

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені Володимира Даля

КАФЕДРА БУДІВНИЦТВА, УРБАНІСТИКИ ТА ПРОСТОРОВОГО
ПЛАНУВАННЯ



МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичних занять та самостійної роботи з дисципліни

«ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ТА ЕКОСИСТЕМА МІСТ»

(для здобувачів вищої освіти спеціальності

G19 «Будівництво та цивільна інженерія»)

(Електронне видання)

ЗАТВЕРДЖЕНО

на засіданні кафедри будівництва,
урбаністики та просторового
планування

Протокол № 10 від 19.05.2026 р.

Київ – 2026

Методичні вказівки до практичних занять та самостійної роботи з дисципліни «Енергоефективність та екосистема міст» (для здобувачів вищої освіти спеціальності G19 «Будівництво та цивільна інженерія» усіх форм навчання) (Електронне видання) / Уклад.: Г.О. Татарченко, М.В. Білошицький, Н.І. Білошицька, З.С. Татарченко. – Київ: вид-во СНУ ім. В. Даля, 2026. – 75 с.

Методичні вказівки до практичних занять спрямовані на вивчення і засвоєння студентами практичних навичок з дисципліни «Енергоефективність та екосистема міст», з метою закріплення науково-теоретичних знань і практичних навиків з визначення проблем, резервів та напрямків, і створення комфортного середовища на урбанізованих територіях з урахуванням природно-кліматичних чинників, закономірностей створення штучного середовища і забезпечення його рівноваги з природним середовищем, засвоєння основних сучасних концепцій та технологічних підходів до реорганізації індустріальних напрямів діяльності, спрямованих на зменшення забруднення і збереження природних ресурсів на локальному, регіональному та глобальному рівнях. Ознайомлення студентів з принципами і методами вирішення екологічних проблем пов'язаних зі стрімким розвитком міст. У наведених практичних роботах представлено тему, мету роботи і завдання, наприкінці методичних вказівок наведено список необхідної літератури.

Укладачі:

Г.О. Татарченко, д.т.н., проф.
М.В. Білошицький, к.т.н., доц.
Н.І. Білошицька, к.т.н., доц.
З.С. Татарченко, ст.викл.

Рецензент:

П.Є. Уваров, к.т.н., доц.

Зміст

ВСТУП.....	4
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 1	
Планування ділянок території та визначення їх відкритості з урахуванням екосистеми міст	9
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 2	
Еколого-географічне районування території міст згідно умов техногенного навантаження	13
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 3	
Дослідження та оцінювання ступеню забрудненості атмосферного повітря вихлопними газами автотранспорту біля фасадів жилих будинків	18
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 4	
Розрахунок енергетичного та економічного ефекту від термомодернізації	25
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 5	
Будова і функціонування геліосистем. Розрахунок геліосистем	36
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 6	
Енергія вітру. Розрахунок вітрогенератора.....	50
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	58
ДОДАТКИ.....	59
ДОДАТКИ до ПЗ 4.....	59
ДОДАТКИ до ПЗ 5.....	72

ВСТУП

Інтенсивний розвиток науки дав поштовх до активації процесів урбанізації. Цей процес характеризується стрімким зростанням міського населення, розширенням міст та формуванням приміської зони для господарської діяльності. У свою чергу, це мало позитивні та негативні наслідки за рахунок збільшення кількості автомобілів і одиниць міського транспорту, споживання ресурсів та захвату територій.

Відношення між містами, селищами, сільськими населеними пунктами і навколишнім природним середовищем є дуже складним і характеризується комплексністю і неоднорідністю. Його складові – це біотичні і абіотичні компоненти, що відрізняються фізично (газоподібні, рідкі, тверді), згідно хімічного складу, інтенсивності обміну речовиною і енергією, різноманіттям зв'язків. Штучне міське середовище також має складний характер і володіє власними прямими і зворотними зв'язками, що є характерними для складної соціально-економічної багаторівневої територіальної системи.

Таким чином у містобудуванні необхідно більш комплексно розглядати систему екологічних факторів та встановити чіткі правила взаємозв'язку економічних відносин і природокористування. Містобудування і екологія тісно пов'язані між собою і направлені на створення сприятливих умов життєдіяльності людей. Впровадження екологічних основ у процес містобудування дало поштовх до розвитку такої галузі науки, як урбоекологія.

Урбоекологія – це наукова дисципліна, що досліджує особливості взаємодії міст та їх систем з навколишнім природним середовищем.

При вивченні дисципліни «Енергоефективність та екосистема міст» відповідно до освітньої програми «Будівництво та цивільна інженерія» другого (магістерського) освітнього рівня вищої освіти повинні бути сформовані програмні компетентності та програмні результати навчання, а здобувачі повинні частково або повною мірою набути компетентностей:

ІК (інтегральна компетентність). Здатність розв'язувати складні спеціалізовані та науково-практичні задачі під час професійної діяльності в сфері будівництва та цивільної інженерії, що передбачає застосування певних теорій та методів відповідної науки і характеризується комплексністю та невизначеністю умов.

Загальні компетентності:

ЗК01. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.

Спеціальні (фахові, предметні компетентності):

СК06. Здатність самостійно обирати раціональні методи, матеріали та технології будівництва при комплексному врахуванні наявної ресурсної бази, фізико-механічних та теплотехнічних характеристик матеріалів, а також їх питомої енергоємності та вуглецевого сліду.

СК11. Здатність застосовувати професійно-профільовані знання й практичні навички для розв'язання не типових задач спеціальності, а також до вибору і використання нестандартних технічних засобів для їх виконання.

Уміння магістра визначаються за видами навчальної діяльності як конкретизація загальних і професійних компетентностей в програмах навчальних дисциплін, практик, індивідуальних завдань і застосовуються як критерії відбору необхідних і достатніх знань (змістовних модулів), які можна ідентифікувати, кількісно оцінити та виміряти. В результаті вивчення дисципліни «Енергоефективність та екосистема міст» здобувач вищої освіти отримає наступні програмні результати навчання:

РН01. Проектувати будівлі і споруди у міському та промисловому середовищі, в тому числі з використанням програмних систем комп'ютерного проектування, з метою забезпечення їх надійності та довговічності, прийняття раціональних проектних та технічних рішень, техніко-економічного обґрунтування, враховуючи особливості об'єкта будівництва, визначення оптимального режиму його функціонування та впровадження заходів з ресурсо- та енергозбереження.

РН06. Підбирати сучасні матеріали, технології і методи виконання процесу будівельного виробництва, враховуючи архітектурно-планувальну, конструктивну частину проекту та базу будівельної організації.

РН09. Здатність розв'язувати проблеми будівництва та цивільної інженерії у нових або незнайомих середовищах за наявності неповної або обмеженої інформації з урахуванням аспектів соціальної та етичної відповідальності.

РН10. Застосовувати спеціалізовані концептуальні знання, що включають сучасні наукові здобутки, а також критичне осмислення сучасних проблем в галузі будівництва та цивільної інженерії для розв'язування складних задач професійної діяльності.

РН17. Планувати та виконувати наукові і прикладні дослідження в галузі будівництва та цивільної інженерії, обирати ефективні методики досліджень, аргументувати висновки, презентувати результати досліджень.

За результатами вивчення дисципліни «Енергоефективність та екосистема міст» здобувачі вищої освіти повинні набути:

знання

- основні принципи функціонування міських екосистем та сучасних підходів до сталого розвитку міст;
- нормативно-правову базу України та ЄС у сфері енергоефективності, ресурсозбереження та будівництва;
- сучасні методи та технології енергоефективного будівництва і модернізації будівель;
- особливості використання традиційних та відновлюваних джерел енергії;
- принципи декарбонізації та інтелектуалізації енергетичних систем і міської інфраструктури;
- методи оцінювання енергоефективності будівель, проведення енергоаудиту та аналізу тепловтрат;
- сучасні програмні засоби комп'ютерного проєктування та моделювання в будівництві;

- основи планування та проведення наукових і прикладних досліджень у сфері будівництва та цивільної інженерії.

вміння:

- аналізувати енергетичний стан будівель та визначати шляхи підвищення їх енергоефективності;
- обґрунтовувати вибір сучасних матеріалів, технологій та інженерних рішень з урахуванням їх енергоємності та вуглецевого сліду;
- застосовувати принципи ресурсо- та енергозбереження при проектуванні будівель і споруд;
- використовувати сучасні програмні комплекси для розрахунку та моделювання енергоефективних рішень;
- оцінювати ефективність використання відновлюваних джерел енергії у будівлях та міській інфраструктурі;
- розв'язувати професійні задачі у сфері будівництва та цивільної інженерії в умовах неповної або обмеженої інформації;
- виконувати енергоаудит будівель та формувати рекомендації щодо впровадження енергоефективних заходів;
- планувати та проводити наукові й прикладні дослідження, аналізувати результати та обґрунтовувати висновки.

навички:

- застосування сучасних енергоефективних технологій у будівництві та ЖКГ;
- використання інструментів енергетичного аналізу та оцінювання енергоефективності;
- роботи з нормативною та технічною документацією у сфері енергозбереження;
- підбору енергоефективних матеріалів та інженерних систем;
- використання цифрових технологій і програмних засобів у професійній діяльності;
- підготовки технічних рішень та рекомендацій щодо модернізації будівель;

- проведення досліджень, підготовки звітів та презентації результатів професійної діяльності.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 1

ПЛАНУВАННЯ ДІЛЯНОК ТЕРИТОРІЙ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ЇХ ВІДКРИТОСТІ З УРАХУВАННЯМ ЕКОСИСТЕМИ МІСТ

Мета роботи:

Проаналізувати планування ділянки учбового закладу та житлового будинку відповідно санітарно-гігієнічних норм забудови.

Ознайомитись з методикою визначення головного показника ландшафтного оцінювання структури природно-територіального комплексу

Теоретичні відомості

Кожна територія має свої екологічні умови. Залежно від об'єкту, розташованого на окремій ділянці території (учбовий заклад, лікарня, промислове підприємство, житловий масив тощо), до екологічних умов навколишнього середовища висувають різні вимоги.

Від місцезнаходження ділянки житлового будинку, учбового закладу, дитячого садка залежить самопочуття, працездатність, настроїв людей, які там перебувають.

Прикладом об'єкта з високими вимогами до якості довкілля є учбовий заклад. Оскільки учбові заклади розташовані у центрі міста, поблизу поживлених автомагістралей чи промислових підприємств, дуже важливо правильно спланувати їх територію, щоб зменшити вплив негативних чинників і створити сприятливий мікроклімат.

Аналізуючи структуру природно-територіального комплексу (ПТК), слід відмітити, що основним показником його ландшафтного оцінювання є самі елементи ПТК, і у першу чергу – відкритість, яка є часткою незабудованої та не заощеної території у межах міста. Відкритість у місті є важливим фактором у естетичному (полягає у забезпеченні сприятливої забудови території), санітарно-гігієнічному (пов'язане з природною здатністю до самоочищення території),

гідрокліматичному та еколого-гідрогеохімічному оцінюванні (полягає у самоочищенні повітряного, ґрунтового-рослинного і водного простору середовища) територій.

Таким чином, урбоекосистеми характеризуються: ступенем відкритості забудови, відкритістю просторів. Відкриті місця зайняті деревами, кущами, трав'янистою рослинністю, водними об'єктами, а подекуди і відкритою земною поверхнею.

Відкритість території міста можна охарактеризувати наступним чином:

- > 50% – висока;
- 40...50% – нормальна;
- 25...40% – низька;
- < 25% – дуже низька.

Завдання:

1. Скласти карти мікрорайонів (де розташований учбовий заклад та житловий будинок) з близько розташованими будинками, промисловими підприємствами, гаражами, автостоянками, скверами, озерами тощо.

2. Визначити відстані від учбового закладу (житлового будинку) до найближчих об'єктів.

3. Скласти карту ділянки навколо учбового закладу, зазначивши розташування приміщень учбового закладу, господарських будівель, спортивної зони. Результати вимірювань заносять у табл. 1.1.

4. Після вимірювання проаналізувати планування ділянки навчального закладу (житлового будинку) на відповідність санітарно-гігієнічним нормам. У разі порушення норм внести пропозиції щодо шляхів покращення даної екологічної ситуації.

Таблиця 1.1.

Санітарно-гігієнічні норми при забудові

Проведені вимірювання	Одержані результати, м		Відстань згідно санітарно-гігієнічних норм не менше, м
	Учбовий заклад	Житловий будинок	
Відстань до промислових підприємств, магазинів, підприємств побуту			50
Відстань до житлових будинків			10
Відстань до стоянки автомобілів (50-100 од.): – від фасадів житлових будинків з вікнами – від навчальних закладів, зон відпочинку, лікарень			25
			50
Відстань до автостради			25

5. Дати характеристику території району міста (наявність зелених насаджень, присутність на території водойм, водосховищ, річок). Кожний здобувач вищої освіти аналізує свій район проживання у рідному місті.

6. Визначити площі визначених складових ландшафтної структури.

7. Розрахувати, який відсоток від загальної площі займають ці елементи.

8. Порівняти отримані результати зі шкалою відкритості та зробити необхідні висновки, щодо характеристики відкритості території.

9. Розрахунки занести до табл. 1.2.

Таблиця 1.2.

Характеристика відкритості території

Складова території	Площа, га	% від загальної території	Показник відкритості, %	Характеристика відкритості
Зелені насадження				
Водні об'єкти	—			
Житлова забудова				
Промислові підприємства				
Загалом				

11. Під час обговорення результатів порівняти дані різних районів міста та інших населених пунктів, що розраховували іногородні студенти. Зробити висновки щодо забудованості окремих територій обласного центру на інших населених пунктів.

Контрольні питання:

1. Дайте визначення поняттям «урбосистема» та «урбоекосистема».
2. Виділіть головні ознаки міста.
3. Наведіть класифікацію міст України за кількістю мешканців.
4. Дайте визначення поняття «урбанізація». Що таке показник урбанізованості країни чи регіону?
5. Дайте визначення поняття «навколишнє середовище міста».
6. Поділ міського середовища.
7. Типи міст України за характером виконуваних функцій.
8. Як поділяють міста за ступенем складності структури народногосподарського комплексу?
9. Навести і пояснити просту формулу системи «місто».
10. Навести та пояснити складну формулу системи «місто».
11. Навести типи взаємозв'язків урбоекосистеми.
12. Показати, що належить до екологічного блоку міської соціальної системи.
13. Розкрити суть поняття соціального блоку міста.
14. Навести основні принципи прогнозування економічного і соціального розвитку міста.
15. Дати характеристику міста, як системи у великій системі міст.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 2

ЕКОЛОГО-ГЕОГРАФІЧНЕ РАЙОНУВАННЯ ТЕРИТОРІЇ МІСТ ЗГІДНО УМОВ ТЕХНОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ

Мета роботи:

Ознайомитись з методикою оцінювання ризиків для хімічно-небезпечних об'єктів та зон можливого хімічного зараження у межах міських систем.

Теоретичні відомості

За планувальною структурою міста поділяють:

1. Радіальне місто – поселення із кільцево-радіальним розміщенням вулиць.
2. Прямокутне місто – поселення з поздовжньо-поперечним розміщенням вулиць.
3. Лінійне місто – поселення витягнутої форми з головною віссю у вигляді більш-менш прямої чи вигнутої лінії (уздовж трас, річкових долин тощо).
4. Комбіноване місто – це форма, що поєднує елементи різних планувань. У їхньому розвитку відобразилася дія різних чинників – особливостей географічного середовища, господарства, участі у забудові різних етнічних груп населення, участі адміністративних структур держави у визначенні планування тощо.

Що стосується викидів забруднюючих речовин, то за допомогою математико-картографічної моделі можна визначити щільність викидів забруднюючих речовин у місті. Іншою важливою складовою факторів екологічної небезпеки та ризику є функціонування потенційно небезпечних об'єктів, зокрема, хімічно- та вибухонебезпечних.

Потенційний ризик для хімічно небезпечних об'єктів визначається як

$$R = S \cdot D \cdot K_n, \quad (2.1)$$

де R – потенційна небезпека наслідків аварії на об'єкті;

S – площа зони можливого хімічного зараження, км^2 ;

D – кількість людей, що проживає у цій зоні, чол/км²;

K_n – коефіцієнт зменшення глибини поширення хмари зараженого повітря залежно від швидкості вітру.

Коефіцієнт зменшення глибини поширення хмари зараженого повітря залежно від швидкості вітру (W , м/с) визначається наступним чином:

- інверсія: $W = 1$ м/с – 1; 2 м/с – 0,6; 3 м/с – 0,45; 4 м/с – 0,4;
- ізотермія: $W = 1$ м/с – 1; 2 м/с – 0,65; 3 м/с – 0,55; 4 м/с – 0,5;
- конвекція: $W = 1$ м/с – 1; 2 м/с – 0,7; 3 м/с – 0,6; 4 м/с – 0,55.

Інверсія – виникає при ясній погоді, низьких швидкостях вітру, при цьому нижні шари повітря холодніші верхніх.

Ізотермія – характеризується постійною температурою повітря у межах 20...30 м (згідно висоти).

Конверсія – нижній шар повітря нагрітий сильніше верхнього, виникає при ясній погоді та малих швидкостях повітря.

Площа зони можливого хімічного зараження визначається за методикою МНС

$$S = 8,72 \cdot 10^{-3} \cdot L \cdot J, \quad (2.2)$$

де L – глибина зони зараження, км;

J – коефіцієнт, який дорівнює кутовому розміру зони можливого зараження залежно від швидкості вітру.

Кутовий розмір зони можливого зараження залежно від швидкості вітру визначають наступним чином:

- швидкість вітру 1 м/с – 180;
- швидкість вітру 2 м/с – 90;
- швидкість вітру >2 м/с – 45.

Згідно кількості людей, що проживає у зоні можливого хімічного зараження, можна визначити ступінь хімічної небезпеки підприємства (табл. 2.1.).

Таблиця 2.1.

Критерії класифікації адміністративно-територіальних одиниць і хімічно небезпечних об'єктів

Найменування об'єкта, що класифікується	Критерії класифікації	Ступінь хімічної небезпеки			
		1	2	3	4
Хімічно небезпечний об'єкт	Кількість населення, яке потрапляє у прогнозовану зону хімічного забруднення при аварії на підприємстві, чол.	Більше 500	Від 300 до 500	Від 100 до 300	Менше 100
Хімічно небезпечна територіальна одиниця	Частка території, що потрапляє у зону можливого хімічного зараження при аварії на підприємстві, %	Більше 50	Від 30 до 50	Від 10 до 30	Менше 10

Завдання:

1. Користуючись вихідними даними (табл. 2.2) розрахувати потенційний ризик для хімічно небезпечних об'єктів і площу зони можливого хімічного зараження.

Таблиця 2.2.

Вихідні дані для проведення розрахунків

Вар №	Найменування речовини	L (км) у залежності від кількості речовини у ємностях (т)			D, чол/км²	W вітру, м/с
		5	20	50		
Інверсія						
1	Хлор	12,2	28,3	50,4	10	1
2	Аміак	1,6	4,05	6,85	30	2
3	Сірчаний ангідрид	5,85	14,1	24,7	50	3
4	Сірководень	1,5	3,95	6,7	100	4
5	Соляна кислота	3,05	6,8	12,2	300	1
6	Хлорпікрин	9,7	22,5	40,3	500	2
7	Формальдегід	12,3	28,5	50,9	10	3
Ізотермія						
8	Хлор	5,05	11,6	20,2	30	1
9	Аміак	0,5	1,55	2,75	50	2
10	Сірчаний ангідрид	2,4	5,6	10,2	100	3
11	Сірководень	0,5	1,4	2,75	300	4
12	Соляна кислота	1,3	2,9	5	500	1
13	Хлорпікрин	4	9,2	15,9	10	2
14	Формальдегід	5,1	11,7	20,4	30	3
Конверсія						
15	Хлор	2,4	6,05	10,7	50	1
16	Аміак	1,5	1,55	2,75	50	1
17	Сірчаний ангідрид	1,3	3	5,1	100	2
18	Сірководень	2,5	2,4	2,75	300	2
19	Соляна кислота	0,5	1,5	2,6	300	3
20	Хлорпікрин	2,0	4,85	8,35	500	4
21	Формальдегід	2,45	6,05	10,7	10	1

Примітка: Площа хімічно небезпечної територіальної одиниці – 100км²

2. Виходячи з даних про кількість людей, що проживає у зоні можливого хімічного зараження визначити ступінь хімічної небезпеки підприємства.

3. Виходячи з даних про хімічну речовину, що потрапила у навколишнє середовище дати рекомендації щодо захисту постраждалих від аварії.

Контрольні питання

1. Екологічні аспекти урбанізації.
2. Що таке планувальна структура міста?
3. Основні елементи міста, за якими утворюється планувальна структура.
4. Функціональне зонування урбоєкосистеми.
5. Поділ міст за планувальною структурою.
6. Критерії виникнення інверсії, ізотермії, конверсії.
7. Визначення ступеня хімічної небезпеки підприємства.
8. Найбільш небезпечні хімічні речовини.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 3
ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОЦІНЮВАННЯ СТУПЕНЮ ЗАБРУДНЕНOSTІ
АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ВИХЛОПНИМИ ГАЗАМИ
АВТОТРАНСПОРТУ БІЛЯ ФАСАДІВ ЖИЛИХ БУДИНКІВ

Мета роботи: 1. Виконати оцінювання ступеню забрудненості повітря автотранспортом у залежності від типу забудови, рельєфу місцевості, напрямку вітру, вологості і температури повітря, зробити висновки та внести пропозиції щодо підвищення якості повітря поблизу доріг з інтенсивним рухом.

2. Оцінити рівень забруднення атмосферного повітря вихлопними газами автотранспорту і визначити ширину санітарно-захисної зони.

Теоретичні відомості

Антропогенні (техногенні) джерела забруднення атмосферного повітря, репрезентовані головно викидами промислових підприємств й автотранспорту, відрізняються численністю і різноманіттям видів.

Джерела викидів промислових підприємств бувають стаціонарними, коли положення джерела викидів не змінюються в часі, і пересувними (нестаціонарними) (автотранспорт).

Джерела викидів в атмосферу поділяють на: *точкові, лінійні і площинні*.

Точкові джерела – це забруднення, які сконцентровані в одному місці. До них належать димарі, вентиляційні шахти, дахові вентилятори.

Лінійні джерела мають значну протяжність. Це аераційні ліхтарі, ряди відкритих вікон, близько розташовані на дахах вентилятори. До них можуть також належати автотраси.

Площинні джерела є віддалені, забруднення розосереджені по площині промислового майданчика підприємства. До площинних джерел належать місця складання виробничих і побутових відходів, автостоянки, склади паливно-мастильних матеріалів.

Незатінені, або високі, джерела розташовані в недеформованому потоці вітру. Це димарі та інші джерела, які викидають забруднення на висоту, що перевищує 2,5 рази висоту розташованих поблизу будівель та інших перешкод.

Затінені джерела розташовані в зоні підпору або аеродинамічної тіні будівлі або іншої перешкоди.

Шкідливі домішки продуктів згоряння за походженням класифікують на три групи: домішки, утворення яких залежить від складу палива: SO_2 , зола, V_2O_5 ; домішки, утворення яких залежить від технології спалювання: NO_x , CO , бензапірен; інші джерела, не пов'язані зі спалюванням: пилоутворення під час утворення відвалів золи, випаровування вуглеводнів, зберігання і перевезення рідкого палива

1. Оцінювання ступеню забрудненості повітря автотранспортом залежить не лише від інтенсивності руху, кількості та характеру викидів, але і від типу забудови, рельєфу місцевості, напрямку вітру, вологості і температури повітря. Ступінь впливу автотранспорту на навколишнє середовище розраховують за формулою:

$$K_{\text{CO}} = (A + 0,01 \cdot N \cdot K_a) \cdot K_H \cdot K_y \cdot K_B \cdot K_n \quad (3.1)$$

де A – фонове забруднення атмосферного повітря ($0,5 \text{ мг/м}^3$);

N – сумарна інтенсивність руху автомобілів за одну годину (визначається шляхом спостереження);

K_a – коефіцієнт, що враховує аерацію місцевості (табл. 3.1);

K_H – коефіцієнт, що враховує швидкість вітру (табл. 3.2);

K_y – коефіцієнт, що враховує ухил місцевості (табл. 3.3);

K_B – коефіцієнт впливу вологості повітря (табл. 3.4);

K_n – коефіцієнт, що залежить від типу перехресть (табл. 3.5).

Таблиця 3.1.

Значення коефіцієнту K_a

Тип місцевості	Значення K_a
Транспортні тунелі	2,7
Транспортні галереї	1,5
Магістральні вулиці (багатоповерхова забудова)	1,0
Вулиці з одноповерховою забудовою	0,6
Дороги з одноповерховою забудовою	0,4
Естакади	0,4
Пішохідні тунелі	0,3

Таблиця 3.2.

Значення коефіцієнту K_H

Швидкість вітру, м/с	Значення K_H
1	2,70
2	2,00
3	1,50
4	1,20
5	1,05
6	1,0

Таблиця 3.3.

Значення коефіцієнту K_y

Повздовжній ухил, град.	Значення K_y
0	1,00
2	1,06
4	1,07
6	1,18
8	1,5

Таблиця 3.4.

Значення коефіцієнту K_B	
Відносна вологість, %	Значення K_B
100	1,45
90	1,30
80	1,15
70	1,00
60	0,85
50	0,75
40	0,60

Таблиця 3.5.

Значення коефіцієнту K_n	
Тип перехрестя	Значення K_n
Регульоване світлофорами	1,8
Нерегульоване	2,1
Саморегульоване	2,0
Кільцеве	2,2
З низькою швидкістю	1,9

2. Оксид вуглецю, або чадний газ – це один з найстійкіших та небезпечних забруднювачів атмосферного повітря, який входить до складу вихлопних газів автотранспорту.

Наближено визначити максимальну (поблизу дороги) концентрацію оксиду вуглецю (CO_{max}) можна згідно формули Рябікова:

$$CO_{max} = (7,33 + 0,026 \cdot N) \cdot K_1 \cdot K_2 \quad (3.2)$$

де CO_{max} – концентрація оксиду вуглецю з краю дороги, мг/м³ повітря;

N – інтенсивність руху автомашин у години «пік», авто/годину;

K_1 – коефіцієнт для розрахунку складу транспортного потоку та його середньої швидкості (табл. 3.6); K_2 – коефіцієнт для розрахунку впливу ухилу вподовж дороги, який при схилі менше 10% дорівнює 1.

Таблиця 3.6.

Коефіцієнт (K_1) для визначення впливу транспортного потоку та його середньої швидкості на вміст чадного газу у повітрі

Частка вантажівок і автобусів у потоці, %	Значення коефіцієнту K_1 при швидкості руху транспортного потоку, км/год						
	20	30	40	50	60	70	80
80	1,17	1,11	1,05	0,90	1,02	0,11	1,21
70	1,14	1,08	1,00	0,87	0,95	1,04	1,12
60	1,12	1,08	1,00	0,87	0,95	1,04	1,12
50	1,11	1,01	0,91	0,80	0,84	0,90	0,95
40	1,09	0,97	0,86	0,76	0,77	0,78	0,85
30	1,08	0,95	0,82	0,73	0,70	0,66	0,75
20	1,05	0,91	0,77	0,69	0,62	0,70	0,67
10	1,02	0,81	0,72	0,65	0,54	0,46	0,55

Виходячи з показника CO_{max} та ГДК для цього забруднювача (3 мг/м^3), можна визначити ширину санітарно-захисної зеленої смуги за формулою:

$$CO_x = 0,5 \cdot CO_{max} - 0,1 \cdot X \quad X = (0,5 \cdot CO_{max} - CO_x) / 0,1 \quad (3.3)$$

де CO_x – концентрація оксиду вуглецю на відстані X метрів від дороги, мг/м^3 , яка поблизу житлових будинків не повинна перевищувати ГДК (3 мг/м^3);

X – ширина санітарно-захисної зеленої смуги, м.

Завдання:

1.1. Оцінити ступінь забрудненості повітря автотранспортом від інтенсивності руху, аерації місцевості, швидкості вітру, ухилу місцевості, вологості повітря, типу перехресть у різних районах міста (поблизу ВНЗ, житлового будинку тощо).

1.2. Зробити висновки та внести пропозиції щодо підвищення якості повітря поблизу доріг з інтенсивним рухом.

2.1. Визначити інтенсивність руху автомобілів у години «пік» шляхом безпосереднього спостереження та звести дані до табл. 3.7. Для розрахунку розглядаємо автодороги поблизу навчального закладу та житлового будинку.

Таблиця 3.7.

Інтенсивність руху транспортного потоку та його склад

Місцевість, що досліджується	N, у тому числі:				Кількість автобусів та вантажівок	
	Вантажівки	Автобуси	Легкові	Всього	Кількість	% від заг. кількості
Навчальний заклад						
Житловий будинок						

2.2. Визначити максимальну концентрацію оксиду вуглецю згідно формули Рябікова поблизу навчального закладу і жилого будинку.

2.3. Визначити ширину необхідної санітарно-захисної зеленої смуги поблизу навчального закладу і житлового будинку.

2.4. Здійснити розрахунки та зробити відповідні висновки. Подібні дослідження дозволяють також ранжувати територію населеного пункту за рівнем забруднення вихлопами автотранспорту та скласти карту забруднення повітря оксидом вуглецю.

Контрольні питання

1. Дайте характеристику основних зон, що виділяються в атмосфері.
2. Що таке забруднення атмосфери? Що Ви розумієте під домішками в атмосфері?

3. Дайте визначення поняттям: «речовина, яка забруднює повітря», «первинні домішки», «вторинні домішки в атмосфері».
4. Якими ознаками характеризуються викиди в атмосферу забруднювальних речовин?
5. Як поділяють джерела викидів в атмосферу?
6. Як поділяють джерела викидів в атмосферу за поширенням?
7. Виділити найпоширеніші забруднювальні речовини, які надходять в атмосферу.
8. Як автомобільний транспорт впливає на забруднення атмосферного повітря?
9. Вплив метеоумов на перенесення і розсіювання домішок в атмосфері.
10. Основи прогнозу забруднення атмосферного повітря.
11. Процеси трансформації домішок в атмосфері.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 4

РОЗРАХУНОК ЕНЕРГЕТИЧНОГО ТА ЕКОНОМІЧНОГО ЕФЕКТУ ВІД ТЕРМОМОДЕРНІЗАЦІЇ

Мета роботи: ознайомитися з особливостями розрахунку енергетичного та економічного ефекту від термомодернізації; опанувати методики розрахунку енергетичного ефекту в будівлі при утепленні стін, заміні вікон, утепленні горища.

Теоретичні відомості

Термомодернізація — це комплекс технічних заходів, спрямованих на підвищення енергетичної ефективності існуючих будівель шляхом зменшення тепловтрат через огорожувальні конструкції та інженерні системи. Відповідно до Закону України «Про енергетичну ефективність будівель» № 2118-VIII та ДБН В.2.6-31:2021, термомодернізація передбачає проведення будівельних, монтажних та проектних робіт з метою досягнення нормативних показників теплозахисту будівлі.

Основна мета термомодернізації — зниження споживання первинної енергії на опалення, вентиляцію та гаряче водопостачання при збереженні або підвищенні рівня теплового комфорту для користувачів будівлі. Відповідно до Директиви ЄС 2024/1275 (EPBD recast), всі нові будівлі в країнах-членах ЄС мають відповідати стандарту будівель з майже нульовим споживанням енергії (nZEB), а існуючий фонд підлягає поступовій реновації.

До основних заходів термомодернізації належать:

- утеплення зовнішніх стін (фасадне утеплення, вентильований фасад, утеплення зсередини);
- утеплення горищних перекриттів та покрівлі;
- утеплення підвальних перекриттів та фундаментів;
- заміна вікон і дверей на енергоефективні конструкції;
- модернізація систем опалення, вентиляції та гарячого водопостачання;
- встановлення систем рекуперації тепла та автоматичного регулювання.

Енергетичний ефект від термомодернізації виражається у зниженні питомого споживання теплової енергії будівлею. Він оцінюється як різниця між фактичним (або розрахунковим до реконструкції) та прогнозованим після реконструкції питомим енергоспоживанням на одиницю опалювальної площі або об'єму будівлі.

Питоме споживання теплової енергії на опалення ($q_{оп}$, кВт·год/м²·рік) розраховується за формулою:

$$q_{оп} = (Q_{оп} - Q_{внутр} - Q_{сон}) / A$$

де $Q_{оп}$ — загальні тепловтрати будівлі (кВт·год/рік); $Q_{внутр}$ — внутрішні теплонадходження (кВт·год/рік); $Q_{сон}$ — теплонадходження від сонячної радіації (кВт·год/рік); A — опалювальна площа (м²).

Типові значення зниження питомого теплоспоживання після термомодернізації залежать від вихідного стану будівлі, застосованих заходів та кліматичних умов. За даними Міжнародного енергетичного агентства (IEA, 2023), комплексна термомодернізація житлових будівель дозволяє досягти таких результатів (табл.4.1):

Таблиця 4.1.

Орієнтовне зниження теплоспоживання від окремих заходів термомодернізації

Захід термомодернізації	Зниження теплоспоживання, %
Утеплення стін (10–15 см мінеральна вата)	15–25
Заміна вікон на двокамерний склопакет	10–15
Утеплення покрівлі / горизонтного перекриття	10–20
Модернізація системи опалення з автоматикою	15–30
Рекуперація тепла вентиляційного повітря	10–20
Комплексна термомодернізація	40–70

Енергетична ефективність термомодернізації також оцінюється через показник покращення енергетичного класу будівлі. Відповідно до чинної класифікації, будівлі поділяються на класи від А++ (найвищий) до G (найнижчий). Більшість будівель радянської забудови в Україні відносяться до класів E–G з питомим теплоспоживанням 150–300 кВт·год/м²·рік. Після комплексної термомодернізації вони можуть досягти класу B або C (50–100 кВт·год/м²·рік).

Економічний ефект від термомодернізації визначається як грошовий еквівалент зекономленої теплової енергії за вирахуванням витрат на проведення заходів. Основними показниками економічної ефективності є: річна економія коштів на опалення, простий термін окупності, чиста приведена вартість (NPV) та внутрішня норма прибутковості (IRR).

Річна економія коштів на опалення (E , грн/рік) розраховується як:

$$E = \Delta Q \cdot \Pi$$

де ΔQ — річна економія теплової енергії (кВт·год/рік або Гкал/рік); Π — діючий тариф на теплову енергію (грн/кВт·год або грн/Гкал).

Простий термін окупності (T , роки) визначається як:

$$T = K / E$$

де K — капітальні витрати на термомодернізацію (грн); E — річна економія коштів (грн/рік).

Для більш точної оцінки застосовується дисконтований термін окупності, який враховує зміну вартості грошей у часі. Проте в умовах зростання тарифів на енергоносії реальний термін окупності, як правило, є меншим за розрахунковий.

За аналізом досліджень (Zahoor & Jadoon, 2025; Cabeza et al., 2014), типові терміни окупності заходів термомодернізації в умовах Центральної та Східної Європи становлять:

- утеплення стін — 8–15 років;
- заміна вікон — 10–20 років;
- модернізація системи опалення — 3–7 років;
- комплексна термомодернізація з залученням енергосервісного контракту (ЕСКО) — 10–20 років.

Окрім прямого енергетичного та економічного ефекту, термомодернізація забезпечує низку супутніх переваг, які підвищують її загальну суспільну цінність.

З екологічної точки зору, зниження споживання теплової енергії безпосередньо веде до скорочення викидів парникових газів. Відповідно до EN 15978:2011, оцінка вбудованих та операційних викидів вуглецю є невід'ємною частиною комплексного аналізу екологічної ефективності будівель. Показано, що операційні викиди складають до 70–80% від загальних викидів GHG протягом життєвого циклу будівлі, тому термомодернізація є ключовим інструментом декарбонізації існуючого будівельного фонду.

З соціальної точки зору, термомодернізація підвищує тепловий комфорт мешканців, знижує відносні витрати домогосподарств на оплату комунальних послуг (особливо важливо для вразливих верств населення), а також сприяє збереженню та збільшенню ринкової вартості нерухомості.

В контексті сталого міського розвитку та відновлення після збройних конфліктів термомодернізація є пріоритетним напрямом, оскільки дозволяє одночасно вирішувати питання енергетичної безпеки, зниження залежності від імпорتنих енергоносіїв та покращення якості міського середовища.

Оцінка очікуваного енергетичного та економічного ефекту від термомодернізації здійснюється на основі енергетичного аудиту будівлі та складання енергетичного сертифіката. Розрахунковий метод базується на нормативних документах: ДСТУ EN ISO 52016-1:2022, ДСТУ Б А.2.2-12:2015 та ДСТУ EN ISO 52000-1.

Основними вхідними даними для розрахунку є: геометричні та об'ємно-планувальні характеристики будівлі; теплотехнічні властивості огорожувальних конструкцій (опір теплопередачі R , $\text{м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$); кліматичні параметри місця розташування (градусо-доба опалювального періоду); внутрішні теплонадходження та режим експлуатації; технічні характеристики інженерних систем.

За результатами розрахунку формується перелік рекомендованих заходів термомодернізації із зазначенням очікуваного енергетичного ефекту, кошторисної

вартості та прогнозного терміну окупності кожного заходу. Перевага надається заходам з найкращим співвідношенням питомого ефекту до питомих витрат (грн заощаджень на 1 грн інвестицій).

Таким чином, термомодернізація є економічно обґрунтованим та технічно реалізованим інструментом підвищення енергетичної ефективності існуючого будівельного фонду. Комплексний підхід до термомодернізації дозволяє досягти зниження питомого теплоспоживання на 40–70%, забезпечити річну економію коштів на опалення та окупити капітальні вкладення протягом 10–20 років. В умовах зростання тарифів на енергоносії та необхідності декарбонізації економіки термомодернізація набуває стратегічного значення як на рівні окремих об'єктів, так і на рівні міст та держави в цілому.

Завдання

1. Утеплення стін

Склад стіни житлової будівлі у м. Одеса – цегляна кладка з керамічної порожнистої густиною 1400 кг/м^3 (брутто) товщиною 50 см. Площа стіни складає $F=50 \text{ м}^2$.

Для підвищення теплозахисних властивостей пропонується утеплювач – плити пінополістирольні екструзійні густиною 30 кг/м^3 та зовнішня штукатурка з цементно-піщаного розчину 1 см.

Прийняти в розрахунках внутрішню температуру повітря: $t_{вн}=20 \text{ }^\circ\text{C}$.

Знайти необхідну товщину утеплювача термічно однорідної зовнішньої стіни. Визначити річну економію енергії та коштів від утеплення будівлі.

Рішення

Згідно з ДСТУ 9191:2022 «Теплоізоляція будівель. Метод вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель» опір теплопередачі *термічно однорідної непрозорої* огорожувальної конструкції розраховують за формулою:

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

де $\alpha_{\text{в}}$, $\alpha_{\text{з}}$ – коефіцієнти тепловіддачі внутрішньої і зовнішньої поверхонь огорожувальної конструкції, Вт/(м² · К) – див. додаток А;

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

δ_i – товщина i -го шару конструкції, м;

λ_{ip} – теплопровідність матеріалу i -го шару конструкції в розрахункових умовах експлуатації (розрахункова теплопровідність), Вт/(м · К);

n – кількість шарів огорожувальної конструкції.

1. *Визначимо коефіцієнти тепловіддачі внутрішньої і зовнішньої поверхонь огорожувальної конструкції з додатку А:*

- $\alpha_{\text{в}}=8,7$ Вт/(м² · К);

- $\alpha_{\text{з}}=23$ Вт/(м² · К).

2. *Коефіцієнт теплопровідності шарів матеріалів зовнішньої стіни з додатку Г:*

– цегляна кладка з керамічної порожнистої густиною 1400 кг/м³ (п.58): $\lambda_{\text{ц}}=0,64$ Вт/(м · К);

– плити пінополістирольні екструзійні густиною 30 кг/м³ (п.4): $\lambda_{\text{ут}}=0,036$ Вт/(м · К);

– штукатурка з цементно-піщаного розчину, п.68: $\lambda_{\text{шт}}=0,93$ Вт/(м · К).

3. *Визначимо опір теплопередачі існуючої стіни за формулою (4.1):*

$$R_{\text{ичн}} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,5}{0,64} + \frac{1}{23} = 0,94 \frac{\text{м}^2 \text{К}}{\text{Вт}}$$

4. Визначимо опір теплопередачі зовнішньої стіни з нанесеною ізоляцією, попередньо приймаючи товщину шару ізоляції 10 см:

$$\begin{aligned} R_{iz} &= R_{ich} + R_{ym} + R_{ш} = R_{ich} + \frac{\delta_{yt}}{\lambda_{ym}} + \frac{\delta_{ш}}{\lambda_{ш}} = \\ &= 0,94 + \frac{0,1}{0,036} + \frac{0,01}{0,93} = 3,72 \frac{m^2 K}{Bm} \end{aligned}$$

5. Визначимо температурну зону:

– м. Одеса розташовано у II температурній зоні (за додатком Б).

6. Визначимо нормативний опір теплопередачі зовнішньої стіни для будівлі у II температурній зоні за додатком Д:

$$R_{норм} = 3,5 \frac{m^2 K}{Bm}.$$

Порівняльний аналіз опору теплопередачі стіни після ізоляції з нормативним значенням: $R_{iz} \geq R_{норм}$, тобто шар ізоляції в 10 см достатній для дотримання вимог ДБН В.2.6-31:2021.

7. Визначимо розрахункові кліматичні параметри для м. Одеса за додатком В:

– розрахункова температура зовнішнього повітря на опалення

$$t_{p.o.} = -18^\circ C;$$

– розрахункова температура зовнішнього повітря за ОП:

$$t_{c.o.} = 2^\circ C;$$

– розрахункова кількість днів опалювального періоду

$$n_o = 158 \text{ днів.}$$

8. Визначимо втрати теплоти через стіни:

– існуючої будівлі:

$$Q = K_{ich} \cdot F \cdot \Delta t = \frac{1}{R_{ich}} \cdot F \cdot (t_{вн} - t_{p.o.}) = \frac{1}{0,94} \cdot 50 \cdot (20 - (-18)) = 2021 Bm;$$

– після утеплення:

$$Q_{ym} = K_{ym} \cdot F \cdot \Delta t = \frac{1}{R_{ym}} \cdot F \cdot (t_{вн} - t_{p.o}) = \frac{1}{3,72} \cdot 50(20 - (-18)) = 510 \text{ Вт}$$

9. Річна економія енергії, Гкал/рік, з урахуванням коефіцієнту перерахунку (1 ккал/год=1,163 Вт):

$$\Delta Q_{рік} = \Delta Q \frac{t_{вн} - t_{с.о}}{t_{вн} - t_{p.o}} n_o 24 = (2021 - 510) \frac{(20-2)}{(20-(-18))} 158 \cdot 24 \frac{10^{-6}}{1,163} = 2,33 \text{ Гкал/рік}$$

10. Річна економія грошових витрат:

– централізоване опалення

Якщо тариф на теплову енергію складає 1600 грн/Гкал, економія складе:

$$E = \Delta Q \cdot T = 2,33 \cdot 1600 = 3728 \text{ грн/рік};$$

– індивідуальне опалення від котла з ККД 93% (паливо – природний газ з теплотворною здатністю $Q_n^p = 8000 \frac{\text{ккал}}{\text{м}^3}$)

Економія газу:

$$\Delta B = \frac{\Delta Q \cdot 10^6}{Q_n^p \cdot \eta} = \frac{2,33 \cdot 10^6}{8000 \cdot 0,93} = 313 \text{ м}^3,$$

де η – ККД індивідуального котла, долі %.

Економія коштів при вартості газу для населення $C_n=10$ грн/м³,

$$E = \Delta B \cdot C_n = 313 \cdot 10 = 3130 \text{ грн/рік}.$$

Відповідь:

- товщина утеплювача 10 см,
- економія енергії 2,33 Гкал/рік,
- економія коштів 3728 грн/рік (централізоване опалення), 3130 грн/рік (індивідуальне опалення від газового котла).

-

Варіанти індивідуального завдання для вирішення задачі

№	Місто	$t_{\text{вн}},$ °C	Шар 1		Шар 2
			Матеріал	δ , см	Матеріал
1	Львів	20	Керамічної порожнистої густиною 1400 кг/м ³ (брутто) на цементно-піщаному розчині	40	Вироби теплоізоляційні з мінеральної вати на основі базальтового волокна густиною 100 кг/м ³
2	Миколаїв	21	Керамічної порожнистої густиною 1300 кг/м ³ (брутто) на цементно-піщаному розчині	45	Плити пінополістирольні екструзійні густиною 30 кг/м ³
3	Одеса	22	Керамічної порожнистої густиною 1000 кг/м ³ (брутто) на цементно-піщаному розчині	50	Вироби теплоізоляційні з мінеральної вати на основі базальтового волокна густиною 125 кг/м ³
4	Полтава	18	Кладка з блоків керамзитшлакобетонних на цементно-піщаному розчині густиною 800 кг/м ³ (брутто)	45	Плити пінополістирольні екструзійні густиною 35 кг/м ³
5	Рівне	20	Кладка з блоків керамзитшлакобетонних на цементно-піщаному розчині густиною 850 кг/м ³ (брутто)	50	Вироби теплоізоляційні з мінеральної вати на основі базальтового волокна густиною 150 кг/м ³
6	Суми	21	Керамзитобетон на керамзитовому піску густиною 1000 кг/м ³	40	Вироби пінополістирольні густиною 15 кг/м ³
7	Тернопіль	22	Керамзитобетон на керамзитовому піску густиною 1200 кг/м ³	45	Вироби теплоізоляційні з мінеральної вати на основі базальтового волокна густиною 175 кг/м ³
8	Харків	18	Керамзитобетон на керамзитовому піску густиною 1400 кг/м ³	50	Вироби пінополістирольні густиною 25 кг/м ³
9	Луганськ	20	Бетон на доменних гранульованих шлаках густиною 1200 кг/м ³	40	Вироби теплоізоляційні з мінеральної вати на основі базальтового волокна густиною 200 кг/м ³
10	Херсон	21	Бетон на доменних гранульованих шлаках густиною 1400 кг/м ³	45	Вироби пінополістирольні густиною 35 кг/м ³
11	Чернігів	22	Керамічної порожнистої густиною 1400 кг/м ³ (брутто) на цементно-піщаному розчині	50	Вироби теплоізоляційні з мінеральної вати на основі базальтового волокна густиною 225 кг/м ³
12	Черкаси	18	Керамічної порожнистої густиною 1300 кг/м ³ (брутто) на цементно-піщаному розчині	40	Вироби пінополістирольні густиною 50 кг/м ³
13	Ів.Франківськ	20	Керамічної порожнистої густиною 1000 кг/м ³ (брутто) на цементно-піщаному розчині	45	Вироби теплоізоляційні з мінеральної вати на основі скляного штапельного волокна густиною 10 кг/м ³

14	Чернівці	21	Кладка з блоків керамзитшлакобетонних на цементно-піщаному розчині густиною 800 кг/м ³ (брутто)	50	Плити з резольно-формальдегідного пінопласту густиною 40 кг/м ³
15	Хмельницький	22	Кладка з блоків керамзитшлакобетонних на цементно-піщаному розчині густиною 850 кг/м ³ (брутто)	40	Вироби теплоізоляційні з мінеральної вати на основі скляного штапельного волокна густиною 15 кг/м ³
16	Київ	18	Керамзитобетон на керамзитовому піску густиною 1000 кг/м ³	45	Плити з резольно-формальдегідного пінопласту густиною 50 кг/м ³
17	Кропивницький	20	Керамзитобетон на керамзитовому піску густиною 1200 кг/м ³	50	Вироби теплоізоляційні з мінеральної вати на основі скляного штапельного волокна густиною 20 кг/м ³
18	Луганськ	21	Керамзитобетон на керамзитовому піску густиною 1400 кг/м ³	40	Плити з резольно-формальдегідного пінопласту густиною 100 кг/м ³
19	Львів	22	Бетон на доменних гранульованих шлаках густиною 1200 кг/м ³	45	Вироби теплоізоляційні з мінеральної вати на основі скляного штапельного волокна густиною 35 кг/м ³
20	Миколаїв	18	Бетон на доменних гранульованих шлаках густиною 1400 кг/м ³	50	Целюлозний утеплювач густиною 100 кг/м ³

Примітка 1. Третій шар для усіх варіантів - штукатурка з цементно-піщаного розчину товщиною 1 см.

Примітка 2. Площу стіни для усіх варіантів прийняти 100 м².

Примітка 3. Тариф на централізоване тепlopостачання прийняти у відповідності до значень, вказаних у офіційних джерелах (сайтах постачальників теплоти) для відповідного міста.

Примітка 4. Паливо для індивідуального джерела опалення – природний газ з теплотворною здатністю $Q_p = 8100$ ккал/м³, вартість якого прийняти згідно з офіційними даними.

Примітка 5. ККД індивідуального котла прийняти 95%.

Контрольні питання

1. Що таке термомодернізація, і які її основні цілі?
2. Які етапи включає процес термомодернізації будівель?

3. Які основні показники енергетичного ефекту термомодернізації? Як вони вимірюються?
4. Які методи використовуються для розрахунку економічного ефекту від термомодернізації?
5. Які основні фактори впливають на ефективність термомодернізації?
6. Які результати термомодернізації можуть бути використані для покращення енергетичної ефективності?
7. Які фінансові інструменти доступні для реалізації проектів термомодернізації?
8. Які соціальні та екологічні переваги може надати термомодернізація?
9. Які виклики та перешкоди можуть виникати під час впровадження термомодернізаційних проектів?

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 5

БУДОВА І ФУНКЦІОНУВАННЯ ГЕЛІОСИСТЕМ. РОЗРАХУНОК ГЕЛІОСИСТЕМ

Мета роботи: ознайомитися з особливостями будови і функціонування різних видів геліосистем; навчитися розраховувати вакуумні трубчасті та плоскі сонячні колектори.

Теоретичні відомості

Геліосистема – це система використання сонячної енергії для нагріву води, яка складається з наступних основних компонентів:

- колектор (встановлюється на покрівлі);
- бак накопичувач (акумулятор тепла об'ємом 150-600 л);
- рама для кріплення колектора.

Існує безліч різних сонячних колекторів, призначених для нагрівання води. Все різноманіття сонячних колекторів можна розділити на наступні типи: плоскі сонячні колектори і вакуумні трубчасті колектори.

Плаский сонячний колектор. Простим і найбільш дешевим способом використання сонячної енергії є нагрів побутової води в так званих плоских сонячних колекторах. Плаский сонячний колектор (рис. 5.1) є теплоізованим з тильного боку і боків ящиком, всередині якого поміщена теплопоглинальна металева або пластикова панель, забарвлена в темний колір (або покрита спеціальним оптичним селективним покриттям, що добре поглинає сонячне випромінювання і мало випромінює в інфрачервоному спектрі).



Рис. 5.1. Плаский сонячний колектор

Абсорбер закритий згори світлопрозорим обгороджуванням (один або два шари скла або прозорого, стійкого від впливу ультрафіолету пластика). Панель є теплообмінником, по каналах якого прокачується вода, що нагрівається. Вода прямує в тепло ізолюваний бак, гідравлічно-сполучений з сонячним колектором.

Вакуумний трубчастий колектор. Як і пласкі сонячні колектори, вакуумні трубчасті колектори перетворюють сонячну енергію, що падає, на тепло. Сонячне випромінювання потрапляє всередину вакуумної скляної трубки, тут і відбувається перетворення енергії сонячного випромінювання в теплову енергію (рис. 5.2). Фактично, втрат тепла в довкілля не відбувається, так як вакуум – найгірший провідник тепла. Вакуум підтримується між зовнішнім покриттям із скла і теплопоглинальним шаром.



Рис. 5.2. Вакуумний трубчастий колектор

Завдяки вакууму мінімізуються теплові втрати, і різко знижується залежність ККД колектора від різниці температур (між температурою колектора і температурою зовнішнього повітря).

Геліосистеми можуть бути одноконтурні або двоконтурні з природною або з примусовою циркуляцією теплоносія (вода або спеціальна рідина).

У одноконтурних системах в сонячні колектори поступає і нагрівається саме та вода, яка витрачається з бака-акумулятора.

У двоконтурних системах в контурі сонячних колекторів знаходиться спеціальний теплоносій (зазвичай незамерзаюча нетоксична рідина з антикорозійними і піногасними присадками або підготовлена вода), при цьому теплова енергія від теплоносія передається воді за допомогою теплообмінника (спіральна труба в баку – «змійовик», зовнішній теплообмінний апарат або «бак в баку»).

Системи з природною циркуляцією теплоносія.

Принцип роботи систем з *природною циркуляцією теплоносія*: розігрітий теплоносій (маючи нижчу щільність) спрямовується у верхню частину колектора, внаслідок чого виникає різниця гідростатичних тисків; якщо колектор підключити до бака, який знаходиться вище за нього, то виникне мимовільна циркуляція теплоносія, швидкість якої залежить від конструкції колектора, інтенсивності сонячного випромінювання і швидкості охолодження в теплообміннику (рис. 5.3).

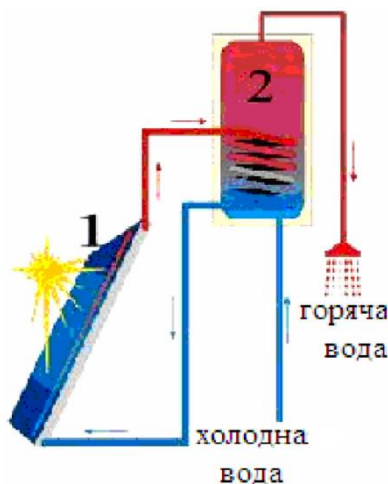


Рис. 5.3. Системи з природною циркуляцією теплоносія:

1 – колектор; 2 – бак-акумулятор (бак-бойлер)

Системи з примусовою циркуляцією теплоносія.

У системах з *примусовою циркуляцією* в контур колекторного круга включається малопотужний циркуляційний насос, який примушує циркулювати теплоносії. Його роботою управляє спеціальний контролер. Споживана потужність насоса є значно меншою за теплову енергію, яка виробляється системою (рис. 5.4).

Ключовими чинниками при виборі системи є: можлива температура повітря в найхолодніший період року і кількість ясних сонячних днів. Системи з природною циркуляцією набули поширення в країнах з теплим кліматом.

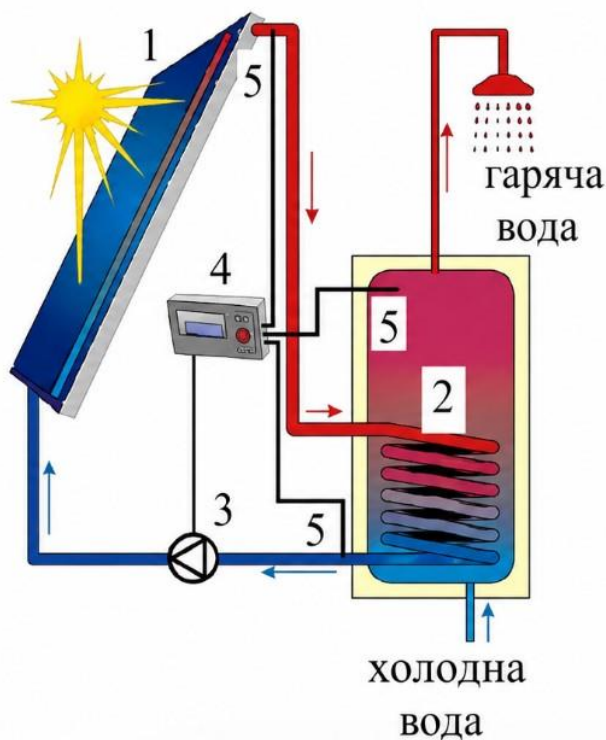


Рис. 5.4. Системи з примусовою циркуляцією теплоносія:

1 – колектор; 2 – бак-акумулятор (бак- бойлер); 3 – циркуляційний насос; 4 – контролер (блок управління); 5 – датчики температури

Переваги геліосистем: сонячна енергія безкоштовна; тривалий термін експлуатації – 25 років; автономність (для літніх сонячних систем без використання електроенергії); низька собівартість отриманої теплової енергії; використовується екологічно чиста невичерпна енергія сонця.

Завдання

1. Розрахунок кількості плоских сонячних колекторів, згідно з варіантом завдання, використовуючи приклад розрахункової схеми наведеної в додатку 1.

Значення вихідних величин наведено у табл. 5.1.

Таблиця 5.1.

Вихідні данні для розрахунку кількості плоских сонячних колекторів

Величини і одиниці їх виміри	Варіанти завдань									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Кількість людей в сім'ї, люд.	2	3	4	5	4	3	2	5	6	4
Місто проживання	Київ	Дніпро	Чернігів	Херсон	Харків	Львів	Одеса	Луцьк	Ужгород	Рівне
Добова потреба у воді, літр/люд/доба	30	40	50	30	40	50	30	40	50	30
Необхідна міра заміщення традиційної енергетики, %	45	60	70	45	60	70	45	60	70	45
Орієнтація колектора	сх/зах	півд. сх./півд	півд.	сх/зах	півд. сх./півд	півд.	сх/зах	півд. сх./півд	півд.	сх/зах
Кут нахилу колектора, °	30/45	60	60	30/45	30/45	60	60	30/45	30/45	60

Для представлення розрахункової кількості плоских сонячних колекторів використовувати додаток 1 а

2. Розрахунок кількості трубок для вакуумного сонячного колектора
Атаба

Необхідно забезпечити гарячою водою сім'ю з n чоловік, що проживають в певному місті, при середньодобовій потребі кожного з них V_x , м³/люд. Середня температура води, що входить, складає t_n °С, необхідна кінцева температура – t_k , °С;

здатність поглинання енергії сонця сонячним колектором Aтаба складає $Y\%$, площа поглинання – S_{mp} , m^2 .

Розрахунок проводиться за наступним алгоритмом:

– визначення об'єму ємності нагрівача:

$$V_H = 1,5(nV_x) \quad (5.1)$$

де V_H – об'єм колектора ємності, m^3

n – кількість людей в сім'ї, люд.

V_x – середньодобова потреба у воді кожного члена сім'ї, $m^3/\text{люд}$

– визначення температурного перепаду:

$$T_T = t_k - t_n, \quad (5.2)$$

де t_k – кінцева температура води, $^{\circ}C$;

t_n – початкова температура води, $^{\circ}C$.

Розраховуємо кількість енергії, необхідної для нагрівання потрібної кількості води з урахуванням того, що для нагріву одного літра води на один градус потрібно витратити енергію рівну 1 ккал.

$$G = V_H T_T \quad (5.3)$$

Для переведення цієї енергії в кВт·год скористаємося наступною формулою:

$$GB = G / 859,8 \quad (5.4)$$

(1 кВт·год = 859,8 ккал)

Визначимося з кількістю енергії, яка може поглинатися і перетворюватися в тепло сонячними колекторами Aтаба.

Визначаємо середньомісячне значення сонячної радіації (G_x) для вказаного міста (додаток 2).

Розраховуємо кількість енергії, здатну акумулюватися однією трубкою сонячного колектора за формулою:

$$G_{mp} = G_x Y S_{mp} \quad (5.5)$$

де Y – кількість сонячної енергії, здатна поглинатися цією маркою колектора, %

S_{mp} – площа поглинання вакуумної трубки цього колектора, м².

– визначаємо необхідне число трубок:

$$N = GB / G_{mp} \quad (5.6)$$

Для варіантів значення вихідних величин наведено у табл. 5.2.

Таблиця 5.2.

Вихідні данні для розрахунку кількості трубок для вакуумного сонячного колектора

Величини і одиниці їх виміри	Варіанти									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Кількість людей в сім'ї, люд.	2	3	4	5	4	3	2	5	6	4
Місто проживання	Київ	Дніпро	Чернігів	Херсон	Харків	Львів	Одеса	Луцьк	Ужгород	Рівне
Добова потреба у воді, літр/люд/доба.	30	40	50	30	40	50	30	40	50	30
t_n , °C	12	14	16	11	13	15	12	14	16	13
t_k , °C	55	60	57	59	62	65	64	63	58	60
Y , %	80	79,5	79,3	80,2	81	78,9	79,2	80,5	80,8	82
S_{mp} , м ²	0,08	0,076	0,082	0,081	0,079	0,078	0,077	0,083	0,084	0,081

Розв'язання

Приймаємо наступні умови: сім'я складається з $n=5$ чоловік, що проживають в Житомирі, при середньодобовій потребі кожного з них $V_x=60$ л. Середня температура води, що входить, складає $t_n=10^\circ\text{C}$, необхідна кінцева температура –

$t_k=60^{\circ}\text{C}$; здатність поглинання енергії сонця сонячним колектором Атаба складає $Y=80\%$, площа поглинання – $S_{mp}=0,08 \text{ м}^2$.

Визначаємо об'єм ємності нагрівача:

$$V_H = 1,5(nV_x) = 1,5(5 \cdot 60) = 450 \text{ л.}$$

Визначаємо температурний перепад:

$$T_T = t_k - t_n = 60 - 10 = 50^{\circ}\text{C}$$

Розраховуємо кількість енергії, необхідної для нагрівання потрібної кількості води з урахуванням того, що для нагріву одного літра води на один градус потрібно витратити енергію рівну 1 ккал.

$$G = V_H T_T = 450 \cdot 50 = 22500 \text{ ккал}$$

Для переведення цієї енергії в кВт-год скористаємося наступною формулою:

$$GB = G / 859,8 = 22500 / 859,8 \approx 28,2 \text{ кВт-год}$$

Визначимося з кількістю енергії, яка може поглинатися і перетворюватися в тепло сонячними колекторами Атаба.

Середньомісячне значення сонячної радіації для Житомира згідно додатка 2 складає $G_x=3,04 \text{ кВт-год/м}^2/\text{день}$.

Розраховуємо кількість енергії, здатну акумулюватися однією трубкою сонячного колектора за формулою:

$$G_{mp} = G_x Y S_{mp} = 3,04 \cdot 0,8 \cdot 0,08 \approx 0,2 \text{ кВт-год/день}$$

Визначаємо необхідне число трубок:

$$N = GB / G_{mp} = 28,2 / 0,2 \approx 141$$

3. Розрахунок параметрів геліоелектростанції типу вежа

На сонячній електростанції типу вежі встановлено n геліостатів, кожен з яких має поверхню $F_2 \text{ м}^2$. Геліостати відбивають сонячні промені на приймач, на поверхні якого зареєстрована максимальна енергетична освітленість $H_{np}=2,5$

МВт/м². Коефіцієнт віддзеркалення геліостата $R_z=0,8$. коефіцієнт поглинання приймача $A_{np}=0,95$. Максимальна опроміненість дзеркала геліостата $H_z=600$ Вт/м². Визначити площу поверхні приймача F_{np} і теплові втрати в приймачеві, викликані випромінюванням і конвекцією, якщо робоча температура теплоносія складає $t^\circ\text{C}$. Міра чорноти приймача $e_{np}=0,95$. Конвективні втрати удвічі менше втрат від випромінювання.

Енергія, отримана приймачем від сонця через геліостати (Вт), може бути визначена за рівнянням:

$$Q = R_z A_{np} F_z H_z n \quad (5.7)$$

де H_z – опроміненість дзеркала геліостата у Вт/м² (для типових умов $H_z=600$ Вт/м²);

F_z – площа поверхні геліостата, м²;

n – кількість геліостатів;

R_z – коефіцієнт віддзеркалення дзеркала концентратора, $R_z=0,7\div0,8$; A_{np} – коефіцієнт поглинання приймача, $A_{np}<1$.

Площа поверхні приймача може бути визначена, якщо відома енергетична освітленість на ньому H_{np} Вт/м²

$$F_{np} = Q/H_{np} \quad (5.8)$$

У загальному випадку температура на поверхні приймача може досягати $t_{nos}=1160^\circ\text{C}$, що дозволяє нагрівати теплоносії до 700°C . Втрати тепла за рахунок випромінювання в теплоприймачі можна вичислити за законом Стефана-Больцмана:

$$q_{np} = \varepsilon_{np} C_o (T/100)^4, \text{ Вт/м}^2 \quad (5.9)$$

де T – абсолютна температура теплоносія, К; (для переведення температури з шкали Цельсія в шкалу Кельвіна використовують вираз $T = t + 273,15$

e_{np} – міра чорноти сірого тіла приймача;

C_o – коефіцієнт випромінювання абсолютно чорного тіла, дорівнює $5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м²·К⁴)

Для варіантів значення вихідних величин наведено у табл. 5.3.

Таблиця 5.3.

Вихідні данні для розрахунку параметрів геліоелектростанції

Величини і одиниці їх виміру	Варіанти завдань									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
n	243	253	263	273	283	293	303	313	323	333
$F_z, \text{м}^2$	64	61	58	55	52	49	46	43	40	37
$t, ^\circ\text{C}$	700	680	660	640	620	580	560	540	520	600

Розв’язання. Приймаємо наступні умови: на сонячній електростанції типу вежі встановлено 300 геліостатів, кожен з яких має поверхню $F_z=50 \text{ м}^2$, а робоча температура теплоносія складає $t=600^\circ\text{C}$.

Енергія, отримана приймачем від сонця через геліостати:

$$Q = R_z A_{np} F_z H_z n = 0,8 \cdot 0,95 \cdot 50 \cdot 600 \cdot 300 = 6,84 \cdot 10^6 \text{ Вт}$$

Площа поверхні приймача:

$$F_{np} = \frac{Q}{H_{np}} = \frac{6,84}{2,5} \approx 2,7 \text{ м}^2$$

Втрати тепла за рахунок випромінювання в теплоприймачі

$$q_{np} = \varepsilon_{np} C_o (T/100)^4 = 0,95 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \left(\frac{600 + 273,15}{100} \right)^4 \approx 3,13 \cdot 10^{-4} \text{ Вт/м}^2$$

4. Розрахунок параметрів паротурбінних сонячних енергетичних установок (СЕУ).

Визначити теплоту, що підводиться геліостатами до встановленого на вежі парогенератора паротурбінної сонячної електростанції, якщо кількість геліостатів n , площа дзеркал одного геліостата F , інтенсивність сонячного випромінювання I , коефіцієнт ефективності використання сонячного випромінювання η_e . Визначити

також термічний ККД і теоретичну потужність паротурбінної установки СЕУ, що працює за циклом Ренкіна, якщо параметри гострої пари p_1, t_1 , тиск в конденсаторі $p_2=10$ кПа, ККД парогенератора $\eta_{ng}=0,85$. Як зміниться потужність СЕУ, якщо замість паротурбінної установки застосувати кремнієві фотоелектричні перетворювачі з ККД $\eta_{fe}=0,15$, що займають ту ж площу, що і дзеркала геліостатів?

У паротурбінних сонячних енергетичних установках теплота сонячного випромінювання від дзеркал геліостатів концентрується на парогенераторі, встановленому на вежі. Загальна кількість теплоти, сприйнятої парогенератором, складає

$$Q = \eta_e n F I, \text{ Вт} \quad (5.10)$$

де η_e – коефіцієнт ефективності використання сонячного випромінювання (змінюється в межах 0,35-0,5),

n – кількість геліостатів,

F – площа дзеркал одного геліостата, м^2 ,

I – інтенсивність сонячного випромінювання, Вт/м^2 .

Термічний ККД визначається:

$$\eta_t = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_k}, \quad (5.11)$$

де h_1 – ентальпія гострої пари,

h_2 – ентальпія пари (визначається за h -s діаграмою водяної пари), що відпрацювала в турбіні,

h_k – ентальпія конденсату (визначається за таблицею термодинамічних властивостей води і водяної пари).

Теоретична потужність паротурбінної СЕУ складе

$$P_{nt} = \eta_t \eta_e Q, \text{ Вт} \quad (5.12)$$

де η_e – ККД електрогенератора (в межах 0,92...0,96)

Потужність СЕУ з фотоелектричними перетворювачами визначається співвідношенням:

$$P_{fe} = \eta_{fe} F I, \text{ Вт} \quad (5.13)$$

де η_{fe} – ККД фотоелектричних перетворювачів (змінюється в межах 0,13- 0,18);

F – їх загальна площа, м².

Для варіантів значення вихідних величин наведено у табл. 5.4.

Розв'язання

Приймаємо наступні умови: на вежі парогенератора паротурбінної сонячної електростанції кількість геліостатів $n=4000$, площа дзеркал одного геліостата $F=12$ м², інтенсивність сонячного випромінювання $I=500$ Вт/м², коефіцієнт ефективності використання сонячного випромінювання $\eta_e=50\%$, а параметри гострої пари $p_1=10$ МПа, $t_1=400^\circ\text{C}$, тиск в конденсаторі $p_2=10$ кПа, ККД парогенератора $\eta_{ne}=0,85$, ККД кремнієвого фотоелектричного перетворювача $\eta_{fe}=0,15$

Таблиця 5.4.

Вихідні данні для розрахунку параметрів паротурбінних сонячних енергетичних установок (СЕУ)

Величини і одиниці їх виміри	Варіанти завдань									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
n , од.	1000	3000	5000	7000	8000	9000	10000	11000	12000	13000
F , м ²	10	12	14	13	12	11	12	13	14	12
I , Вт/м ²	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800
η_e , %	50	48	46	47	49	50	51	50	49	51
p_1 , МПа	12	11	10	9	8	9	10	11	12	10
t_1 , °С	450	440	430	420	410	400	410	420	430	440

Загальна кількість теплоти, сприйнятої парогенератором, складає

$$Q = \eta_e n F I = 0,5 \cdot 4000 \cdot 12 \cdot 500 = 12 \cdot 10^6 \text{ Вт}$$

Термічний ККД визначається за формулою (5.11),

при цьому згідно *h-s діаграми* водяної пари $h_1=3250$ кДж/кг (точка перетину $p_1=10$ МПа та $t_1=400$ °С), $h_2=2400$ кДж/кг (точка перетину $p_2=10$ кПа та насичення пари $X=95\%$), $h_k=2700$ кДж/кг (ентальпія конденсату при $X=100\%$)

$$\eta_t = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_k} = \frac{3250 - 2400}{3250 - 2700} = 1,54$$

Теоретична потужність паротурбінної СЕУ складе:

$$P_{nt} = \eta_t \eta_e Q = 1,54 \cdot 0,94 \cdot 12 \cdot 10^6 = 17,37 \cdot 10^6 \text{ Вт.}$$

Потужність СЕУ з фотоелектричними перетворювачами визначається співвідношенням:

$$P_{fe} = \eta_{fe} F n I = 0,15 \cdot 12 \cdot 500 \cdot 4000 = 2,88 \cdot 10^6 \text{ Вт.}$$

Контрольні питання

1. Дайте визначення терміну «геліосистема».
2. Наведіть типи сонячних колекторів.
3. Охарактеризуйте одноконтурні та двоконтурні геліосистеми.
4. Наведіть системи з природною та з примусовою циркуляцією теплоносія.
5. Як розраховують параметри геліоелектростанції типу вежа.
6. Як розраховують параметри паротурбінних сонячних енергетичних установок.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 6

ЕНЕРГІЯ ВІТРУ. РОЗРАХУНОК ВІТРОГЕНЕРАТОРА

Мета роботи: ознайомитися з основними параметрами вітрогенераторів і методикою їх розрахунку.

Теоретичні відомості

Вітрогенераторами називають двигуни, що перетворюють енергію вітру в механічну роботу. За будовою вітряка і положенню його в потоці вітру *системи вітродвигунів* розділяються на три класи (рис. 6.1):

1. Крильчаті вітрогенератори мають вітроколесо з тим або іншим числом крил. Площина обертання вітроколеса у крильчатих вітродвигунів перпендикулярна напрямку вітру, отже, вісь обертання паралельна вітру. Коефіцієнт використання енергії вітру цих вітродвигунів досягає $\zeta=0,42$.

2. Карусельні і роторні вітрогенератори мають вітроколесо (ротор) з лопатями, рухомими у напрямі вітру; вісь обертання вітроколеса займає вертикальне положення. Коефіцієнт використання енергії вітру цих вітродвигунів рівний від 10 до 18%.

3. Барабанні вітрогенератори мають таку ж схему вітроколеса, як і роторні, і відрізняються від них лише горизонтальним положенням ротора, тобто вісь обертання вітроколеса горизонтальна і розташована перпендикулярно потоку вітру. Коефіцієнт використання енергії вітру цих вітряків від 6 до 8%.

Крильчатий вітродвигун складається з наступних елементів (рис. 6.2):

1. Вітряк може мати від 2 до 24 лопатей. Вітряки з числом лопатей від 2 до 4 називаються малолопатеви́ми; якщо у вітроколеса більше 4 лопатей, то воно називається багатолопатеви́м.

2. Голівка вітродвигуна це опора, на якій монтується вал вітроколеса і верхня передача (редуктор).

3. Хвіст кріпиться до голівки і повертає її навколо вертикальної осі, встановлюючи вітроколесо на вітер.

4. Вежа вітродвигуна служить для винесення вітроколеса вище за перешкоди, що порушують течію повітряного потоку. Малопотужні вітродвигуни, що працюють як генератор, зазвичай монтуються на стовпі або трубі з розтяжками.

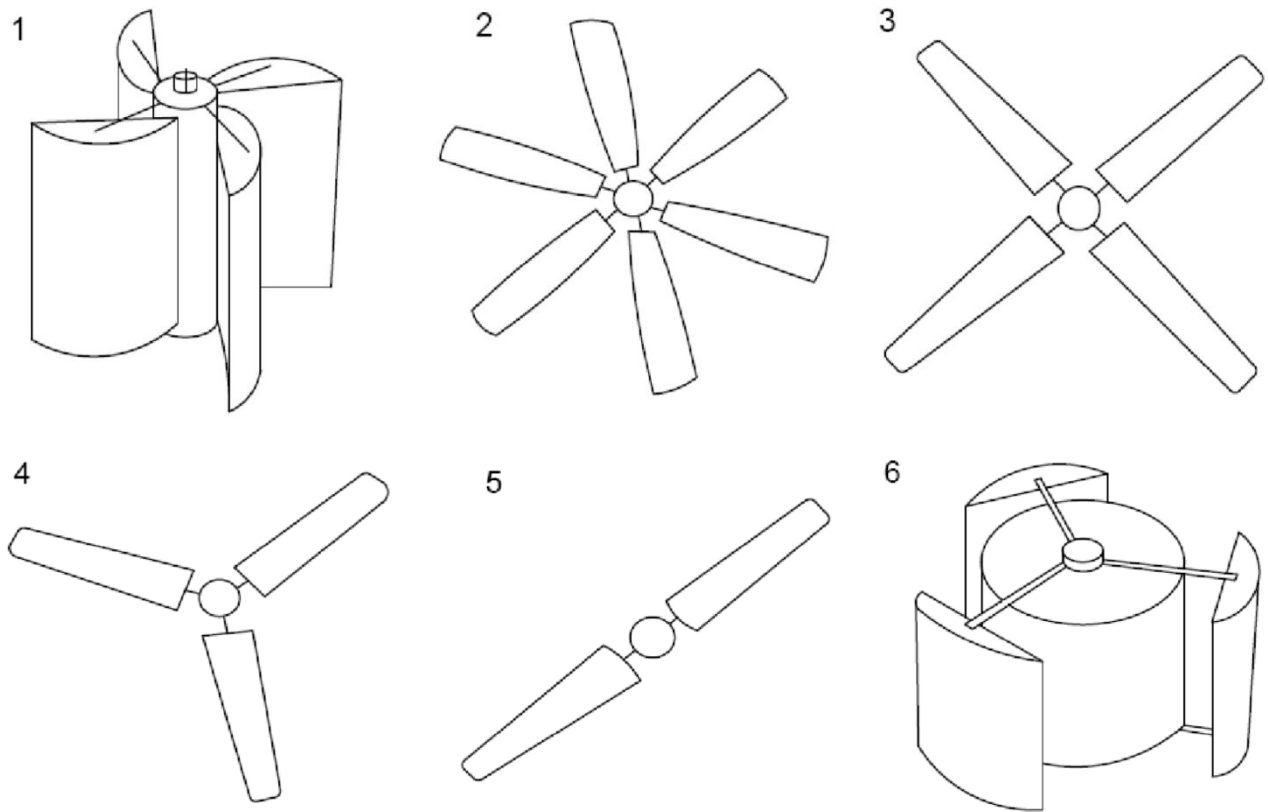


Рис. 6.1. Типи вітродвигунів: 2...5 – вітродвигуни з горизонтальною віссю обертання (крильчасті); 1, 6 – вітродвигуни з вертикальною віссю обертання (карусельні: лопатеві (1) і ортогональні (6))

5. Біля основи вежі вертикальний вал кріпиться до нижньої передачі (редуктора), яка передає рух робочим машинам.

6. Регулювання оборотів вітроколеса представляє пристосування або механізм, що обмежує обороти вітроколеса із збільшенням швидкості вітру.

На рисунку 6.3 зображено принципи розташування вітрової установки на місцевості.

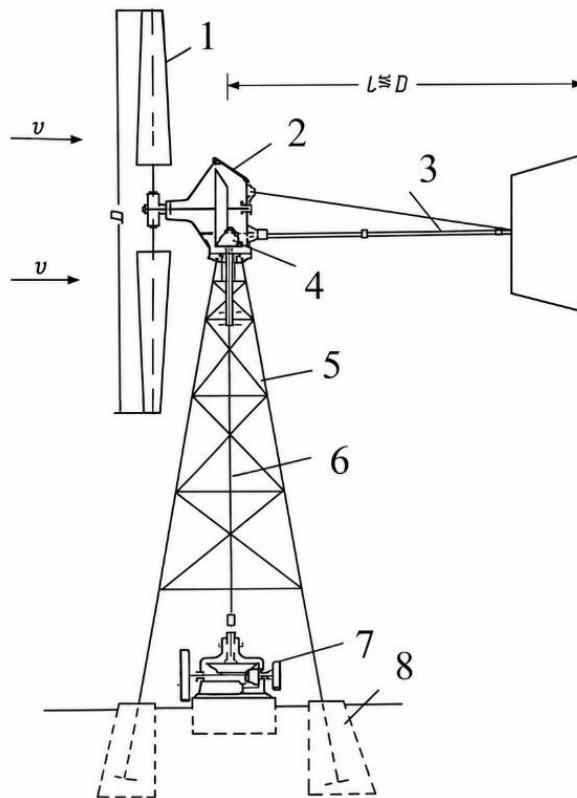
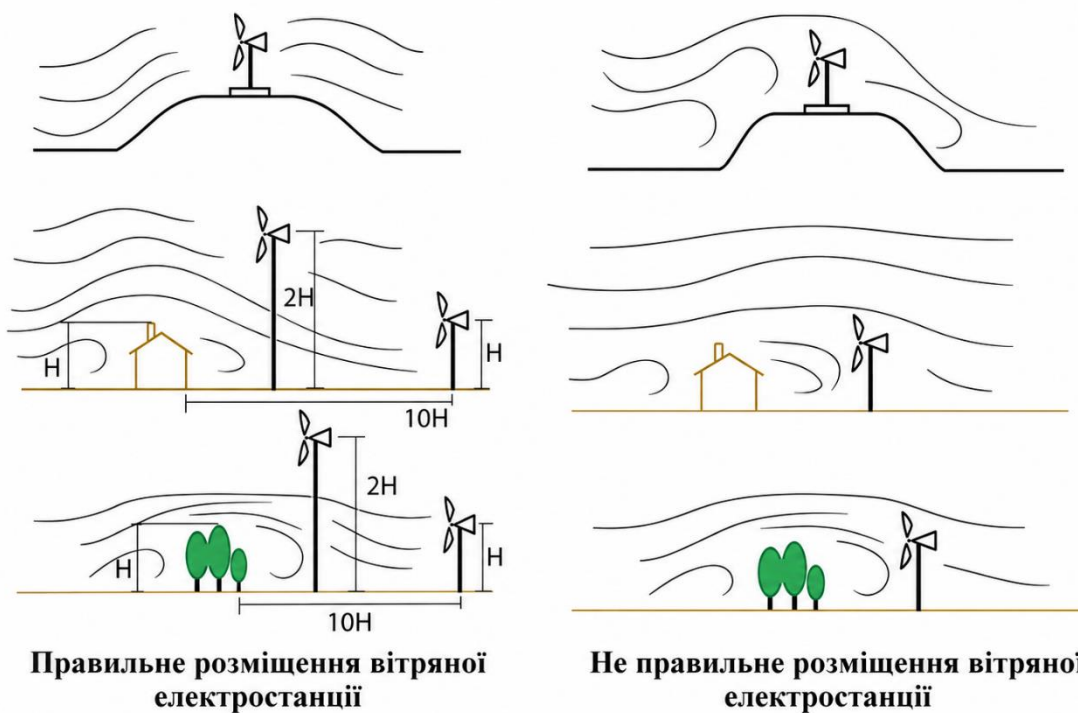


Рис. 6.2. Вітродвигун і його основні елементи:

1 – вітроколесо; 2 – голівка; 3 – хвіст; 4 – верхня передача; 5 – башта; 6 – вертикальний вал; 7 – нижня передача; 8 – фундамент



Правильне розміщення вітряної електростанції

Не правильне розміщення вітряної електростанції

Рис. 6.3. Принципи розташування вітряної установки на місцевості

Основні параметри ВЕУ:

Номінальна потужність $P_{ном}$ [Вт, кВт] – потужність, що розвивається вітроустановкою при розрахунковій швидкості вітру;

Розрахункова швидкість вітру V_p [м/с] – швидкість, яку приймають для розрахунку вітрового навантаження на споруди при проектуванні. Залежно від класу споруди враховується швидкість із заданою повторюваністю – 1 раз на рік, в 5, 10, 15, 20, 50 і 100 років;

Діаметр вітротурбини D [м] – відрізок, що сполучає пару найбільш віддалених одна від однієї точок вітротурбини, проходить через її центр.

Вироблення енергії W_M [кВт-год] – кількість енергії, що виробляється вітротурбиною за певний проміжок часу (місяць, рік), величина, залежна від середньої швидкості вітру;

Середня потужність P_{CP} [кВт] – потужність, при безперервній підтримці якої, вироблення енергії за місяць буде дорівнювати реальній

Завдання

1. Розрахунок вітрогенератора (пряма задача):

Розрахувати потужність вітроустановки з радіусом ротора R м при стартовій швидкості вітру V м/с, коефіцієнтом використання вітру ξ , ККД редуктора – $\eta_{ред}$; ККД генератора – $\eta_{ген}$.

Розрахунок вітрогенератора здійснюють за алгоритмом:

1. Потужність вітроустановки дорівнює:
- 2.

$$P = \eta_{ред} \eta_{ген} P_m, \text{ Вт} \quad (6.1)$$

де $\eta_{ген}$ – ККД генератора, за повного навантаження – від 0,7 (малопотужні генератори) до 0,96 – генератори великої потужності.

P_m – потужність вітротурбіни.

3. Потужність турбіни складає:

$$P_m = \xi P_n, \text{ Вт} \quad (6.2)$$

де ξ – коефіцієнт вітровикористання. Реальний коефіцієнт вітровикористання добре спроектованої турбіни складає 0,4-0,55;

P_n – потужність вітрового потоку, що проходить через площу лопатей вітроустановки.

3. Потужність потоку обчислюється за формулою:

$$P_n = \frac{\rho V^3}{2} S, \text{ Вт} \quad (6.3)$$

де ρ – щільність повітря (стандартне значення 1,225 кг/м³);

V – швидкість незбуреного вітрового потоку, м/с;

$S = \pi D^2/4$ – площа.

Для забезпечення енергією середнього котеджу необхідно мати установку середньої потужності 3 кВт.

Для варіантів значення вихідних величин наведено у табл. 6.1.

Розв'язання

Приймаємо наступні умови: вітроустановка з радіусом ротора $R=2,0$ м при стартовій швидкості вітру $V=5$ м/с, коефіцієнт використання вітру $\xi = 0,45$, ККД редуктора (мультипликатор) – $\eta_{ред} = 0,82$; ККД генератора – $\eta_{ген} = 0,85$

1. Потужність потоку обчислюється за формулою:

$$P_n = \frac{\rho V^3}{2} S = \frac{1,225 \cdot 5^3 \cdot 3,14 \cdot 4^2}{2 \cdot 4} \approx 962 \text{ Вт}$$

2. Потужність турбіни складає:

$$P_m = \xi P_n = 0,45 \cdot 962 = 433 \text{ Вт}$$

2. Потужність вітроустановки дорівнює:

$$P = \eta_{ред} \eta_{ген} P_m = 0,82 \cdot 0,85 \cdot 433 \approx 302 \text{ Вт}$$

Вихідні данні для розрахунку вітрогенератора

Величини і одиниці їх виміри	Варіанти завдань									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R , м	2,3	2,2	2,1	2,0	1,9	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2
V , м/с	4,7	4,9	5,2	6,4	6,3	5,5	5,8	5,0	4,9	4,7
ξ	0,4	0,41	0,42	0,43	0,44	0,45	0,47	0,49	0,5	0,53
$\eta_{ред}$, відносні од.	0,84	0,83	0,82	0,81	0,82	0,83	0,84	0,85	0,86	0,87
$\eta_{ген}$, відносні од.	0,92	0,91	0,9	0,87	0,91	0,85	0,9	0,87	0,88	0,89

2. Розрахунок вітрогенератора (зворотна задача)

При якій швидкості вітру вітроустановка генеруватиме кількість енергії, достатню для забезпечення енергією середнього котеджного будиночка при радіусі ротора R м, коефіцієнті використання вітру – ξ ; ККД редуктора – $\eta_{ред}$; ККД генератора – $\eta_{ген}$.

Розв’язання. Приймаємо наступні умови: вітроустановка з радіусом ротора $R=2,2$ м та її потужність дорівнює $P=3$ кВт, з коефіцієнтом використання вітру $\xi=0,5$, ККД редуктора – $\eta_{ред}=0,83$; ККД генератора – $\eta_{ген}=0,9$

1. Потужність турбіни складає:

$$P_m = \frac{P}{\eta_{ред}\eta_{ген}} = \frac{3}{0,83 \cdot 0,9} \approx 4,0 \text{ кВт}$$

2. Потужність потоку обчислюється за формулою:

$$P_n = \frac{P_m}{\xi} = \frac{4,0}{0,5} = 8 \text{ кВт}$$

3. Необхідна швидкість вітру:

$$V = \sqrt[3]{\frac{2P_n}{\pi\rho R^2}} = \sqrt[3]{\frac{2 \cdot 8 \cdot 10^3}{3,14 \cdot 1,225 \cdot 2,2^2}} \approx 9,5 \text{ м/с}$$

Слабкий – 4-5м/с 14-18 км/год ; Помірний – 6-7 м/с 22-25 км /год; Свіжий 8-9 м/с, 29-32 км /год; Сильний 10-12 м/с, 36-43 км /год

3. Розрахунок параметрів вітрової електростанції.

Визначити потужність вітрової електростанції, n однотипних вітроенергетичних установок. Довжина лопаті вітроколеса L , швидкість вітру V , ККД вітродвигуна η_6 , електричний ККД установки (генератора і перетворювача) η_e , температура повітря t , атмосферний тиск p .

Вітровий потік, що проходить через площу F , що проходить через лопаті вітродвигуна, має енергію:

$$E = \frac{mV^2}{2}, \text{ Дж} \quad (6.4)$$

де V – швидкість вітру, м/с;

m – маса повітря.

За секунду через площу F протікає $m = \rho VF$ кг/с, де $\rho = \frac{p}{RT}$ – щільність повітря, кг/м³, p – атмосферний тиск, Па, $R=287$ Дж/кг·К – газова постійна, T – абсолютна температура, К. Площа F визначається через довжину лопаті L вітроколеса: $F=\pi L^2$. Відповідно електрична потужність ВЕУ визначається за формулою:

$$P = \frac{n \eta_6 \eta_e \rho \pi L^2 V^3}{2}, \text{ Вт} \quad (6.5)$$

де η_6 – ККД вітродвигуна (змінюється в межах 0,25-0,35)

η_e – електричний ККД вітрогенератора і перетворювача (в межах 0,70- 0,85).

Для варіантів значення вихідних величин наведено у табл. 6.2.

Таблиця 6.2.

Вихідні данні для розрахунку параметрів вітрової електростанції

Величини і одиниці їх виміри	Варіанти завдань									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
n , од.	8	9	10	11	12	11	10	9	8	7

L , м	90	57	59	61	80	66	69	72	75	90
V , м/с	12	11	10	9	12	14	16	18	20	18
η_e , %	31	32	33	34	33	32	33	34	33	34
η_e , %	80	74	75	76	83	77	76	77	78	81
t , °С	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25
p , кПа	100	101	102	101	100	99	98	97	99	101

Розв’язання. Приймаємо наступні умови: $n=10$ однотипних вітроенергетичних установок. Довжина лопаті вітроколеса $L=66$ м, швидкість вітру $V=12$ м/с, ККД вітродвигун $\eta_e=0,33$, електричний ККД установки (генератора і перетворювача) $\eta_e=0,77$, температура повітря $t=5$ °С, атмосферний тиск $p=99$ кПа.

1. Щільність повітря:

$$\rho = \frac{p}{RT} = \frac{99 \cdot 10^3}{287 \cdot (273,15 + 5)} \approx 1,24 \text{ кг/м}^3$$

2. Електрична потужність ВЕУ визначається за формулою:

$$P = \frac{n \eta_e \eta_e \rho \pi L^2 V^3}{2} = \frac{10 \cdot 0,33 \cdot 0,77 \cdot 1,24 \cdot 3,14 \cdot 66^2 \cdot 12^3}{2} \approx 37,2 \cdot 10^6 \text{ Вт}$$

Контрольні питання

1. Дайте визначення терміну «вітрогенератор».
2. Наведіть класи систем вітрогенераторів.
3. Охарактеризуйте переваги та недоліки кожного типу вітрогенераторів.
4. Опишіть принцип роботи віротурбін.
5. Опишіть принципи вибору місця розташування вітроустановок на місцевості.
6. Опишіть основні елементи вітродвигуна.
7. Які основні параметри ВЕУ?
8. Наведіть методику визначення параметрів ВЕУ.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Кучерявий В.П. Урбоекологія : підручник / В.П. Кучерявий. – Львів : Новий Світ-2000, 2021. – 460 с.
2. Урбоекологія : підручник / І.А. Василенко, О.А. Півоваров, І.М. Трус, А.В. Іванченко. – Дніпро : Акцент ПП, 2017. – 308 с.
3. Станкевич С.В. Урбоекологія : термінологічний словник / С.В. Станкевич, Л.В. Головань. – Харків : ХНАУ, 2022. – 133 с.
4. Зелено-блакитна інфраструктура в містах: вивчення спадщини та підключення до досвіду країн V4 : колективна монографія / за ред. Н.В. Максименко, А.Д. Шкаруба. – Харків : ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2022. – 208 с.
5. Довідник з відбудови міст. – Київ : Урбанина, 2023. – 400 с.
6. Про енергетичну ефективність будівель : Закон України від 22.06.2017 № 2118-VIII (зі змінами, ред. від 03.08.2025). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2118-19> (дата звернення: 24.05.2026).
7. ДСТУ EN ISO 52016-1:2022. Енергоефективність будівель. Енергопотреби для опалення та охолодження, внутрішні температури і навантаження за явною та прихованою теплотою. Частина 1. Методики розрахунку. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022.
8. ДСТУ Б А.2.2-12:2015. Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні. – Київ : Мінрегіон України, 2015.
9. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівельна кліматологія. К.: НДІБК, 2011. – 127 с.
10. ДБН В.2.6-31:2021 Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. К: НДІБК, 2022. – 27 с.
11. ДСТУ 9191:2022 Теплоізоляція будівель. Метод вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель.
12. Офіційний сайт Асоціації енергоаудиторів України, код доступу: <https://aea.org.ua/>

ДОДАТКИ

ДОДАТКИ до ПЗ 4

ДОДАТОК А

Розрахункові значення коефіцієнтів тепловіддачі внутрішньої, α_v , та зовнішньої, α_z , поверхонь огорожувальної конструкції [10]

№	Тип конструкції	Коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м ² К)	
		α_v	α_z
1	Зовнішні стіни, суміщені покриття, перекриття над проїздами	8,7	23
2	Перекриття над холодними підвалами, що межують з холодним повітрям	8,7	17
3	Горищні покриття та перекриття, перекриття над неопалювальними підвалами зі світловими прорізами у стінах, а також зовнішні стіни з вентиляльованим повітряним прошарком, що вентилюються зовнішнім повітрям	8,7	12
4	Горищні перекриття та перекриття над неопалюваними підвалами й техпідпіллями без вентиляції зовнішнім повітрям.	8,7	6
5	Вікна, двері балконні та входні, вітражі, зовнішні стіни з опорядженням світлопрозорими елементами	8,0	23
6	Зенітні ліхтарі	9,9	23

КАРТА-СХЕМА ТЕМПЕРАТУРНИХ ЗОН УКРАЇНИ



ДОДАТОК В

Розрахункові температури зовнішнього повітря різних міст України [9]

№	Місто	Температура середня місячна												Сер. за рік	Розрахункова темпер.	Період із середньою добовою температурою 63 повітря					
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII			≤ 8°С		≤ 10° С		≥ 21° С	
																дiб	Сер. темп	дiб	Сер. темп	дiб	Сер. темп
1	Київ	-4,7	-3,6	1,0	9,0	15,2	18,3	19,8	19,0	13,9	8,1	1,9	-2,5	8	-22	176	-0,1	195	0,7	-	-
2	Сімферополь	-0,3	0,4	3,7	10,1	15,1	19,2	21,8	21,3	16,7	11,0	6,1	2,1	10,6	-15	154	2,6	175	3,5	61	21,8
3	Ялта	4,1	4,2	6,0	10,6	15,7	19,8	23,6	23,2	19,0	13,6	9,5	6,1	13,0	-6	126	5,3	152	6,1	83	23,0
4	Вінниця	-5,1	-3,8	0,5	8,1	14,2	17,2	18,7	18,0	13,3	7,6	1,8	-2,9	7,3	-21	182	-0,2	202	0,6	-	-
5	Луцьк	-4,2	-3,0	1,1	8,1	13,9	16,9	18,4	17,7	13,2	7,9	2,4	-2,4	7,5	-20	180	0,3	201	1,1	-	-
6	Дніпро	-4,7	-3,8	1,1	9,6	16,0	19,6	21,6	20,7	15,4	8,6	2,2	-2,5	8,7	-24	172	-0,2	188	0,6	57	21,6
7	Кривий Ріг	-4,3	-3,3	1,6	9,6	15,8	19,4	21,5	20,7	15,5	8,9	2,7	-2,0	8,8	-17	171	0,2	188	1,0	55	21,5
8	Донецьк	-5,2	-4,4	0,7	9,4	15,4	19,0	21,2	19,8	14,9	8,0	1,8	-2,9	8,1	-22	176	-0,5	192	0,3	47	21,3
9	Житомир	-5,1	-4,0	0,4	7,9	14,0	17,1	18,5	17,7	13,0	7,4	1,7	-2,8	7,2	-22	184	-0,2	203	0,5	-	-
10	Ужгород	-2,4	-0,2	4,7	10,8	15,8	18,7	20,3	19,8	15,5	10,2	4,7	-0,5	9,8	-18	154	1,4	175	2,5	28	20,7
11	Запоріжжя	-3,5	-2,6	2,0	10,1	16,4	20,2	22,4	21,4	16,2	9,6	3,5	-1,1	9,6	-21	166	0,6	182	1,4	69	22
12	Ів.-Франківськ	-4,3	-2,6	1,7	8,1	13,6	16,7	18,3	17,7	13,4	8,0	2,5	-2,4	7,6	-20	179	0,4	200	1,2	-	-
13	Кропивницький	-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	-22	175	-0,3	192	0,5	32	20,8
14	Луганськ	-5,0	-4,2	1,1	10,1	16,1	19,9	22,0	20,7	15,1	8,2	2,2	-2,5	8,6	-25	172	-0,4	188	0,4	61	21,7
15	Львів	-4,0	-2,7	1,4	7,9	13,4	16,3	17,7	17,2	13,0	8,0	2,5	-2,2	7,4	-19	179	0,4	201	1,2	-	-
16	Миколаїв	-2,6	-1,6	2,8	10,2	16,4	20,3	22,7	22,0	16,8	10,4	4,2	-0,4	10,1	-20	161	1,1	178	2,0	75	22,3
17	Одеса	-1,3	-0,6	2,9	9,2	15,3	19,6	22,0	21,6	17,0	11,3	5,8	1,1	10,3	-18	158	2,0	178	3,0	65	21,9
18	Полтава	-5,6	-4,7	0,3	9,0	15,4	18,7	20,5	19,7	14,3	7,7	1,3	-3,4	7,8	-23	178	-0,8	195	0,0	31	10,8
19	Рівне	-4,6	-3,4	0,7	8,0	13,8	16,7	18,2	17,5	13,1	7,7	2,1	-2,6	7,3	-21	182	0,1	202	0,8	-	-
20	Суми	-6,6	-5,8	-0,8	8,1	14,6	17,9	19,5	18,4	13,0	6,7	0,4	-4,3	6,8	-25	187	-1,4	204	-0,6	-	-
21	Тернопіль	-5,0	-3,7	0,4	7,6	13,5	16,4	17,8	17,2	12,8	7,5	1,8	-3,1	6,9	-20	184	-0,2	205	0,6	-	-
22	Харків	-5,9	-5,1	0,0	9,0	15,5	18,9	20,7	19,7	14,1	7,5	1,0	-3,7	7,6	-23	179	-1,0	196	-0,2	37	20,9
23	Херсон	-2,5	-1,6	2,8	10,1	16,1	20,0	22,4	21,6	16,5	10,1	4,3	-0,2	10,0	-19	163	1,3	181	2,2	69	22,1
24	Хмельницький	-4,9	-3,6	0,6	7,9	13,9	16,8	18,4	17,7	13,1	7,6	1,9	-2,9	7,2	-21	183	-0,1	203	0,7	-	-
25	Черкаси	-5,0	-4,0	0,7	8,9	15,2	18,4	20,1	19,3	14,2	7,9	2,0	-2,7	7,9	-21	178	-0,3	195	0,5	18	20,6
26	Чернівці	-4,1	-2,4	2,0	8,9	14,5	17,6	19,1	18,4	14,1	8,7	2,7	-2,1	8,1	-20	175	0,5	196	1,4	-	-
27	Чернігів	-5,9	-4,9	-0,1	8,0	14,4	17,6	19,2	18,1	12,9	6,9	1,0	-3,5	7,0	-23	187	-0,9	204	-0,2	-	-
28	Умань	-4,8	-3,7	0,9	8,7	14,6	17,8	19,4	18,6	13,6	7,7	2,0	-2,5	7,7	-20	179	-0,1	197	0,7	-	-
29	Феодосія	1,2	1,6	4,6	10,6	16,1	20,8	23,2	23,1	18,4	12,6	7,6	3,8	12,0	-15	142	3,6	163	4,3	83	23,3
30	Ковель	-3,9	-2,7	1,3	8,1	13,9	16,9	18,2	17,6	13,0	7,9	2,5	-1,9	7,6	-21	177	0,4	199	1,2	-	-

РОЗРАХУНКОВІ ТЕПЛОФІЗИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

Таблиця Г.1 – Розрахункові теплофізичні характеристики будівельних матеріалів

№.	Назва матеріалу	Характеристика в сухому стані			Розрахунковий вміст вологи за масою в умовах експлуатації w, %		Розрахункові характеристики в умовах експлуатації				
		густина ρ ₀ , кг/м ³	питома теплоємність c ₀ , кДж/(кг·К)	теплопровідність λ ₀ Вт/(м·К)			теплопровідність λ _p , Вт/(м·К)		коефіцієнт теплотасвоєння s, Вт/(м ² ·К)		коефіцієнт паропро-никності μ, мг/(м·год·Па)
					А	Б	А	Б	А	Б	А, Б
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1 ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНІ											
1.1 Волокнисті матеріали											
1	Вироби теплоізоляційні з мінеральної вати на основі базальтового волокна	30	0,84	0,039	0,5	1,0	0,046	0,050	0,29	0,31	0,55
		40	0,84	0,039	0,5	1,0	0,046	0,049	0,34	0,35	0,53
		50	0,84	0,038	0,5	1,0	0,044	0,048	0,37	0,39	0,52
		75	0,84	0,037	0,5	1,0	0,043	0,047	0,45	0,48	0,50
		100	0,84	0,038	0,5	1,0	0,044	0,048	0,53	0,56	0,47
		125	0,84	0,038	0,5	1,0	0,045	0,049	0,59	0,63	0,43
		150	0,84	0,039	0,5	1,0	0,048	0,050	0,67	0,69	0,38
		175	0,84	0,039	0,5	1,0	0,049	0,052	0,73	0,76	0,35
		200	0,84	0,040	0,5	1,0	0,050	0,053	0,79	0,83	0,31
		225	0,84	0,040	0,5	1,0	0,050	0,054	0,84	0,88	0,30

Продовження таблиці Г.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2	Вироби теплоізоляційні з мінеральної вати на основі скляного штапельного волокна	10	0,84	0,044	1	3	0,055	0,057	0,19	0,20	0,70
		15	0,84	0,040	1	3	0,050	0,052	0,22	0,23	0,65
		20	0,84	0,037	1	3	0,047	0,050	0,25	0,27	0,60
		35	0,84	0,035	1	3	0,044	0,047	0,31	0,34	0,53
		70	0,84	0,032	1	3	0,042	0,045	0,43	0,47	0,45
1.2 Полімерні матеріали											
3	Вироби пінополістирольні	15	1,34	0,040	2	10	0,045	0,055	0,28	0,33	0,05
		25	1,34	0,038	2	10	0,043	0,053	0,34	0,40	0,05
		35	1,34	0,037	2	10	0,041	0,050	0,40	0,46	0,05
		50	1,34	0,034	2	10	0,040	0,045	0,46	0,53	0,05
4	Плити пінополістирольні екструзійні	30	1,45	0,034	0,5	1	0,035	0,036	0,34	0,34	0,008
		35	1,45	0,035	0,5	1	0,036	0,037	0,37	0,38	0,008
5	Вироби з жорсткого пінополіуретану	40	1,47	0,029	2	5	0,040	0,040	0,40	0,42	0,05
		60	1,47	0,035	2	5	0,041	0,041	0,53	0,55	0,05
		80	1,47	0,041	2	5	0,050	0,050	0,67	0,70	0,05
6	Плити з резольно-формальдегідного пінопласту	40	1,68	0,038	5	20	0,041	0,060	0,48	0,66	0,23
		50	1,68	0,041	5	20	0,050	0,064	0,59	0,77	0,23
		100	1,68	0,047	5	20	0,052	0,076	0,85	1,18	0,15
7	Вироби зі спіненої карбамідно-формальдегідної смоли	15	1,68	0,047	7	30	0,058	0,064	0,27	0,34	0,51
		25	1,68	0,043	7	30	0,063	0,074	0,36	0,47	0,42
		30	1,68	0,041	7	30	0,070	0,085	0,42	0,56	0,40
8	Вироби зі спіненого пінополіетилену	30	1,34	0,043	2	5	0,044	0,047	0,30	0,33	0,02
		50	1,34	0,039	2	5	0,042	0,045	0,38	0,41	0,02
9	Вироби зі спіненого хімічно зшитого пінополіетилену	30	1,34	0,038	2	5	0,042	0,043	0,38	0,40	0,02

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1.3 Вироби з природної органічної та неорганічної сировини											
10	Вироби перлітофосфогельові	200	1,05	0,064	3	12	0,070	0,090	1,10	1,43	0,23
		300	1,05	0,076	3	12	0,080	0,120	1,43	2,02	0,20
11	Блоки полістиролбетонні стінові	200	1,06	0,065	4	8	0,070	0,080	1,12	1,28	0,12
		300	1,06	0,085	4	8	0,090	0,110	1,55	1,83	0,10
		600	1,06	0,145	4	8	0,175	0,200	3,07	3,49	0,068
12	Вироби теплоізоляційні перлітоцементні та перлітогіпсові	300	0,84	0,075	10	15	0,098	0,108	0,92	1,26	0,198
		450	0,84	0,086	10	15	0,118	0,202	1,89	2,63	0,18
13	Вироби перлітобентонітові теплоізоляційні	250	0,84	0,072	10	15	0,083	0,091	1,38	1,55	0,20
		300	0,84	0,082	10	15	0,098	0,110	1,64	1,85	0,15
		400	0,84	0,110	10	15	0,140	0,160	2,26	2,59	0,10
14	Целюлозний утеплювач	35	0,84	0,039	14	20	0,045	0,048	0,41	0,45	0,35
		50	0,84	0,039	14	21	0,048	0,052	0,50	0,57	0,34
		65	0,84	0,041	15	22	0,052	0,056	0,60	0,68	0,34
		100	0,84	0,056	16	24	0,066	0,070	0,85	0,97	0,33
15	Вироби цементополістирольні	250	0,84	0,066	4	8	0,09	0,1	1,29	1,45	0,1
		300	0,84	0,076	4	8	0,10	0,11	1,53	1,74	0,095
		400	0,84	0,096	4	8	0,12	0,15	2,02	2,33	0,08
		500	0,84	0,116	4	8	0,14	0,19	2,53	2,95	0,070
		550	0,84	0,126	4	8	0,15	0,21	2,78	3,28	0,068
16	Вироби перлітобітумні теплоізоляційні	300	1,68	0,087	1	2	0,09	0,099	1,84	1,95	0,04
		400	1,68	0,111	1	2	0,12	0,13	2,45	2,59	0,04
17	Піноскло	120	0,84	0,045	0,5	1	0,053	0,054	0,63	0,65	0,002
18	Блоки кремнезитоцементні	300	0,84	0,073	3	6	0,08	0,086	1,30	1,43	0,29
		400	0,84	0,083	3	6	0,09	0,096	1,59	1,75	0,23

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		500	0,84	0,093	3	6	0,10	0,11	1,87	2,1	0,17
19	Вироби з арболіту на портландцементі	300	2,30	0,07	10	15	0,11	0,14	2,56	2,99	0,30
		400	2,30	0,08	10	15	0,13	0,16	3,21	3,70	0,26
		600	2,30	0,12	10	15	0,18	0,23	4,63	5,43	0,11
		800	2,30	0,16	10	15	0,24	0,3	6,17	7,16	0,11
20	Плити теплоізоляційні очеретяні	200	2,30	0,06	10	15	0,07	0,09	1,67	1,96	0,49
		300	2,30	0,07	10	15	0,09	0,14	2,31	2,99	0,45
21	Плити деревноволокнисті та деревностружкові	200	2,30	0,06	10	12	0,07	0,08	1,67	1,81	0,24
		400	2,30	0,08	10	12	0,11	0,13	2,95	3,26	0,19
		600	2,30	0,11	10	12	0,13	0,16	3,93	4,43	0,13
		800	2,30	0,13	10	12	0,19	0,23	5,49	6,13	0,12
		1000	2,30	0,15	10	12	0,23	0,29	6,75	7,7	0,12
1.4 Бетони теплоізоляційні											
22	Бетони ніздрюваті	200	0,84	0,055	4	6	0,069	0,074	1,01	1,09	0,28
		250	0,84	0,065	4	6	0,078	0,088	1,20	1,32	0,28
		300	0,84	0,080	4	6	0,09	0,10	1,41	1,54	0,26
		350	0,84	0,090	4	6	0,10	0,12	1,60	1,83	0,24
23	Вермикулітобетон	400	0,84	0,09	8	13	0,11	0,13	1,94	2,29	0,19
		600	0,84	0,14	8	13	0,16	0,17	2,87	3,21	0,15
		800	0,84	0,21	8	13	0,23	0,26	3,97	4,58	0,12
1.5 Матеріали теплоізоляційні засипні											
24	Щебінь перлітовий	300	0,84	0,112	1	2	0,115	0,12	1,42	1,51	0,26
25	Гравій шлаковий	300	0,84	0,112	1	3	0,12	0,13	1,56	1,65	0,22
26	Щебінь шлаковий	350	0,84	0,162	1	3	0,17	0,19	2,00	2,16	0,21
27	Вермикулітова засипка	100	0,84	0,055	1	3	0,067	0,08	0,66	0,75	0,3
		150	0,84	0,060	1	3	0,074	0,098	0,84	1,02	0,26

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		200	0,84	0,065	1	3	0,08	0,105	1,01	1,16	0,23
		250	0,84	0,070	2	3	0,09	0,11	1,20	1,39	0,20
28	Гравій керамзитовий	200	0,84	0,099	2	3	0,11	0,12	1,22	1,3	0,27
		300	0,84	0,11	2	3	0,12	0,13	1,56	1,66	0,25
		400	0,84	0,12	2	3	0,13	0,14	1,87	1,99	0,24
		600	0,84	0,14	2	3	0,17	0,19	2,62	2,83	0,23
		600	0,84	0,14	2	3	0,17	0,2	2,62	2,91	0,23
		800	0,84	0,18	2	3	0,21	0,23	3,36	3,6	0,21
29	Щебінь шлакопемзовий	400	0,84	0,12	2	3	0,14	0,16	1,94	2,12	0,26
		500	0,84	0,14	2	3	0,16	0,19	2,32	2,59	0,25
		600	0,84	0,15	2	3	0,18	0,21	2,70	2,98	0,24
		700	0,84	0,16	2	3	0,19	0,23	2,99	3,37	0,23
		800	0,84	0,18	2	3	0,21	0,26	3,36	3,83	0,22
30	Крихта з піноскла	80	0,84	0,06	0,5	1,0	0,070	0,071	0,60	0,62	0,28
31	Пісок для будівельних робіт	1600	0,84	0,35	1	2	0,47	0,58	6,95	7,91	0,17
1.6 Розчини теплоізоляційні											
32	Розчини цементно-перлітові	600	0,84	0,14	10	15	0,19	0,23	3,24	3,84	0,17
		800	0,84	0,16	7	12	0,21	0,26	3,73	4,51	0,16
		1000	0,84	0,21	7	12	0,26	0,30	4,64	5,42	0,15
33	Розчини гіпсоперлітові	400	0,84	0,09	6	10	0,13	0,15	2,03	2,35	0,53
		500	0,84	0,12	6	10	0,15	0,19	2,44	2,95	0,43
34	Розчини цементно-кремнезитові	200	0,84	0,063	4	8	0,072	0,08	1,03	1,17	0,35
		300	0,84	0,073	4	8	0,082	0,09	1,34	1,52	0,29
35	Розчини цементно-шлакові	1200	0,84	0,35	2	4	0,47	0,58	6,16	7,15	0,14
		1400	0,84	0,41	2	4	0,52	0,64	7,0	8,11	0,11
36	Розчини цементно-пінополістирольні	600	0,84	0,10	4	10	0,12	0,17	2,33	3,06	0,07

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		200	0,84	0,065	1	3	0,08	0,105	1,01	1,16	0,23
		250	0,84	0,070	2	3	0,09	0,11	1,20	1,39	0,20
28	Гравій керамзитовий	200	0,84	0,099	2	3	0,11	0,12	1,22	1,3	0,27
		300	0,84	0,11	2	3	0,12	0,13	1,56	1,66	0,25
		400	0,84	0,12	2	3	0,13	0,14	1,87	1,99	0,24
		600	0,84	0,14	2	3	0,17	0,19	2,62	2,83	0,23
		600	0,84	0,14	2	3	0,17	0,2	2,62	2,91	0,23
		800	0,84	0,18	2	3	0,21	0,23	3,36	3,6	0,21
29	Щебінь шлакопемзовий	400	0,84	0,12	2	3	0,14	0,16	1,94	2,12	0,26
		500	0,84	0,14	2	3	0,16	0,19	2,32	2,59	0,25
		600	0,84	0,15	2	3	0,18	0,21	2,70	2,98	0,24
		700	0,84	0,16	2	3	0,19	0,23	2,99	3,37	0,23
		800	0,84	0,18	2	3	0,21	0,26	3,36	3,83	0,22
30	Крихта з піноскла	80	0,84	0,06	0,5	1,0	0,070	0,071	0,60	0,62	0,28
31	Пісок для будівельних робіт	1600	0,84	0,35	1	2	0,47	0,58	6,95	7,91	0,17
1.6 Розчини теплоізоляційні											
32	Розчини цементно-перлітові	600	0,84	0,14	10	15	0,19	0,23	3,24	3,84	0,17
		800	0,84	0,16	7	12	0,21	0,26	3,73	4,51	0,16
		1000	0,84	0,21	7	12	0,26	0,30	4,64	5,42	0,15
33	Розчини гіпсоперлітові	400	0,84	0,09	6	10	0,13	0,15	2,03	2,35	0,53
		500	0,84	0,12	6	10	0,15	0,19	2,44	2,95	0,43
34	Розчини цементно-кремнезитові	200	0,84	0,063	4	8	0,072	0,08	1,03	1,17	0,35
		300	0,84	0,073	4	8	0,082	0,09	1,34	1,52	0,29
35	Розчини цементно-шлакові	1200	0,84	0,35	2	4	0,47	0,58	6,16	7,15	0,14
		1400	0,84	0,41	2	4	0,52	0,64	7,0	8,11	0,11
36	Розчини цементно-пінополістирольні	600	0,84	0,10	4	10	0,12	0,17	2,33	3,06	0,07

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		1600	0,84	0,58	5	10	0,67	0,79	9,06	10,77	0,09
		1800	0,84	0,66	5	10	0,80	0,92	10,5	12,33	0,09
41	Керамзитобетон на кварцовому піску з поризацією	800	0,84	0,23	4	8	0,29	0,35	4,13	4,9	0,075
		1000	0,84	0,33	4	8	0,41	0,47	5,49	6,35	0,075
		1200	0,84	0,41	4	8	0,52	0,58	6,77	7,72	0,075
42	Керамзитобетон на перлітовому піску	800	0,84	0,22	9	13	0,29	0,35	4,54	5,32	0,17
		1000	0,84	0,28	9	13	0,35	0,41	5,57	6,43	0,15
43	Керамзитошлакобетон	1000	0,84	0,25	4	8	0,33	0,41	5,06	5,91	0,15
44	Перлітобетон	600	0,84	0,12	10	15	0,19	0,23	3,24	3,84	0,3
		800	0,84	0,16	10	15	0,27	0,33	4,45	5,32	0,26
		1000	0,84	0,22	10	15	0,33	0,38	5,5	6,38	0,19
		1200	0,84	0,29	10	15	0,44	0,5	6,96	8,01	0,15
45	Шлакопемзобетон	1000	0,84	0,23	5	8	0,31	0,37	4,87	5,63	0,11
		1200	0,84	0,29	5	8	0,37	0,44	5,83	6,73	0,11
		1400	0,84	0,35	5	8	0,44	0,52	6,87	7,9	0,098
		1600	0,84	0,41	5	8	0,52	0,63	7,98	9,29	0,09
46	Бетон на доменних гранульованих шлаках	1200	0,84	0,35	5	8	0,47	0,52	6,57	7,31	0,11
		1400	0,84	0,41	5	8	0,52	0,58	7,46	8,34	0,098
		1600	0,84	0,47	5	8	0,58	0,64	8,43	9,37	0,09
47	Бетон на зольному гравії	1000	0,84	0,24	5	8	0,30	0,35	4,79	5,48	0,12
		1200	0,84	0,35	5	8	0,41	0,47	6,14	6,95	0,11
		1400	0,84	0,47	5	8	0,52	0,58	7,46	8,34	0,09
2.3 Вироби гіпсові											
48	Плити з гіпсу	1000	0,84	0,23	4	6	0,29	0,35	4,62	5,28	0,11
		1200	0,84	0,35	4	6	0,41	0,47	6,01	6,7	0,1
49	Листи гіпсокартонні	800	0,84	0,15	4	6	0,19	0,21	3,34	3,66	0,075

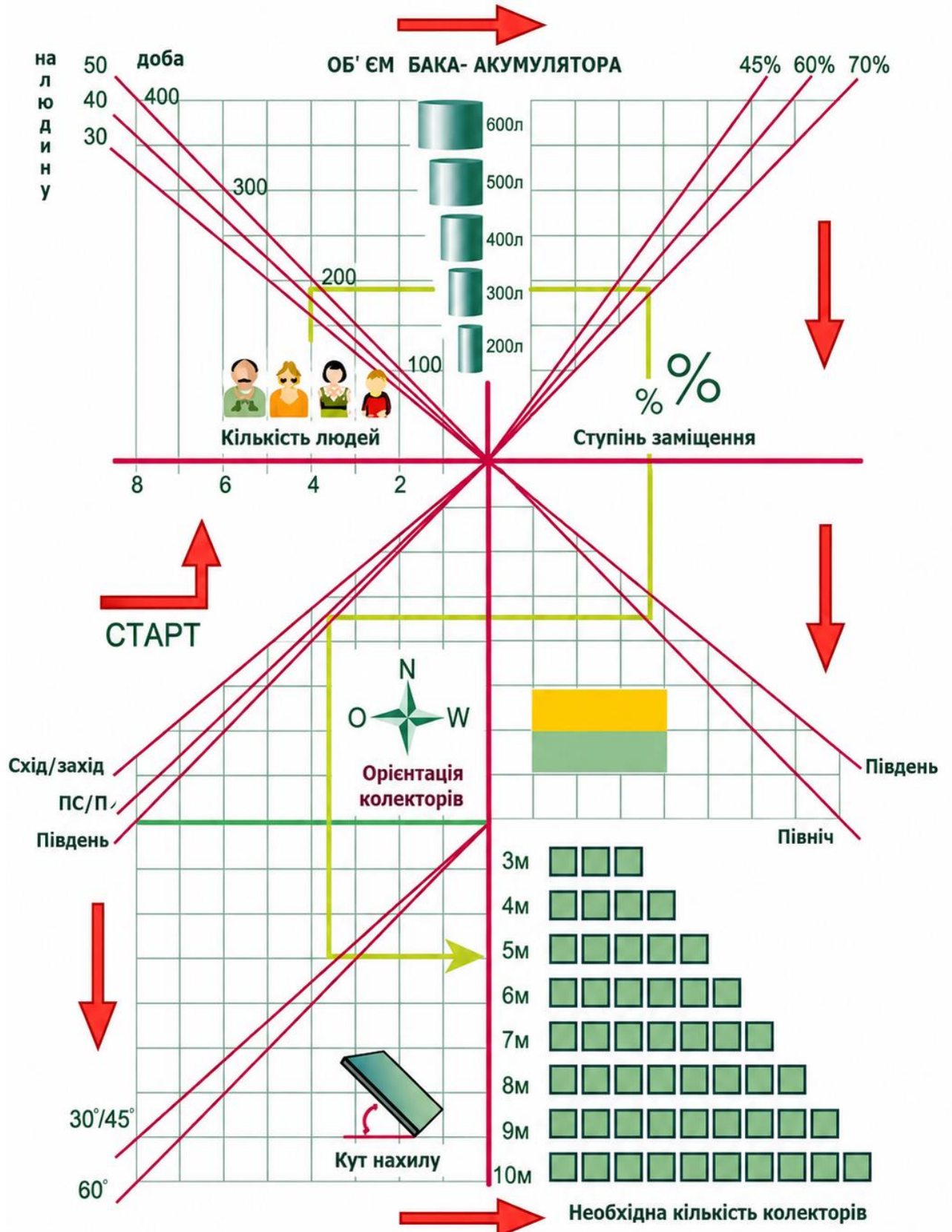
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2.4 Вироби бетонні											
50	Блоки кремнезитоцементні	700	0,84	0,2	4	8	0,21	0,23	3,28	3,63	0,19
		800	0,84	0,21	4	8	0,22	0,24	3,59	4,05	0,17
		1000	0,84	0,23	4	8	0,23	0,27	4,28	4,81	0,13
		1200	0,84	0,25	4	8	0,27	0,29	4,87	5,45	0,11
2.5 Деревина та вироби з неї											
51	Сосна та ялина поперек волокон	500	2,3	0,09	15	20	0,14	0,18	3,87	4,54	0,06
52	Сосна та ялина вздовж волокон	500	2,3	0,18	15	20	0,29	0,35	5,56	6,33	0,32
53	Дуб поперек волокон	700	2,3	0,10	10	15	0,18	0,23	5,0	5,86	0,05
54	Дуб вздовж волокон	700	2,3	0,23	10	15	0,35	0,41	6,9	7,83	0,3
55	Фанера клеєна	600	2,3	0,12	10	13	0,15	0,18	4,22	4,73	0,02
56	Картон облицювальний	1000	2,3	0,18	5	10	0,21	0,23	6,2	6,75	0,06
57	Картон будівельний багатошаровий	650	2,3	0,13	6	12	0,15	0,18	4,26	4,89	0,083
2.6 Цегляна кладка з порожнистої цегли											
58	Керамічної порожнистої густиною 1400 кг/м³ (брутто) на цементно-піщаному розчині	1600	0,88	0,47	1	2	0,58	0,64	7,91	8,48	0,14
59	Керамічної порожнистої густиною 1300 кг/м³ (брутто) на цементно-піщаному розчині	1400	0,88	0,41	1	2	0,52	0,58	7,01	7,56	0,16
60	Керамічної порожнистої густиною 1000 кг/м³ (брутто) на цементно-піщаному розчині	1200	0,88	0,35	1	2	0,47	0,52	6,16	6,62	0,17
2.7 Кладка з виробів бетонних											
61	3 блоків керамзитошлакобетонних на цементно-піщаному розчині густиною 800 кг/м³ (брутто)	1350	0,88	0,31	1	2	0,37	0,43	5,06	5,91	0,15
62	3 блоків керамзитошлакобетонних на цементно-піщаному розчині густиною 850 кг/м³ (брутто)	1400	0,88	0,34	1	2	0,46	0,51	5,95	6,41	0,15
63	3 блоків кремнезитоцементних на вапняному розчині із сіопорового та кварцового піску	400	0,88	0,085	3	6	0,09	0,092	1,62	1,74	0,22

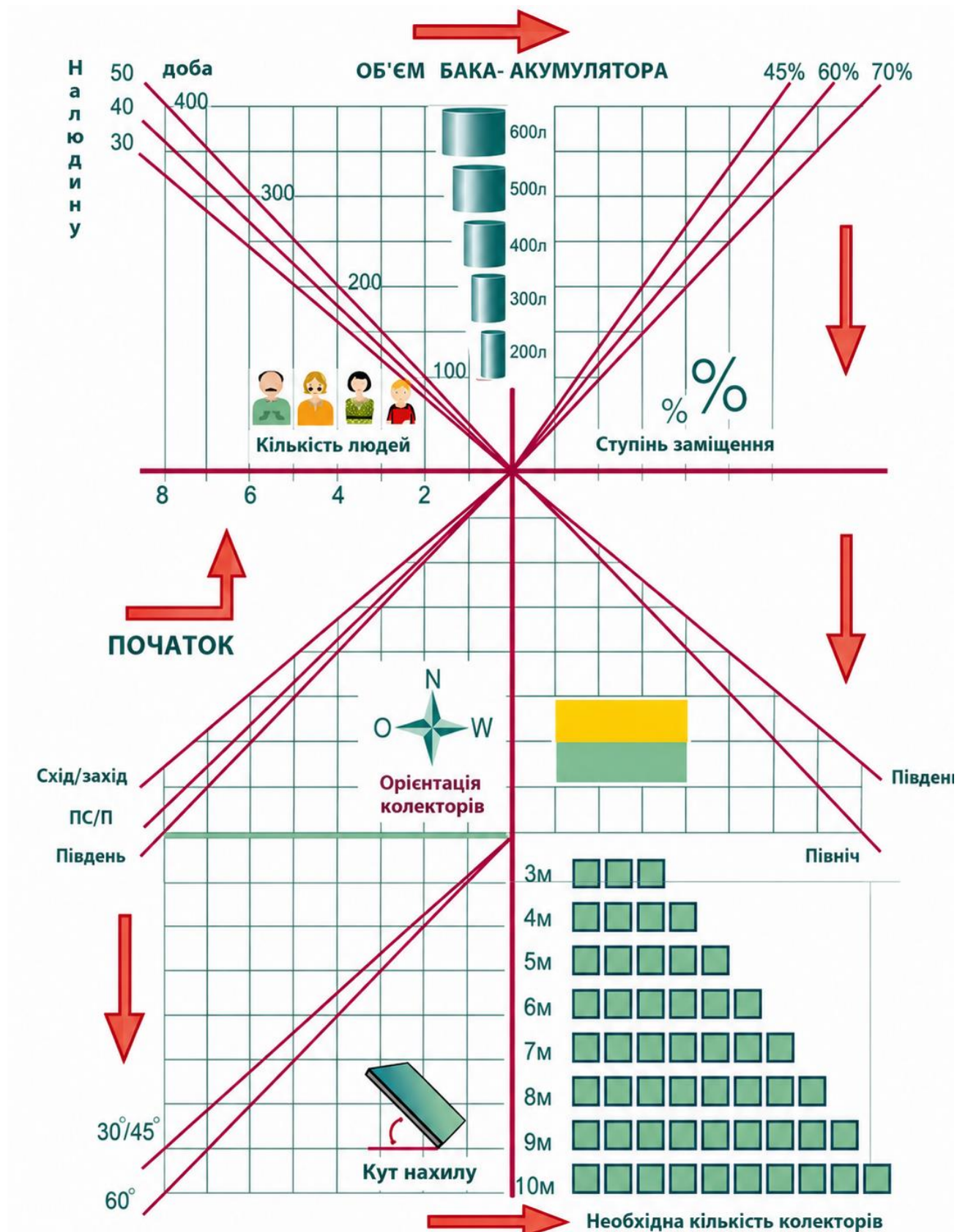
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
3 МАТЕРІАЛИ КОНСТРУКЦІЙНІ											
3.1 Бетони конструкційні											
64	Залізобетон	2500	0,84	1,69	2	3	1,92	2,04	17,98	18,95	0,03
65	Бетон на гравії або щебені з природного каменю	2400	0,84	1,51	2	3	1,74	1,86	16,77	17,88	0,03
3.2 Розчини будівельні											
66	Розчин вапняно-піщаний	1600	0,84	0,47	2	4	0,70	0,81	8,69	9,76	0,12
67	Розчин складний (пісок, вапно, цемент)	1700	0,84	0,52	2	4	0,70	0,87	8,95	10,42	0,098
68	Розчин цементно-піщаний	1800	0,84	0,58	2	4	0,76	0,93	9,6	11,09	0,09
3.3 Облицювання природним каменем та керамічною плиткою											
69	Плити та вироби з природного каменю: - граніт, гнейс та базальт	2800	0,88	3,49	0	0	3,49	3,49	25,04	25,04	0,008
70	- мармур	2800	0,88	2,91	0	0	2,91	2,91	22,86	22,86	0,008
71	- вапняк	1600	0,88	0,58	2	3	0,73	0,81	9,06	9,75	0,09
		1800	0,88	0,70	2	3	0,93	1,05	10,85	11,77	0,075
		2000	0,88	0,93	2	3	1,16	1,28	12,77	13,7	0,06
72	- туф	1000	0,88	0,21	3	5	0,24	0,29	4,2	4,8	0,11
		1200	0,88	0,27	3	5	0,35	0,41	5,55	6,25	0,11
		1400	0,88	0,33	3	5	0,43	0,52	6,64	7,6	0,098
		1600	0,88	0,41	3	5	0,52	0,64	7,81	9,02	0,09
		1800	0,88	0,56	3	5	0,7	0,81	9,61	10,76	0,083
		2000	0,88	0,76	3	5	0,93	1,05	11,68	12,92	0,075
73	Плити керамічні для підлоги	2000	0,88	0,89	3	5	0,96	1,1	11,63	12,55	0,06
3.4 Кладка цегляна з повнотілої цегли											
74	Керамічної звичайної на цементно-піщаному розчині	1800	0,88	0,56	1	2	0,70	0,81	9,2	10,12	0,11
75	Керамічної звичайної на цементно-шлаковому розчині	1700	0,88	0,52	1,5	3	0,64	0,76	8,64	9,7	0,12
76	Керамічної звичайної на цементно-перлітовому розчині	1600	0,88	0,47	2	4	0,58	0,70	8,08	9,23	0,15

Мінімально допустиме значення опору теплопередачі огорожувальної конструкції житлових та громадських будівель $R_{q \min}$ [10]

Ч.ч	Вид огорожувальної конструкції	Значення $R_{q \min}$, $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$, для температурної зони	
		I	II
1	Зовнішні стіни	3,3	2,8
2	Суміщені покриття	6,0	5,5
3	Покриття опалювальних горищ (технічних поверхів) та покриття мансардного типу	4,95	4,5
4	Горищні перекриття неопалювальних горищ	4,95	4,5
5	Перекриття над проїздами та неопалювальними підвалами	3,75	3,3
6	Світлопрозорі огорожувальні конструкції	0,75	0,6
7	Зовнішні двері	0,6	0,5

Блок-схема розрахунку кількості сонячних колекторів для певних умов
(приклад)





ДОДАТОК 2

Середній місячний рівень сонячної радіації(сонячна постійна) в містах України (кВт год/м²/день)

Середній показник за останні 22 роки (За даними NASA)

Регіони / Місяці	січ	лют	берез	квіт	трав	черв	лип	серп	верес	жовт	лист	груд	Середнє
Сімферополь	1,27	2,06	3,05	4,30	5,44	5,84	6,20	5,34	4,07	2,67	1,55	1,07	3,58
Вінниця	1,07	1,89	2,94	3,92	5,19	5,3	5,16	4,68	3,21	1,97	1,10	0,9	3,11
Луцьк	1,02	1,77	2,83	3,91	5,05	5,08	4,94	4,55	3,01	1,83	1,05	0,79	2,99
Дніпропетровськ	1,21	1,99	2,98	4,05	5,55	5,57	5,70	5,08	3,66	2,27	1,20	0,96	3,36
Донецьк	1,21	1,99	2,94	4,04	5,48	5,55	5,66	5,09	3,67	2,24	1,23	0,96	3,34
Житомир	1,01	1,82	2,87	3,88	5,16	5,19	5,04	4,66	3,06	1,87	1,04	0,83	3,04
Ужгород	1,13	1,91	3,01	4,03	5,01	5,31	5,25	4,82	3,33	2,02	1,19	0,88	3,16
Запоріжжя	1,21	2,00	2,91	4,20	5,62	5,72	5,88	5,18	3,87	2,44	1,25	0,95	3,44
Івано-Франківськ	1,19	1,93	2,84	3,68	4,54	4,75	4,76	4,40	3,06	2,00	1,20	0,94	2,94
Київ	1,07	1,87	2,95	3,96	5,25	5,22	5,25	4,67	3,12	1,94	1,02	0,86	3,10
Кіровоград	1,20	1,95	2,96	4,07	5,47	5,49	5,57	4,92	3,57	2,24	1,14	0,96	3,30
Луганськ	1,23	2,06	3,05	4,05	5,46	5,57	5,65	4,99	3,62	2,23	1,26	0,93	3,34
Львів	1,08	1,83	2,82	3,78	4,67	4,83	4,83	4,45	3,00	1,85	1,06	0,83	2,92
Миколаїв	1,25	2,10	3,07	4,38	5,65	5,85	6,03	5,34	3,93	2,52	1,36	1,04	3,55
Одеса	1,25	2,11	3,08	4,38	5,65	5,85	6,04	5,33	3,93	2,52	1,36	1,04	3,55
Полтава	1,18	1,96	3,05	4,00	5,40	5,44	5,51	4,87	3,42	2,11	1,15	0,91	3,25
Рівне	1,01	1,81	2,83	3,87	5,08	5,17	4,98	4,58	3,02	1,87	1,04	0,81	3,01
Суми	1,13	1,93	3,05	3,98	5,27	5,32	5,38	4,67	3,19	1,98	1,10	0,86	3,16
Тернопіль	1,09	1,86	2,85	3,85	4,84	5,00	4,93	4,51	3,08	1,91	1,09	0,85	2,99
Харків	1,19	2,02	3,05	3,92	5,38	5,46	5,56	4,88	3,49	2,10	1,19	0,9	3,26
Херсон	1,30	2,13	3,08	4,36	5,68	5,76	6,00	5,29	4,00	2,57	1,36	1,04	3,55
Хмельницький	1,09	1,86	2,87	3,85	5,08	5,21	5,04	4,58	3,14	1,98	1,10	0,87	3,06
Черкаси	1,15	1,91	2,94	3,99	5,44	5,46	5,54	4,87	3,40	2,13	1,09	0,91	3,24
Чернігів	0,99	1,80	2,92	3,96	5,17	5,19	5,12	4,54	3,00	1,86	0,98	0,75	3,03
Чернівці	1,19	1,93	2,84	3,68	4,54	4,75	4,76	4,40	3,06	2,00	1,20	0,94	2,94

Навчальне видання

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до практичних занять та самостійної роботи з дисципліни
«ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ТА ЕКОСИСТЕМА МІСТ»
(Екосистема міст).
(для здобувачів вищої освіти спеціальності
192 «Будівництво та цивільна інженерія»)
(Електронне видання)

Укладачі:

ТАТАРЧЕНКО Галина Олегівна
БІЛОШИЦЬКИЙ Микола Володимирович
БІЛОШИЦЬКА Наталія Іванівна
ТАТАРЧЕНКО Захар Сергійович

Техн. редактор	О.Ю. Ігнатова
Оригінал - макет	Г.О. Татарченко

Підписано до друку _____
Формат 60×84¹/₁₆. Папір типограф. Гарнітура Times.
Друк офсетний. Умов. друк. арк. _____. Обл.-вид. арк. _____.
Тираж ____ прим. Вид. № _____. Замовл. № _____. Ціна договірна.

Видавництво Східноукраїнського національного університету
імені Володимира Даля

Адреса видавництва: м. Київ, вул. Іоанна Павла II буд 17, Телефон: +38(050)
218 04 78, факс (064 52) 4 03 42
E-mail: vidavnictvosnu.ua@gmail.com