дна продуху не потрібне. Утворення продухів забезпечується: розкладанням на покритті плит теплоізоляційного шару з утворенням між ними повітряних проміжків шириною 20 мм (такі пази у вигляді чітко окреслених ліній розрізають теплоізоляційний шар і через задану відстань повторюються вздовж схилу

покриття); формуванням у товщі монолітного тепло-ізоляційного шару брусків-вкладишів завтовшки 20 мм з подальшим їх демонтажем після завершення процесу тужавіння матеріалу монолітного утеплювача; закладанням у товщу насипного утеплювача гнутого П-подібного профілю завширшки 20 мм із перфорованої оцинкованої покрівельної сталі.

Вентиляційні канали слід передбачати в товщі теплоізоляційного шару суміщених покриттів багатопверхових будинків, а саме: на плоских покриттях (зі схилом до 10%) вздовж поперечних і поздовжніх гребенів водорозділів; на похилих покриттях (зі схилом 10% і більше) – тільки вздовж поперечних гребенів водорозділів. Канали повинні бути шириною 60-100 мм на всю товщину теплоізоляційного шару. Обов'язкове утеплення дна каналу здійснюється вкладишем у вигляді смуги із мінеральної вати товщиною 20 мм. Канал повинен перекриватися накладками з оцинкованої покрівельної сталі або листової пластмаси.

Для сполучення продуків і каналів із зовнішнім повітрям слід передбачити застосування прикарнизних, рядових та магістральних флюгарок із оцинкованої покрівельної сталі чи пластмаси з екрануючим захистом вихідного отвору.

Розрахунок на повітропроникнення

Для огорожувальних конструкцій опалюваних будинків обов'язковим є виконання умови (згідно з [13]):

$$R_g \geq R_{gн}$$

де R_g – опір повітропроникності огорожувальної конструкції, $\text{м}^2 \cdot \text{год Па/кг}$;

$R_{gн}$ – необхідний опір повітропроникності, $\text{м}^2 \cdot \text{год Па/кг}$.

Для непрозорих огорожувальних конструкцій необхідний опір повітропроникності на i -му поверсі, для якого виконується розрахунок, визначається за формулою:

$$R_{gн} = \frac{\Delta p}{G_{н}}$$

де Δp – розрахункова різниця тисків, Па, визначається за додатком Т [13];

$G_{н}$ – допустима повітропроникність огорожувальної конструкції, що встановлюється згідно табл. 7 [13] залежно від виду огорожувальної конструкції:

Вид огорожувальної конструкції	Значення G_n
Зовнішні непрозорі конструкції житлових і громадських будинків	0,5 кг/(м ² · год)

Розрахункова різниця тисків, Δp , Па, визначається за формулою:

$$\Delta p = (H - h_i) (\gamma_z - \gamma_v) + 0,03 \gamma_z v^2 \beta_v$$

де H - висота будинку (від рівня підлоги першого поверху до верху витяжної шахти), м (приймаємо 10 м);

h_i – висота в метрах від рівня підлоги першого поверху до середини огорожувальної конструкції i -го поверху, для якого проводиться розрахунок (оскільки обрано громадську будівлю, то приймаємо, що вона має два поверхи). Тоді, віднявши половину висоти конструкцій перекриття (300 мм) матимемо $h_i=4,7$ м)

γ_z, γ_v – питома вага відповідно зовнішнього та внутрішнього повітря, Н/м³, що розраховується за формулами:

$$\gamma_z = 3463 / (273 + t_z) = 3463 / (273 - 22) = 13,8 \text{ Н/м}^3$$

$$\gamma_v = 3463 / (273 + t_v) = 3463 / (273 + 20) = 11,8 \text{ Н/м}^3$$

де t_z – розрахункове значення температури зовнішнього повітря, що приймається залежно від температурної зони за додатком Б.4 [2] (для I температурної зони прийнято мінус 22 °С);

t_v - розрахункове значення температури внутрішнього повітря, °С, визначається згідно таблиці Б.2 [2], приймаємо рівним 20 °С;

v - максимальна із середніх швидкостей вітру за румбами за січень, м/с, повторюваність яких складає 16 % та більше, прийнята згідно з ДСТУ В.1.1-27:2010 [4] (прийнято вітер північно-західного напрямку з повторюваністю 17,8% та швидкістю 4,2 м/с)

β_v – коефіцієнт, що враховує зміну швидкості повітря за висотою будівлі, який приймається згідно з табл. Т.1

Висота будівлі, h_i , м	Коефіцієнт β_v залежно від характеристики місцевості		
	А	В	С
10	1,00	0,65	0,40

Для м. Кропивницький прийнято місцевість А - відкрите узбережжя моря, озера, водосховища, поле. Визначаємо, що у нашому випадку на висоті 10 м коефіцієнт $\beta_v = 1$.

Розрахункова різниця тисків складатиме

$$\Delta p = (10 - 4,7) * (13,8 - 11,8) + 0,03 * 13,8 * 4,2^2 * 1,00 = 22,67 \text{ Па}$$

Необхідний опір повітропроникності на 1-му поверсі, для якого виконується розрахунок становитиме:

$$R_{gH} = \frac{\Delta p}{G_H} = \frac{22,67}{0,5} = 45,34 \text{ м}^2 \text{ год Па/кг}$$

Опір повітропроникності непрозорих огорожувальних конструкцій розраховується за формулою:

$$R_{g\text{нк}} = \sum_{i=1}^N R_{g_i}$$

де R_{g_i} - опір повітропроникності і-го шару конструкції, $\text{м}^2 \text{ год Па/кг}$, що приймається згідно з табл.Т.2;

N – кількість шарів у конструкції

Обрано такі шари:

Матеріали та конструкції	Товщина шару, мм	Опір повітропроникності, R_g , $\text{м}^2 \text{ год Па/кг}$
Штукатурка вапняна по кам'яному або цегляному муруванню	15	142
Цегляне мурування із суцільної цегли на цементно-піщаному розчині завтовшки в одну цеглину та більше	250 та більше	18
Штукатурка на цементно-піщаному розчині по кам'яному або цегляному муруванню	15	373

Отже, $R_{g\text{нк}} = 142 + 373 + 18 = 533$, що більше за $R_{gH} = 45,34 \text{ м}^2 \text{ год Па/кг}$.

СТРУКТУРА ТА МЕТОДИКА СКЛАДАННЯ РОЗДІЛУ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЛІ

Мета заняття: Ознайомитися зі структурою та порядком складання розділу з енергоефективності будівель.

Завдання та зміст роботи. Необхідно ознайомитися з нормативними документами, що регулюють вимоги до складання розділу енергоефективності будівлі.

Складання розділу з енергоефективності регулюється ДБН В.2.6-31:2021 «Теплова ізоляція та енергоефективність будівель» [2]. Він складається з наступних основних розділів:

1. Загальні характеристики (додаток В.1 [2]).
2. Теплотехнічні характеристики (додаток В.2 [2]).
3. Характеристики інженерних систем (додаток В.3 [2]).
4. Енергетичні характеристики (додаток В.4 [2]).

У розрахунку враховуються усі зовнішні огорожувальні конструкції, а саме: зовнішні стіни, покриття, перекриття над проїздами чи неопалювальними підвалами, під еркерами, світлопрозорі огорожувальні конструкції, zenітні ліхтарі та двері. Також враховується наявність і енергетичні характеристики інженерних систем (системи опалення, системи гарячого водопостачання, системи охолодження, системи вентиляції та кондиціонування, системи освітлення).

Необхідні характеристики, що враховуються при складанні розділу з енергоефективності, наведені нижче згідно з додатком В ДБН В.2.6-31:2021:

В.1 Загальні характеристики

Призначення будівлі (відповідно до таблиці 1 Методики [2])	
Призначення будівлі (згідно з ДСТУ XXXX)	
Загальна площа, м ²	
Загальний об'єм, м ³	
Кондиціонована (опалювана) площа, м ²	
Кондиціонований (опалюваний) об'єм, м ³	
Об'єм для вентиляції, м ³	
Кількість поверхів	
Рік введення в експлуатацію	
Тип зовнішніх огорожувальних конструкцій	
Температурна зона	
Архітектурно-будівельний кліматичний район	
Вологісний режим приміщень	
Тип ґрунту	
Тип місцевості	
Середня висота приміщення, м	
Внутрішня теплоємність, Вт·год/(м ² ·К)	
Наявність приміщень з різним функціональним призначенням у складі будівлі, їх характеристики (за зонами):	
- кондиціонована (опалювана) площа, м ²	
- кондиціонований (опалюваний) об'єм, м ³	
- об'єм для вентиляції, м ³	
Показник компактності будівлі, м ⁻¹	
Кількість під'їздів або входів	
Графік опалення, год/тиждень	
Графік охолодження, год/тиждень	
Задана температура зони будівлі для опалення, °С	
Задана температура зони будівлі для охолодження, °С	
Температура чергового режиму опалення, °С	
Температура чергового режиму охолодження, °С	

В.2 Теплотехнічні характеристики

Вид огорожувальної конструкції теплоізоляційної оболонки	Приведений опір теплопередачі огорожувальної конструкції $\text{м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$		Площа $A, \text{м}^2$
	значення	мінімальні вимоги	
Зовнішні стіни, з них:	х	х	
- що межують із зовнішнім повітрям			
- що межують із некондиціонованим об'ємом		х	
- що межують із суміжними будівлями		х	
Покриття, з них:	х	х	
- суміщені			
- опалюваних горищ			
- технічних поверхів			
- мансард			
Перекриття, з них:	х	х	
- неопалюваних горищ			
- над проїздами під еркерами			
- над неопалюваними підвалами			
Конструкції, що межують з ґрунтом:			
- підлоги по ґрунту		х	
- стіни цокольного поверху		х	
- перекриття над техпідпіллям		х	
Світлопрозорі огорожувальні конструкції, з них:		х	
- вікна			
- вікна і балконні двері			
- вітражі			
- світлопрозорі фасади			
- світлопрозорі зовнішні двері			
- в місцях загального користування*			
Зенітні ліхтарі			
Зовнішні двері			
*Для багатоквартирних житлових будинків			

В.3 Характеристики інженерних систем

Система опалення
Клас ефективності системи АМУБ згідно з ДСТУ EN 15232-1
Тип та опис системи (джерело енергії, теплоносій, розведення трубопроводів)
Регулювання температури у системі
Регулювання витрати у системі
Циркуляція теплоносія у системі
Тип опалювальних приладів
Регулювання температури приміщення
Гідравлічне налагоджування (балансування) системи
Теплова ізоляція трубопроводів в неопалюваних приміщеннях
Облік споживання теплової енергії
Система гарячого водопостачання
Клас ефективності системи АМУБ згідно з ДСТУ EN 15232-1
Тип та опис системи (джерело енергії, розведення трубопроводів, забезпечення циркуляцією)
Циркуляція теплоносія у системі
Регулювання витрати у системі
Гідравлічне налагоджування (балансування) системи
Облік споживання гарячої води
Система охолодження
Клас ефективності системи АМУБ згідно з ДСТУ EN 15232-1
Тип та опис системи (джерело енергії, теплоносій, розведення трубопроводів)
Регулювання температури у системі
Регулювання витрати у системі
Циркуляція теплоносія у системі
Тип приладів тепловіддачі
Регулювання температури приміщення
Гідравлічне налагоджування (балансування) системи
Теплова ізоляція трубопроводів
Облік споживання енергії системами охолодження
Система вентиляції та кондиціонування
Клас ефективності системи АМУБ згідно з ДСТУ EN 15232-1
Тип та опис систем
Утилізація теплоти повітря, що видаляється
Попередній підігрів припливного повітря
Попереднє охолодження припливного повітря

Продовження В.3

Зволоження та осушення припливного повітря
Регулювання температури повітря у системі
Регулювання витрати повітря у системі
Регулювання температури повітря у приміщеннях
Регулювання витрати повітря у приміщеннях
Облік споживання енергії системами (електрична, теплова)
Системи освітлення
Клас ефективності системи АМУБ згідно з ДСТУ EN 15232-1
Тип та опис системи (зони будівлі з різними параметрами, прилади освітлення, питома встановлена потужність освітлення)
Регулювання систем (рівень освітленості, період використання)
Аварійне освітлення
Облік споживання електричної енергії
Технічне управління будівлею
Клас ефективності системи АМУБ згідно з ДСТУ EN 15232-1

В.4 Енергетичні характеристики

Показник	Одиниця виміру	Значення	Мінімальні вимоги
Річне сумарне споживання енергії, в т.ч.:	тис. кВт·год		
	кВт·год/м² [кВт·год/м³]		
Річне енергоспоживання систем опалення	тис. кВт·год		
	кВт·год/м² [кВт·год/м³]		
Річне енергоспоживання систем гарячого водопостачання	тис. кВт·год		
	кВт·год/м² [кВт·год/м³]		
Річне енергоспоживання систем охолодження	тис. кВт·год		
	кВт·год/м² [кВт·год/м³]		
Річне енергоспоживання систем вентиляції	тис. кВт·год		
	кВт·год/м² [кВт·год/м³]		
Річне енергоспоживання систем освітлення	тис. кВт·год		
	кВт·год/м² [кВт·год/м³]		
Річна сумарна енергопотреба в т.ч.:	тис. кВт·год		
	кВт·год/м² [кВт·год/м³]		
- в опаленні	тис. кВт·год		
	кВт·год/м² [кВт·год/м³]		
- в охолодженні	тис. кВт·год		
	кВт·год/м² [кВт·год/м³]		
- в гарячому водопостачанні	тис. кВт·год		
	кВт·год/м² [кВт·год/м³]		
Річне споживання первинної енергії	тис. кВт·год		
	кВт·год/м² [кВт·год/м³]		
Річні викиди парникових газів	т		
	кг/м² [кг/м³]		
Загальний показник питомого енергоспоживання при опаленні та охолодженні	кВт·год/м² [кВт·год/м³]		
Клас енергетичної ефективності при опаленні та охолодженні			
Висновки за результатами оцінки енергетичних показників будівлі			
Рекомендації щодо підвищення енергетичної ефективності будівлі			

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. ДБН В.1.2-14:2018. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд. Київ, Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2018 – 30 с. Режим доступу:
https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3074210282076112430?doc_type=2
2. ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. Київ, Міністерство розвитку громад та територій України, 2022 – 23 с. Режим доступу:
https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3075196638495507996?doc_type=2
3. ДСТУ 9191:2022. Теплоізоляція будівель. Метод вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель. ДП «УкрНДНЦ», 2023. – 60 с. Режим доступу:
<https://eurobud.ua/wp-content/uploads/2023/05/dstu-9191-2022-teploizolyacziya-budivel-metod-vyboru-teploizolyaczijnogo-materialu-dlya-uteplennya-budivel.pdf>
4. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівельна кліматологія. Київ, Мінрегіонбуд України, 2011. – 123 с. Режим доступу:
https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu_b_v_1_1_27_2010/5-1-0-929
5. Наказ Міністерства розвитку громад та територій України від 27 жовтня 2020 року № 260 "Про затвердження мінімальних вимог до енергетичної ефективності будівель", зареєстровано в Міністерстві юстиції України від 18 грудня 2020 р. за № 1257/35540. Режим доступу:
<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1257-20#Text>
6. ДСТУ 9190:2022. Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання під час опалення, охолодження, вентиляції, освітлення та гарячого водопостачання. ДП «УкрНДНЦ», 2022. – 132 с.
7. ДСТУ Б В.2.2-39:2016. Методи та етапи проведення енергетичного аудиту будівель. Київ, Мінрегіон України, 2016. – 47 с. Режим доступу:
https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu_b_v_2_2_39_2016_metodi_ta_etapi_provedennja_energetichnogo_auditu_budivel/5-1-0-1754

8. Наказ Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України від 11 липня 2018 року № 169 "Про затвердження Методики визначення енергетичної ефективності будівель", зареєстровано в Міністерстві юстиції України від 16 липня 2018 р. за № 822/32274. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0822-18#Text>
9. ДСТУ-Н Б В.2.6-190:2013. Настанова з розрахункової оцінки показників теплостійкості та теплосасвоєння огорожувальних конструкцій. Київ, Мінрегіон України, 2014. – 48 с.
10. ДСТУ-Н Б В.2.6-192:2013. Настанова з розрахункової оцінки тепловологісного стану огорожувальних конструкцій. Київ, Мінрегіон України, 2014. – 37 с. Режим доступу: https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu_n_b_v_2_6_192/5-1-0-1165
11. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Київ, Мінрегіон України, 2011. – 123 с. Режим доступу: https://drive.google.com/file/d/0B6R-P_LwCRN-ZG11NjAyN2hwSkE/view?resourcekey=0-niW1ImpoFLBsOn3xJ-4gUQ
12. ДБН В.2.6-220:2017. Покриття будівель і споруд. Київ, Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2017. – 53 с. Режим доступу: https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3075022912814581025?doc_type=2
13. ДСТУ-Н Б В.2.6-191:2013. Настанова з розрахункової оцінки повітропроникності огорожувальних конструкцій. Київ: Мінрегіон України, 2014. – 10 с.

Навчально-методичне видання

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ БУДІВЕЛЬ

**Методичні рекомендації з вивчення дисципліни та виконання
практичних робіт для студентів спеціальності
192 – Будівництво та цивільна інженерія усіх форм навчання**

Електронне видання

Укладачі: к.т.н., доцент М.В. Пашинський,
к.т.н., професор В.А. Настоящий

© ЦНТУ, Кропивницький, пр. Університетський, 8
© Пашинський М.В., Настоящий В.А.