

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені Володимира Даля

КАФЕДРА БУДІВНИЦТВА, УРБАНІСТИКИ ТА ПРОСТОРОВОГО
ПЛАНУВАННЯ



МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
для самостійної роботи до практичних занять 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 для самостійної роботи до практичних занять 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. – 84 с.

Методичні рекомендації для самостійної роботи передбачають вивчення та засвоєння студентами практичних навичок у дисципліні «Енергоефективність та екосистема міст». Основною метою є закріплення науково-теоретичних знань та практичних умінь у визначенні проблем, пошуку резервів та напрямків, а також створення комфортного середовища в урбанізованих територіях з урахуванням природно-кліматичних факторів. Це включає закономірності формування штучного середовища та забезпечення його гармонії з природним. Студенти ознайомляться з основними сучасними концепціями та технологічними підходами до реорганізації індустріальних напрямків, які спрямовані на зменшення забруднення та збереження природних ресурсів на локальному, регіональному та глобальному рівнях. У практичних роботах представлені теми, мета та завдання роботи, а в кінці методичних рекомендацій 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.виклад.

Рецензент:

П.Є. Уваров, к.т.н., доц.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 1.....	8
Визначення необхідної ширини шумозахисної смуги.....	8
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 2.....	13
Санітарно-гігієнічне оцінювання зелених рослин у населених пунктах	13
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 3.....	19
Системи попереднього накопичення побутових відходів та розрахунок контейнерів для тимчасового зберігання побутових відходів	19
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 4.....	24
Енергозбереження при використанні повітряних завіс	24
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 5.....	41
Геотермальна енергія. Розрахунок геотермальних енергетичних установок. Використання теплової енергії океанів	41
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 6.....	49
Розрахунок біоенергетичних установок	49
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 7.....	56
Оцінка ефективності витрат електроенергії на технологічне устаткування й спорядження.....	56
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	74
ДОДАТОК А	77
ДОДАТОК Б.....	78
До ПЗ 6.....	82
ДОДАТОК 1	82
ДОДАТОК 2	82
ДОДАТОК 3	83

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, різноманітням 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 проектування 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

ВИЗНАЧЕННЯ НЕОБХІДНОЇ ШИРИНИ ШУМОЗАХИСНОЇ СМУГИ

Мета роботи: визначити необхідну ширину шумозахисної зеленої смуги та розробити заходи у разі неможливості розширення зеленої смуги поблизу навчальних закладів та житлових будівель.

Теоретичні відомості

Акустичний вплив і вібрація.

Шум являє собою безладні акустичні коливання. Акустичні коливання у залежності від частоти поділяються на:

- інфразвукові з частотою коливань менше 16 Гц;
- звук, що сприймається органами слуху людини від 16 до 20000 Гц;
- ультразвук, понад 20000 Гц;
- гіперзвук, з частотами від $2 \cdot 10^4$ до 10^9 Гц.

Чутливість нашого вуха залежить від частоти звуку. Прийнято поділяти шуми на:

- низькочастотний, нижче 350 Гц;
- середньочастотний, від 350 до 800 Гц;
- високочастотний, вище 800 Гц.

Таким чином, при малій частоті коливань, звук сприймається як низький, при великій частоті – як високий. Високі звуки чинять більш несприятливу дію на слух і на весь організм людини, ніж низькі. Тому шум, у спектрі якого переважають високі частоти, більш шкідливий, ніж шум з низькочастотним спектром.

Людський слух реагує не на абсолютний, а на відносний приріст гучності звуку. Тобто, фізіологічне відчуття однакових приростів виникає при зміні сили звуку не на однакову кількість одиниць, а в однакове число разів. Так, зміна звукового тиску у 10 разів (від 1 до 10 бар, від 10 до 100 бар і т.д.) завжди сприймається як однаковий приріст гучності. Одиницю зміни гучності у 10 разів

назвали «белом». Значить, якщо інтенсивність одного звуку більше іншого в 10 разів, то другий звук більше першого на 1 бел, якщо у 100 разів, то на 2 бели, якщо в 10000 разів, то на 4 бела і т.д. Однак більш зручно користуватися одиницею, яка у 10 разів менше бела, тобто децибелом (дБ).

В Україні прийняті санітарні норми для житлових будинків, середній допустимий рівень звуків:

- у денний час – 55 дБ, максимальний – 70 дБ;
- у нічний – 45 дБ, максимальний – 60 дБ.

Основні джерела шуму у місті – це автотранспорт, рейковий і повітряний транспорт, промислові підприємства. Найбільші рівні шуму зазначаються на:

- магістралях загальноміського значення – 68–78 дБ;
- магістралях районного значення – 62–78 дБ;
- житлових вулицях – 51–60 дБ.

Особливо до зростання рівнів шуму призводить збільшення у загальному потоці автотранспорту великовантажних автомобілів з дизельними двигунами.

Згідно з чинним в Україні та світі стандартом рівень шуму, створюваного автотранспортом (акустична характеристика), визначають за допомогою приладу — шумовимірювача на відстані 7 м від найближчої смуги руху транспортного потоку до розрахункової точки.

Якщо такого пристрою немає, то для наближеного визначення рівня шуму на вказаній відстані (Y_7) можна скористатися формулою Орнатського, яка враховує фізичні закони поширення звукових хвиль у навіколоземному просторі:

$$Y_7 = 46 + 11,8 \cdot \lg N + \Sigma_n, \quad (1.1)$$

де N – інтенсивність руху транспортного потоку, авто/год;

Σ_n – сума поправок, яка враховує відхилення шумів від типових.

Поправки визначаються згідно формули:

$$\Sigma_n = X_n + X_v \pm X_i + X_{тр}, \quad (1.2)$$

де X_n – поправка на співвідношення громадського та вантажного транспорту у транспортному потоці (змінюється на +1дБ на кожні 10% відхилення від 60%-ого співвідношення);

X_v – поправка на відхилення швидкості руху (змінюється на +1дБ на кожні 10% відхилення від 40 км/год);

X_i – поправка на схил дороги (зростає на +1дБ на кожні 2% схилу дороги – табл. 4.1);

$X_{тр}$ – при наявності трамваю впродовж вулиці ця поправка складає +3дБ.

Таблиця 1.1.

Поправка X_i на схил дороги, дБ

Схил впродовж дороги, %	Поправка X_i з урахуванням уклону дороги при даному внеску вантажівок та громадського транспорту (автобуси, трамваї, тролейбуси) у загальний транспортний потік, %						
	0	5	20	30	40	70	100
20	0,5	1,0	1,0	1,0	1,5	1,5	1,5
40	1,0	1,5	2,5	2,5	2,5	3,0	3,0
60	1,0	2,5	3,5	3,5	4,0	4,5	5,0
80	1,5	3,5	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5
100	2,0	4,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0

Наступним кроком необхідно розрахувати рівень шуму від автомагістралі поруч з об'єктом (Y_n). Розрахунок проводиться за формулою Карагодіна:

$$Y_n = Y_7 - X_1 - X_2 - X_3 - X_4, \quad (1.3)$$

де Y_n – рівень шуму від джерела на певній відстані (n метрів);

Y_7 – рівень шуму на відстані 7 м від джерела;

X_1 – зниження шуму внаслідок поширення звукових хвиль у атмосфері;

X_2 – зниження шуму під впливом земної поверхні;

X_3 – зниження шуму під впливом зелених насаджень;

X_4 – ефект поглинання шуму будівлями (умовно приймається 25 дБ).

На відстані P_0 рівень шуму знизиться на величину X_1 :

$$X_1 = 10 \cdot \lg \left(\frac{P_0}{P_7} \right), \quad (1.4)$$

де P_0 – точка на певній відстані від джерела шуму;

P_7 – точка на відстані 7 м від джерела шуму.

$$X_2 = K_{\text{п}} \cdot X_1, \quad (1.5)$$

де $K_{\text{п}}$ – коефіцієнт поглинання шуму, який складає для асфальту – 0,9, для відкритого ґрунту – 1, для газону – 1,1.

$$X_3 = K_3 \cdot X_1, \quad (1.6)$$

де K_3 – коефіцієнт зниження звукової енергії зеленими насадженнями, який складає 1,2 для смуги з двох рядів дерев з чагарником середньої щільності та шириною 6 м і 1,5 – для тієї самої смуги з чагарниками і деревами, що мають висоту не менше 7 м і крони яких вже змикнулися.

Допустимі рівні шуму на різних територіях наведені у табл. 1.2.

Таблиця 1.2.

Допустимі рівні шуму на різних територіях

Характер території	Характер території	
	з 7:00 до 23:00	з 23:00 до 7:00
Зона для розміщення житлового фонду	55	45
Зони масового відпочинку та туризму	50	40
Санітарно-курортна зона	45	35
Заповідники	25	20
Житлові будинки, що розташовані поблизу транспортних магістралей	35	25

Завдання:

1. Визначити наближене значення рівня шуму на відстані 7 м від автомагістралі поблизу навчального закладу та житлового будинку за формулою Орнатського.

2. Визначити наближене значення рівня шуму поруч з навчальним закладом та жилим будинком за формулою Карагодіна.

3. Зіставите з допустимим рівнем шуму розраховані дані та запропонуйте шляхи боротьби з надмірним шумом поблизу навчального закладу і жилого будинку.

Питання для самоконтролю

1. Поділ акустичних коливань в залежності від частоти.
2. Поділ шумів за частотою звуку.
3. Санітарні норми для житлових будинків, середній допустимий рівень звуків.
4. Основні джерела шуму у місті.
5. Шумове забруднення міського середовища та сучасні методи зменшення шумового впливу на людей.
6. Шум екологічний.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 2

САНІТАРНО-ГІГІЄНІЧНЕ ОЦІНЮВАННЯ ЗЕЛЕНИХ РОСЛИН У НАСЕЛЕНИХ ПУНКТАХ

Мета роботи: оволодіти методикою санітарно-гігієнічного оцінювання зелених рослин у населених пунктах. Визначити кількості накопичених шкідливих речовин та зробити висновки щодо утилізації опалого листя.

Теоретичні відомості

Функції рослинного покриву в містах. Неоднорідність умов зростання, контроль з боку людини зумовлює неоднорідність складу і нерівномірність розміщення рослинності в місті.

Крім традиційних функцій, які виконує рослинний блок у будь-якій екосистемі, а саме – виробництво первинної продукції в результаті фотосинтезу, споживаної потім консументами і редуцентами, і формування життєвого простору для консументів і редуцентів, – в урбоекосистемі суттєвого значення набувають такі функції рослинності, як:

- охолодження міського «острова тепла» завдяки збільшенню альбедо поверхні і транспірації;
- стабілізація вітрового режиму, «розвантаження» повітряних мас;
- збільшення відносної вологості повітря;
- виділення кисню в атмосферу, збільшення концентрації негативно заряджених іонів в атмосфері над деревно-кущовими насадженнями;
- виділення біологічно активних речовин, що пригнічують розвиток патогенних агентів в атмосфері;
- поглинання забруднювальних атмосферне повітря пилу і газів;
- зниження рівня шуму внаслідок поглинання енергії під час механічних коливань;
- затримання частини опадів і зменшення поверхневого стоку;

- у водних і болотяних екосистемах – формування умов аеробного розкладання забруднювальних речовин, поглинання біогенних елементів;
- поліпшення структури, збільшення проникності і в деяких випадках родючості ґрунтів;
- затримання снігового покриву і талих вод;
- закріплення ґрунтів, зниження рівня ерозії;
- поліпшення візуальних властивостей урбанізованих ландшафтів.

Системи озеленення у містах повинні завжди удосконалюватися, та пристосовуватися до мінливого навколишнього світу. За територіальною ознакою озеленені простори поділяють на *внутрішньоміські*, які знаходяться у межах адміністративних рамок міста, у забудові, і об'єкти, розташовані за межами міської забудови у *зеленій, або приміській, зоні*.

За функціональним призначенням об'єкти озеленення розділяють на наступні групи:

- *загального користування* – загальноміські і районні парки, спеціалізовані парки; міські сади і сади житлових районів, міжквартальні або при групі житлових будинків; сквери на площах, у відступах забудови; бульвари уздовж вулиць, пішохідних трас, на набережних;
- *обмеженого користування* – на ділянках житлових будинків, дитячих установ, шкіл, ВУЗів, технікумів, культурно-освітніх установ, спортивних споруд, установ охорони здоров'я і санаторіїв, промислових підприємств, складської зони;
- *спеціального призначення* – магістралі і вулиці; водозахисні, вітрозахисні, протиерозійні насадження; насадження кладовищ; розсадники, а також об'єкти, розташовані у приміській зоні, на ділянках санітарно-захисних зон навколо промислових підприємств.

Здатність зелених рослин поглинати з повітря ряд небезпечних для здоров'я людини речовин та виділяти кисень і бактерицидні речовини дозволяє розглядати насадження як важливий фактор покращання якості повітряного середовища у містах, а зелене будівництво – як засіб біологічного доочищення середовища від антропогенних забруднювачів.

Щоб виконати санітарно-гігієнічне оцінювання насаджень, необхідно мати дані про запас маси листя на деревах, площу зеленого покриття (тобто площу проекції крон дерев на поверхню ґрунту), питомі показники, що характеризують названі вище функції зелених рослин.

Для зручності можна використати питомі показники «середньої породи». Вони отримані шляхом усереднення характеристик (відомих з літератури) для багатьох порід дерев і чагарників, та були позначені як показники «середньопорідного дерева» (табл. 2.1).

Здатність рослин до очищення повітря від забруднювачів складає за період вегетації (150 діб) у середньому:

- 1 кг листя тополі (у розрахунку на суху масу) поглинає у середньому понад 150 г SO₂, ясена – 18 г, липи – 10 г, акації білої – 69 г, в'язу – 39 г;
- 25-річне дерево тополі поглинає CO₂ 44 кг, дубу – 28 кг, липи – 16 кг, ялинки – 6 кг;
- доросле дерево в'язу осаджує 28 кг пилу, верби – 38 кг, клену – 28–33 кг, тополі – 34 кг, шовковиці – 31 кг, ясена – 27 кг, каштану – 16 кг.

Таблиця 2.1.

Питомі показники «середньопорідного» насадження

Показник	Поглинання		Виділення	
	Інтервал	Середнє	Інтервал	Середнє
Вуглекислий газ, т/га	5–10	7,5	–	–
Кисень, т/га	–	–	10–20	15
Випаровування води, т/га	–	–	2000–3000	2500
Пил, т/га	14–65	31,6	–	–
SO ₂ , г/кг сухого листя	10–150	62,6	–	–
Свинець, г/га	370–380	375	–	–
Фітонциди, кг/га	–	–	200–500	350

Примітка: в орієнтовних розрахунках суху масу можна умовно прийняти як 20% від маси свіжого листя

Якщо на дослідній території є газони, то треба враховувати і їх роль у покращанні якості середовища, а саме: 1 га зеленого газонного покриття за вегетацію виділяє від 10000 до 12000 м³ кисню, затримує у 10 разів більше пилу, ніж деревинні насадження тієї ж площі.

У дослідному насадженні з 15-ти дерев обирають 5 середніх за висотою, товщиною стовбура та іншими морфометричними ознаками. Для кожного з 5-ти «середніх» дерев розраховують масу листя та визначають площу, що займає їх крона.

Масу листя окремо взятого дерева можна наближено визначити за допомогою рівняння М. Бібіча:

$$Y = -1,307 + 0,93x - 0,114x^2 + 0,01 x^3, \quad (2.1)$$

де Y – маса листя, кг;

x – діаметр стовбура на висоті 1,3 м від поверхні ґрунту, см.

Для визначення абсолютно сухої зеленої маси однопорідного насадження можна скористатися показниками, наведеними у роботах О. Ватковського, т/га:

– насадження дубу: 5-річні – 0,65; 14–15-річні – 1,46–3,7; 30-річні – 2,45; 35–40-річні – 2,72–2,90; 70-річні – 2,75; 110-річні – 4,0;

– насадження гледичії та акації: 5-річні – 2,11; 10-річні – 2,2; 28-річні – 1,66; 43-річні – 2,02;

– ялинкові насадження: 15-річні – багаторічна хвоя – 1,9 (хвоя поточного року – 0,74); 30-річні – 18,9 (4,45); 80-річні – 15,7 (3,0);

– насадження сосни: 29-річні – багаторічна хвоя – 7,89 (хвоя поточного року – 2,17), 56-річні – 8,5 (2,45), 130-річні – 3,50 (1,20).

На підставі показників запасу вогкої маси листя, отриманих згідно рівняння М. Бібіча, а також показників площі крон дерев виконують перехід до кг/га насадження і, користуючись питомими характеристиками (табл. 5.1), приступають до оцінювання санітарно-гігієнічної характеристики насаджень.

Отримані дані дозволять наочно продемонструвати неприпустимість спалювання пожовклого листя восени, під час якого фактично за декілька днів

повертається у повітря значну кількість шкідливих речовин, що накопичувалися рослинами протягом всього вегетаційного періоду.

Завдання:

1. Охарактеризувати деревні насадження поблизу навчального закладу та житлового будинку та визначити масу листя окремо взятого дерева за допомогою рівняння М. Бібіча. Показники заносять у табл. 2.2.

Таблиця 2.2.

Характеристика деревного насадження

Дерева, що вибрані як «середні» для даного насадження	Діаметр стовбура, см	Запас маси листя, кг		Площа крони, м ²
		Вологої	Сухой	
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				
Усереднений показник з 5-ти дерев				

2. Здійснити оцінювання поглинання та виділення речовин деревами. Результати якого заносять у табл. 2.3.

Таблиця 2.3.

Оцінювання поглинання та виділення речовин деревами

Загальна площа насадження, га	Запас фіто маси листя, кг/га		Поглинання, кг/га				Виділення, кг/га		
	Вогка	Суха	Pb	Пил	CO ₂	SO ₃	O ₂	Фітонциди	Волога

3. Зробити висновки та запропонувати шляхи утилізації опалого листя.

Питання для самоконтролю

1. Роль рослинного світу в урбоекосистемі і житті міського населення.
2. Функції рослинного покриву в містах.
3. Суть фітомеліорації.
4. Фітомеліоративні системи і їхня класифікація.
5. Ефективність фітомеліоративної системи.
6. Властивості рослин, які використовують у складі міських і приміських насаджень.
7. Призначення, структура і статус комплексних зелених зон міст.
8. Виділення і визначення розмірів зелених зон міст України.
9. Шляхи утилізації опалого листя.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 3

СИСТЕМИ ПОПЕРЕДНЬОГО НАКОПИЧЕННЯ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ ТА РОЗРАХУНОК КОНТЕЙНЕРІВ ДЛЯ ТИМЧАСОВОГО ЗБЕРІГАННЯ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ

Мета роботи: вивчити системи попереднього накопичення побутових відходів та опанувати метод розрахунку контейнерів для тимчасового зберігання побутових відходів. Порівняти схеми накопичення та вивезення відходів, зробити висновки, щодо їх ефективності.

Теоретичні відомості

Виробнича та побутова діяльність людини нерозривно пов'язана з відходами. Рідкі і газоподібні відходи порівняно швидко поглинаються природним середовищем. Асиміляція твердих триває десятки і сотні років. Місця складування займають величезні території. Щорічно в Україні 147 утворюється 1,5 млрд. т твердих відходів. І вже накопичилося більше 30 млрд. т. Звалища зайняли понад 150000 га. Завдяки низькому рівню технологічних процесів, обсяг промислових відходів в Україні у 6,5 разів більше, ніж у США і у 3,2 рази вищий, ніж у країнах ЄЕС.

Відходи – це невикористані для виробництва даної продукції компоненти сировини та енергії, що не піддаються утилізації у даному виробництві. Але відходи одного виробництва можуть слугувати сировиною для іншого виробництва.

Тверді побутові відходи (ТПВ) – непридатні для подальшого використання харчові продукти та предмети побуту, що викидаються людиною.

Утилізація – передбачає вживання з користю.

Реутилізація – отримання з використаної продукції нової, того самого або близького їй типу (папір з макулатури, метал з металобрухту, скла з бою скла тощо).

Вторинні матеріальні ресурси (ВМР) – сукупність усіх видів відходів, які можуть бути використані у якості основної або допоміжної сировини для випускання нової продукції.

Властивості твердих побутових відходів (ТПВ) наступні:

1. *Морфологічний склад* умовно можна представити так: картон 20–30%, харчові продукти 28–45%, дерево 1,5–4%, чорний метал 1,5–4,5%, кольоровий метал 0,2–0,3%, текстиль 4–7%, кістки 0,5–2%, скло 3–8%, шкіра, гума, взуття 1–4%, каміння, фаянс 1–3%, пластмаса 1,5–5%, інше сміття.

2. *Склад* залежить від рівня життя, сезону, кліматичних умов та ін. До складу харчових відходів входять: картопляні очистки, відходи овочів, хліба, риби, яєць та ін. Вони містять крохмаль, жири, білки, вуглеводи, клітковину, вітаміни.

3. *Вологість відходів* навесні складає 60–70%, влітку і восени 80–85%. Вологість відходів від їдалень і ресторанів складає близько 95%. Основна маса (80–90%) представлена фракціями до 150 мм. Баластні домішки (до 2%) – фракціями понад 350 мм. Вологість ТПВ досягає максимуму в осінній час. Україна відноситься до середньої кліматичної зони. У ТПВ південної зони трохи більше таких елементів, як азот, фосфор, калій і кальцій. Але у цілому ТПВ можуть бути віднесені до речовин, з яких можна отримувати цінні добрива.

4. *Густина*. В облаштованому житловому фонді навесні і влітку густина ТВП складає 0,18–0,22 т/м³, восени і взимку – 0,2–0,25 т/м³. У необлаштованому, з пічним опаленням 0,3–0,6 т/м³. Тобто, густина ТПВ в облаштованому жилому фонді менше, ніж у необлаштованому. У подальшому, зі збільшенням кількості різних упаковок, густина знижується до величини, близької 0,1 т/м³. У великих містах Європи і Америки вона до цього показника близька.

5. *Зв'язаність і зчеплення*. Папір, картон, текстиль, пластмасові плівки – надають механічну зв'язаність. Липкі і вологі компоненти забезпечують зчеплення. Ці властивості сприяють утворенню відкладень на стінках бункерів і прутах решіток. Через ґрати 30х30 см вони вільно не провалюються і необхідно додавати певні зусилля. При тривалому зберіганні ТПВ злежуються, самоущільнюються і втрачають сипучість.

6. *Компресійні властивості* – це вплив тиску на ступінь ущільнення.

Валове збирання – це збирання ТПВ без поділу на окремі складові.

Періодичність вивезення відходів з домоволодінь встановлюється санітарними службами. Тип і ємність сміттєзбірників залежить від кількості відходів:

- у малоповерховій забудові – у сміттєзбірники, а потім вручну або механізовано – до кузову сміттєвоза;
- у багатоповерховій або групі малоповерхових – у стандартні контейнери на коліщатах, а потім механізовано – до сміттєвозу;
- у місцях значного скупчення ТПВ встановлюють знімні контейнери кузова.

Умовно основні методи знешкодження і перероблення ТПВ можна розділити на три групи: утилізація, ліквідація та змішані. За технологічним принципом розрізняють методи: біологічні, термічні, хімічні, механічні і змішані.

В Україні найбільше поширення отримали:

- ліквідаційно-механічний – складування на полігонах або звалищах;
- ліквідаційно-термічний – спалювання;
- утилізаційно-біологічний – компостування.

За існуючими санітарними нормами України ручний роздільний збір утильних компонентів ТПВ заборонений. Для вилучення окремих складових ТПВ використовують сепарацію: магнітну, пневматичну, електричну, гідросепарацію. У якості допоміжних операцій застосовують дроблення і грохочення. В основному застосовуються сухі способи сепарації. Чорні метали витягують за допомогою магнітної сепарації.

Збирання і видалення відходів при вивізній системі виконують двома методами:

- планово-подвірним (відходи з квартирних збірників жителі вивантажують у проміжні ємності для тимчасового збереження до моменту видалення їх на місця знешкодження);

– планово-поквартирним (відходи з квартирних збірників жителі перевантажують безпосередньо у прийомний бункер сміттєперевізного транспорту).

Планово-подвірна система забезпечує зручність для населення і високу продуктивність сміттєвозів при механізації вантажно-розвантажувальних робіт та одержала поширення і рекомендується для очищення житлових районів багатоповерхової забудови, а також установ і підприємств мережі обслуговування.

Для районів з багатоповерховою забудовою і кількістю жителів у дворах не менш ніж 200 чол. рекомендується система з застосуванням змінних контейнерів і контейнерних сміттєвозів з підйомно-змінними механізмами. У цьому разі відходи вивозять разом з контейнерами, а на їх місце встановлюють порожні. Рекомендується також система незмінюваних контейнерів і сміттєвозів з пристроєм, що ущільнює сміття, та стрілою для підйому контейнерів для щоденного очищення житлових дворів з кількістю населення не менше 250–400 чол. У цьому разі сміття вивантажують безпосередньо у сміттєвози, а контейнери після випорожнення встановлюють на місце.

Необхідна кількість незмінюваних контейнерів у місті, районі, мікрорайоні визначається за формулою:

$$n_{\text{к}}^{\text{нз}} = \frac{Q_{\text{max}} \cdot t \cdot k_3}{c \cdot k_1}, \quad (3.1)$$

де Q_{max} – максимальне добове нагромадження побутових відходів на ділянці, що обслуговується, м³/добу (табл. 6.1);

t – період вивезення відходів, доба;

k_1 – коефіцієнт заповнення збірників, $k_1 = 0,9$;

k_3 – коефіцієнт ремонтного резерву збірників, що враховує кількість збірників, що знаходяться у фарбуванні і ремонті, $k_3 = 1,05$; c – ємність одного збірника, $c = 0,75 \text{ м}^3$.

Таблиця 3.1.

Максимальне добове нагромадження побутових відходів на ділянці

Побутові відходи	Кількість побутових відходів, людина/рік	
	кг	л
Тверді відходи від житлових будинків, обладнаних водопроводом, каналізацією, центральним опаленням і газом	190–225	900–1000
Тверді відходи від інших житлових будинків	300–450	1100–1500
Сміття на 1 м ² твердого покриття вулиць, площ та парків	5–15	8–20

Необхідна кількість змінних контейнерів для об'єкта збирання відходів виражається формулою:

$$n_k^3 = \frac{Q_{\max} \cdot t \cdot k_3 \cdot k_2}{c \cdot k_1}, \quad (3.2)$$

де k_2 – коефіцієнт змінності, що враховує кількість контейнерів, які знаходяться на навантаженні, розвантаженні, у шляху на машинах, $k_2 = 1,35$.

Завдання:

1. Розрахувати необхідну кількість незмінюваних та змінних контейнерів у місті з населенням 100 тис., 500 тис. і 1 млн жителів, що вміщують у себе тверді відходи та сміття з вулиць.

2. Порівняти схеми накопичення та вивезення відходів, зробити висновки, щодо їх ефективності.

Питання для самоконтролю

1. Відходи, класифікація.
2. Властивості твердих побутових відходів.
3. Утилізація, реутилізація.
5. Залежить типу і ємності сміттєзбірників від кількості відходів.
6. Найбільш поширені методи утилізації побутових відходів в Україні.
7. Розрахунок необхідної кількості змінних контейнерів для об'єкта збирання відходів.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 4

ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ПОВІТРЯНИХ ЗАВІС

Мета роботи: ознайомитися з особливостями розрахунку енергозбереження при використанні повітряних завіс; опанувати методики розрахунку енергетичного ефекту від впровадження теплової завіси для виробничих та громадських будівель з дверима типу «ворота», теплової завіси для входних дверей, які часто відкриваються.

Теоретичні відомості

Повітряна завіса (ПЗ) — це пристрій, що формує плоский спрямований потік повітря через відкритий дверний або воротний проріз, створюючи аеродинамічну перешкоду між двома просторами з різними температурно-вологісними параметрами. Основне призначення повітряної завіси — запобігання проникненню зовнішнього холодного (або перегрітого) повітря, пилу, комах та запахів у кондиційоване або опалюване приміщення при одночасному забезпеченні вільного проходу людей та транспортних засобів.

З точки зору енергозбереження повітряна завіса виконує функцію теплового бар'єру, суттєво скорочуючи інфільтраційні втрати тепла через відкриті прорізи. Особливого значення цей захід набуває для об'єктів з інтенсивним потоком відвідувачів: торгових центрів, супермаркетів, промислових підприємств, логістичних терміналів, лікарень та адміністративних будівель, де двері залишаються відкритими протягом тривалого часу.

Нормативна база застосування повітряних завіс в Україні та ЄС базується на вимогах ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування», ASHRAE Standard 62.1-2022 щодо вентиляції та якості внутрішнього повітря, а також на положеннях Директиви ЄС 2024/1275 (EPBD recast) в частині підвищення енергетичної ефективності будівель.

Повітряні завіси класифікуються за кількома ознаками, що визначають сферу їх застосування та енергетичну ефективність.

За способом нагріву повітряного потоку розрізняють:

- завіси без підігріву (рециркуляційні) — використовують внутрішнє повітря приміщення без його додаткового нагріву; ефективні за різниці температур до 15–20°C;
- завіси з електричним підігрівом — оснащені електричними нагрівальними елементами; прості в монтажі, але мають вищі експлуатаційні витрати;
- завіси з водяним підігрівом (від системи опалення) — підключаються до теплової мережі будівлі; економічніші в експлуатації при наявності централізованого теплопостачання;
- завіси з паровим підігрівом — застосовуються переважно на промислових об'єктах.

За місцем встановлення виділяють завіси горизонтального монтажу (над прорізом), вертикального монтажу (збоку від прорізу) та підлогового монтажу. За напрямком повітряного струменя — однобічні та двобічні.

За сферою застосування повітряні завіси поділяються на:

- побутові — для дверних прорізів шириною до 1,5 м;
- комерційні — для магазинів, офісів, ресторанів (ширина прорізу 1,5–3,0 м);
- промислові — для воріт та великих прорізів (ширина 3,0–6,0 м і більше).

Фізичний механізм енергозбереження при використанні повітряної завіси базується на формуванні аеродинамічного бар'єру, що перешкоджає конвективному теплообміну між внутрішнім та зовнішнім середовищем через відкритий проріз.

За відсутності повітряної завіси теплові втрати через відкритий дверний проріз відбуваються переважно за рахунок:

- прямої інфільтрації зовнішнього холодного повітря, яке важче за тепле та проникає через нижню частину прорізу;
- ексфільтрації теплого внутрішнього повітря через верхню частину прорізу;
- конвективного переносу тепла при русі людей та транспортних засобів.

Повітряна завіса формує плоский струмінь із швидкістю 5–15 м/с, що перекриває проріз по всій ширині. Ефективність ПЗ характеризується коефіцієнтом ефективності завіси E (від 0 до 1), який показує, яку частку теплових втрат вдається запобігти порівняно з відкритим прорізом без завіси.

Тепловтрати через відкритий проріз без завіси (Q_0 , Вт) та з завісою (Q_3 , Вт) пов'язані залежністю:

$$Q_3 = Q_0 \cdot (1 - E)$$

де E — коефіцієнт ефективності завіси (зазвичай 0,6–0,9 для якісного обладнання).

Загальні тепловтрати через проріз за опалювальний сезон (Q , кВт·год) визначаються як:

$$Q = \rho \cdot c_p \cdot \dot{V} \cdot (t_{вн} - t_{зов}) \cdot \tau$$

де ρ — густина повітря (кг/м³); c_p — питома теплоємність повітря (1,005 кДж/(кг·К)); $\dot{V}$ — об'ємна витрата повітря інфільтрації через проріз (м³/год); $t_{вн}$ та $t_{зов}$ — температури внутрішнього та зовнішнього повітря (°C); τ — тривалість роботи в режимі відкритих дверей (год).

Кількісна оцінка енергетичного ефекту від повітряних завіс залежить від типу об'єкта, інтенсивності відвідування, кліматичних умов та технічних характеристик обладнання. За даними досліджень та практичного досвіду експлуатації, застосування повітряних завіс забезпечує такі результати (табл.4.1):

Таблиця 4.1

Орієнтовний енергетичний ефект від застосування повітряних завіс

Тип об'єкта	Зниження тепловтрат через проріз, %	Річна економія енергії, кВт·год/м² прорізу
Супермаркет / торговий центр	60–80	300–600
Промислове підприємство (ворота)	50–75	500–1500
Ресторан / кафе	55–75	200–400

Адміністративна будівля	60–85	150–350
Логістичний термінал	45–70	600–2000

Слід зазначити, що повітряна завіса з підігрівом сама є споживачем енергії. Тому реальний чистий енергетичний ефект визначається як різниця між зекономленою тепловою енергією та енергією, витраченою на роботу вентилятора та нагрівача завіси. За умови правильного підбору обладнання чистий COP (коефіцієнт ефективності) повітряної завіси становить 3–8, тобто на кожну одиницю витраченої енергії досягається збереження 3–8 одиниць теплової енергії будівлі.

Економічний ефект від встановлення повітряної завіси визначається як різниця між річною економією витрат на опалення та витратами на електроенергію для роботи завіси. Річна чиста економія коштів (E , грн/рік):

$$E = \Delta Q_{\text{тепло}} \cdot C_{\text{тепло}} - W_{\text{завіса}} \cdot C_{\text{ел}}$$

де $\Delta Q_{\text{тепло}}$ — річна економія теплової енергії (кВт·год/рік); $C_{\text{тепло}}$ — тариф на теплову енергію (грн/кВт·год); $W_{\text{завіса}}$ — річне споживання електроенергії завісою (кВт·год/рік); $C_{\text{ел}}$ — тариф на електроенергію (грн/кВт·год).

Простий термін окупності (T) визначається як відношення капітальних витрат на придбання та монтаж завіси до річної чистої економії. Для більшості комерційних та промислових об'єктів термін окупності повітряних завіс становить:

- для комерційних об'єктів з інтенсивним потоком відвідувачів — 1–3 роки;
- для адміністративних будівель — 2–5 років;
- для промислових об'єктів (утеплені ворота) — 1–4 роки;
- для об'єктів з помірним потоком відвідувачів — 3–7 років.

Такі короткі терміни окупності роблять повітряні завіси одним із найбільш економічно привабливих заходів енергозбереження серед усіх інженерних рішень для будівель. При зростанні тарифів на теплову енергію реальний термін окупності скорочується додатково.

Ефективність повітряної завіси в значній мірі визначається правильністю її підбору та монтажу. Основними параметрами, що враховуються при проектуванні, є: ширина та висота прорізу, висота встановлення завіси, розрахункова різниця тисків між приміщеннями, температурний перепад та тривалість роботи у відкритому стані.

Швидкість повітряного потоку на виході з завіси має бути достатньою для того, щоб струмінь досягав протилежного краю прорізу без значного відхилення. Мінімальна рекомендована швидкість на виході — 6–8 м/с для побутових та комерційних завіс, 8–15 м/с — для промислових. Надмірна швидкість (понад 15–18 м/с) спричиняє дискомфорт для відвідувачів та підвищене споживання електроенергії без суттєвого збільшення ефективності.

Відповідно до вимог ASHRAE Standard 62.1-2022, встановлення повітряної завіси не звільняє від необхідності забезпечення нормованого повітрообміну у приміщенні. Завіса є доповненням до системи вентиляції, а не її заміною.

При проектуванні також враховуються такі чинники:

- тип та інтенсивність руху через проріз (пішоходи, транспортні засоби, вантажі);
- необхідність автоматичного керування (датчики руху, таймери, інтеграція з системою BMS);
- акустичні характеристики обладнання (рівень шуму не більше 45–55 дБА для комерційних об'єктів);
- клас захисту електрообладнання відповідно до умов експлуатації (IP44–IP65).

Сучасні повітряні завіси оснащуються системами автоматичного керування, що дозволяє оптимізувати їх роботу залежно від реальних умов: температури зовнішнього повітря, інтенсивності потоку відвідувачів та режиму роботи будівлі. Інтеграція з системою автоматизації будівлі (BAS/BMS) дозволяє:

- вмикати завісу лише при відкритих дверях (за сигналом датчика положення дверей);
- регулювати потужність нагрівача залежно від поточної різниці температур;

- вести облік споживання електроенергії та оцінювати реальний енергетичний ефект;
- інтегрувати роботу завіси із системою опалення та вентиляції для мінімізації загального енергоспоживання.

Концепція Smart Cities та інтелектуальних будівель (Sanchez-Gallegos et al., 2025; Javed et al., 2022) передбачає саме такий комплексний підхід до управління енергоспоживанням, де повітряні завіси є одним із елементів загальної системи енергоефективності.

Повітряні завіси є ефективним та економічно доцільним засобом енергозбереження для будівель з інтенсивним потоком відвідувачів або транспортних засобів через відкриті прорізи. Застосування якісних повітряних завіс дозволяє знизити тепловтрати через дверні та воротні прорізи на 60–85%, забезпечити чистий коефіцієнт ефективності 3–8 та досягти терміну окупності 1–5 років. Правильний підбір, монтаж та інтеграція завіс у систему автоматизації будівлі є ключовими умовами досягнення максимального енергетичного ефекту.

Завдання

1. Впровадження теплової завіси для виробничих та громадських будівель з дверима типу «ворота»

Зробити оцінку ефекту від застосування теплової завіси для існуючої будівлі виробничого типу (склад-магазин) в місті Києві.

Розрахункова температура внутрішнього повітря рівна 18 °С.

Оцінити енергозберігаючий ефект від застосування в воротах двосторонньої повітряної завіси з кутом подачі повітря 45° і розрахувати початкову витрату повітря в завісі при прийнятому коефіцієнті витрати $K_q=0,4$ (у випадку, коли тепла завіса діюча).

Розміри воріт доставки товару: ширина 4 м, висота 4 м. Розташування воріт – на північному фасаді.

Відношення площі щілини для подачі повітря і площі воріт складає 1/30.

Рішення

Теплова завіса відсутня

1. Визначимо розрахункові кліматичні параметри для м. Києва за додатком Г [9]:

– розрахункова температура зовнішнього повітря на опалення $t_{p.o.} = -22\text{ }^{\circ}\text{C}$;

– розрахункова температура зовнішнього повітря за опалювальний період $t_{c.o.} = -0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$;

– розрахункова кількість діб опалювального періоду $n_o = 176$ діб.

Середня швидкість вітру для північного фасаду за додатком Б (табл 5 [10]):

$$w_i = 3,2\text{ м/с.} \quad (4.1)$$

2. Масова витрата зовнішнього повітря G_n , кг/с, що поступає через ворота за відсутності завіси (для виробничих будівель з невеликими тепловиділеннями):

$$G_n = A + (\alpha + K \cdot w) F \cdot 1/30, \quad (4.2)$$

де A і α – витрати повітря, що визначаються залежно від розрахункової температури $t_{p.o.}$ зовнішнього повітря для проектування опалювання (ці величини знаходяться по таблиці 5.1 методом інтерполяції);

K – умовний коефіцієнт:

– для воріт розміром 3×3 м дорівнює 0,25,

– для воріт розміром 4×4 м дорівнює 0,20;

w – швидкість вітру в м/с;

F – площа перетину воріт, що відкриваються, м^2 .

Таблиця 4.1.

Значення A і α при визначенні витрати зовнішнього повітря, що надходить через ворота виробничого приміщення при відсутності повітряної завіси

Розміри воріт, м	Внутрішня температура повітря, °С	Значення α і A , кг/с	Температура зовнішнього повітря t_z , °С						
			-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40
3×3 і 4×4	+5 +15...+20	α	-	-	1,27	1,38	1,46	1,51	1,55
			-	1,27	1,4	1,5	1,55	1,58	1,6
3×3	+5 +15...+20	A	6,0	5,0	5,8	6,6	7,4	8,1	8,9
				6,5	7,3	8,0	8,8	9,4	10,0
4×4	+5 +15...+20	A	10,0	11,6	13	14,5	16	17,5	19
			12,7	13,9	15	16,3	17,5	18,8	20

Підставляючи дані, отримаємо:

$$G_n = 15,5 + (1,42 + 0,2 \cdot 3,2) 16 \cdot 1/30 = 16,6 \text{ кг/с або } 59760 \text{ кг/год},$$

3. Теплова потужність, кВт, необхідна для нагріву повітря, що уривається у ворота, без завіси (в середньому за опалювальний період):

$$Q = G_n c_p (t_{вн} - t_{с.о.}) = 16,6 \cdot 1,005 \cdot (18 - (-0,1)) = 302 \text{ кВт}$$

Де G_n – масова витрата повітря, що вривається, кг/с; $c_p = 1,005$ кДж/(кг К) – теплоємність повітря,

4. Витрата теплоти, кВт год, за період часу без діючої завіси:

$$Q_{пик} = G_n c_p (t_{вн} - t_{с.о.}) n_o \cdot 24 \cdot k \quad (4.3)$$

де k – коефіцієнт, що враховує фактичний час відкривання воріт протягом години:

$$k = \tau / 60,$$

де τ – час відкривання воріт в хвилинали, приймаємо $\tau = 3$ хвилини, тоді

$$k = 3/60 = 0,05.$$

Підставляючи дані, отримаємо:

$$Q_{рік} = 16,6 \cdot 1,005 (18 - (-0,1)) 176 \cdot 24 \cdot 0,05 = 63774 \text{ кВт-год}$$

Діюча завіса

1. Витрата повітря, що створюється завісою:

$$G_n^3 = q \cdot G_n = 0,35 \cdot 16,6 = 5,81 \text{ кг/с}$$

Значення коефіцієнта q визначили з графіку на рис. 4.1 по кривій 2 і $K_q=0,4$.

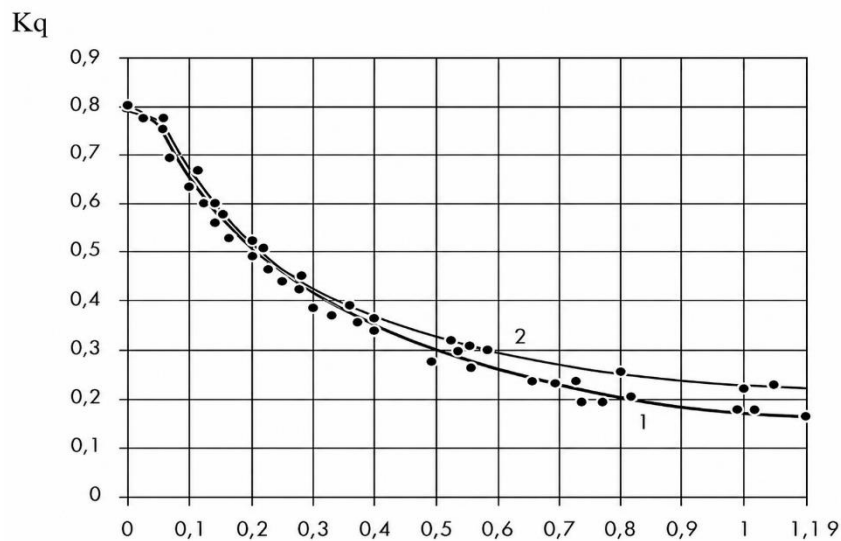


Рис. 4.1. Залежності коефіцієнту витрати повітря через ворота, захищені завісою, від відносної витрати повітря: крива 1 – одностороння завіса; крива 2 – двостороння завіса

2. Теплова потужність, кВт, необхідна для нагріву повітря, що уривається у ворота, з працюючою завісою (в середньому за опалювальний період):

$$Q = G_n^3 \cdot c_p (t_{вн} - t_{с.о.}) = 5,81 \cdot 1,005 \cdot (18 - (-0,1)) = 105,7 \text{ кВт}$$

де

G_n^3 – масова витрата повітря, що вривається, кг/с;

$c_p = 1,005$ кДж/(кг К) – теплоємність повітря,

3. Витрата теплоти (кВт год) за період часу з діючою завісою:

$$Q^3_{pik} = G^3_n \cdot c_p (t_{вн} - t_{с.о.}) n_o \cdot 24 \cdot k \quad (4.4)$$

де k – коефіцієнт, що враховує фактичний час відкривання воріт протягом години:

$$k = \tau / 60,$$

де τ – час відкривання воріт в хвилинали, приймаємо $\tau = 3$ хвилини, тоді $k = 3/60 = 0,05$.

Підставляючи дані, отримаємо:

$$Q^3_{pik} = 5,81 \cdot 1,005 (18 - (-0,1)) 176 \cdot 24 \cdot 0,05 = 22324 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

4. Зниження споживання енергії:

$$\Delta Q = Q_{pik} - Q^3_{pik} = 63774 - 22324 = 41450 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Таким чином, можливе зниження теплової енергії майже в 3 рази.

Відповідь: економія енергії 41450 кВт·год, або майже в 3 рази.

2. Впровадження теплової завіси для входних дверей, які часто відкриваються

Зробити оцінку ефекту від застосування теплової завіси для існуючої громадської будівлі в місті Києві.

Розрахункова температура внутрішнього повітря 18°C.

Оцінити енергозберігаючий ефект від застосування теплової завіси на входних дверях, що мають розміри висотою $H = 2$ м і шириною $B = 0,9 \cdot 2 = 1,8$ м (двоє дверей знаходяться поруч).

Кут подачі повітря 45°. Швидкість вітру біля основи дверного отвору становить $v_0 = 2$ м/с (мінімальна швидкість відповідно до рекомендацій проектування 2...2,5 м/с). Вхідні двері розташовані на північно-східному фасаді будівлі. Розташування припливної решітки двобічне.

Рішення

1. Витрата зовнішнього повітря, що надходить через проріз дверей, коли теплова завіса не працює:

$$L_0 = B \cdot H \cdot v_0, \quad (4.5)$$

де B – ширина вхідних дверей, двоє вхідних дверей шириною 0,9 м кожна;

H – висота вхідних дверей, м;

$v_0 = 2$ м/с – швидкість вітру (додаток Б);

Підставивши значення в формулу розрахуємо витрати зовнішнього повітря:

$$L_0 = (2 \cdot 0,9) \cdot 2 \cdot 2 = 7,2 \text{ м}^3/\text{с}$$

2. Кількість повітря, що проходить крізь проріз дверей при діючій тепловій завісі:

$$L = B \cdot H \cdot v_0 \cdot (1 - h / H), \quad (4.6)$$

де h – ефективна висота струменю теплової завіси – 1,5 м;

Підставивши значення у формулу, отримаємо кількість повітря, що проходить крізь проріз дверей при діючій тепловій завісі:

$$L = (2 \cdot 0,9) \cdot 2 \cdot 2 \cdot (1 - 1,5 / 2) = 1,8 \text{ м}^3 / \text{с}$$

Визначимо витрату припливного повітря завісою за наступною формулою:

$$L_S = (L_0 - L) / (\Phi \cdot (H / b)^{0,5} + 1), \quad (4.7)$$

де b – ширина горизонтальної решітки – 0,1 м;

Φ – коефіцієнт теплової завіси, який залежить від кута випускання повітряного струменя α , та коефіцієнта турбулентності струменя β (рис.4.2).

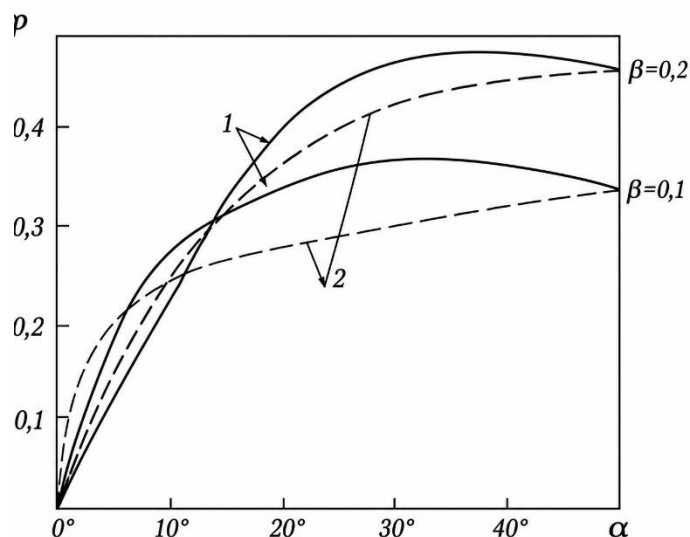


Рис. 4.2. Залежність між кутом випускання повітря струменя α , коефіцієнтом завіси Φ і коефіцієнтом турбулентності β при нижньому (крива 1) і бічному (крива 2) розташуванні припливної решітки

Розрахуємо теплові завіси з горизонтальними решітками шириною:

$$b = \frac{H}{30} \dots \frac{H}{40} = 0,1 \text{ м для прорізів дверей.}$$

Отже, підставивши значення у формулу, розрахуємо витрату припливного повітря завісою:

$$L_s = (7,2 - 1,8) / (0,47 \cdot (2 / 0,1)^{0,5} + 1) = 1,74 \text{ м}^3/\text{с}$$

4. Швидкість повітря на виході з припливної решітки визначається за формулою:

$$v_s = L_s / (B \cdot b). \quad (4.8)$$

5. Підставивши значення у формулу, визначимо швидкість повітря на виході з припливної решітки:

$$v_s = 1,74 / (1,8 \cdot 0,1) = 9,66 \text{ м/с}$$

5. Середнє значення температури повітря, що потрапляє в приміщення:

$$t_{cp} = (L_s \cdot t_s + L \cdot t) / (L_s + L) \quad (4.9)$$

де t_s – температура нагрітого повітря після калорифера, $t_s = 35^\circ\text{C}$;

$t = -0,1^\circ\text{C}$ – середня температура зовнішнього повітря за опалювальний період.

Підставивши значення у формулу отримаємо:

$$t_{cp} = (1,74 \cdot 35 + 1,8 \cdot (-0,1)) / (1,74 + 1,8) = 19,4^\circ\text{C}$$

6. Масова витрата повітря на завісу, кг/год:

$$G_z = L_0 \cdot l_{uz} \cdot 3600 \cdot \rho_{нов}, \quad (4.10)$$

де $l_{uz} = B/2$ – довжина щілини завіси (встановлюватимемо 2 завіси на кожні двері, м;

$\rho_{нов} = 1,2 \text{ кг/м}^3$ – густина повітря, що подається;

$$G_z = (2 \cdot 0,9 \cdot 1) \cdot 0,9 \cdot 3600 \cdot 1,2 = 6998,4 \text{ кг/год} = 5832 \text{ м}^3/\text{год}.$$

7. Витрата тепла на підігрів повітря, що подається в завісу, кДж/год:

$$Q_z = c_p G_z (t_0 - t_{ex}), \quad (4.11)$$

де $c_p = 1 \text{ кДж/(кг} \cdot ^\circ\text{C)}$ – питома теплоємність повітря;

$t_{ex} = 16^\circ\text{C}$ – температура повітря, що входить в калорифер установки (нормативна температура для вестибюлів);

$t_0 = 35^\circ\text{C}$ – температура нагрітого повітря на виході з калорифера;

$$Q_z = 1 \cdot 6998,4 (35 - 16) = 110808 \frac{\text{кДж}}{\text{год}} = 30,7 \text{ кВт}.$$

Сумарне енергоспоживання тепловими завісами, кВт·год:

$$W_{т.з.} = P_{н.т.з.} T_p, \quad (4.12)$$

де $T_p = 2700 \text{ год.}$ – тривалість роботи теплової завіси протягом опалювального періоду;

$P_{н.т.з.} = 30,7 \text{ кВт}$ – теплова потужність нагрівача теплової завіси, кВт;

$$W_{т.з.} = 30,7 \cdot 2700 = 82890 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

8. Визначимо річну економію втрат тепла з інфільтрованим повітрям, МДж/рік:

$$\Delta W = c \cdot (L_0 - L) \cdot (t_{\text{вн}} - t_{\text{он.з}}) \cdot 3600 \cdot T \quad (4.13)$$

де $c_p = 1 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$ – питома теплоємність повітря;

$t_{\text{вн}} = 16^\circ\text{C}$ – температура повітря, що входить в калорифер установки;

$t_0 = 35^\circ\text{C}$ – температура нагрітого повітря на виході з калорифера;

Тоді економія енергії протягом опалювального періоду становить:

$$\Delta W = (7,2 - 1,8) \cdot (16 - (-0,1)) \cdot 3600 = 234738 \text{ МДж/рік або } 55,89 \text{ Гкал/рік}$$

9. Визначимо річну грошову економію від запропонованого заходу:

$$\Delta E = \Delta W \cdot T \quad (4.14)$$

де T – тариф на теплову енергію, приймаємо 1660 грн/Гкал.

$$\Delta E = 55,89 \cdot 765,9 = 92777 \text{ грн}$$

10. Визначимо капітальні витрати.

Вартість одного комплексу теплової завіси $\Pi_3 = 23000 \text{ грн.}$

Загальна вартість:

$$B_c = \Pi_3 \cdot m = 23000 \cdot 2 = 46000 \text{ грн.},$$

m – кількість теплових завіс.

Витрати на монтаж становлять 30% від повної вартості обладнання:

$$M = 46000 \cdot 0,3 = 13800 \text{ грн.}$$

Капітальні затрати на встановлення теплових завіс:

$$K = B_c + M = 46000 + 13800 = 59800 \text{ грн.}$$

11. Термін окупності проєкту:

$$T_{\text{ок}}^{\text{нр}} = \frac{K}{\Delta E} = \frac{59800}{92777,4} = 0,65 \text{ р.} \quad (4.15)$$

Відповідь: економія енергії 55,89 Гкал/рік.

Варіанти до завдання 4.1

№	Місто	Розташування фасаду	Час відкривання воріт, хв
1	Генічеськ	Пн	2
2	Хмельницький	Пд	3
3	Львів	З	4
4	Миколаїв	Сх	5
5	Львів	ПнСх	6
6	Миколаїв	ПнЗ	2
7	Черкаси	ПдСх	3
8	Ів.Франківськ	ПдЗ	4
9	Кропивницький	Пн	5
10	Рівне	Пд	6
11	Суми	З	2
12	Тернопіль	Сх	3
13	Харків	ПнСх	4
14	Луганськ	ПнЗ	5
15	Херсон	ПдСх	6
16	Чернігів	ПдЗ	2
17	Одеса	Пн	3
18	Полтава	Пд	4
19	Чернівці	З	5
20	Донецьк	Сх	6

Примітка 1. Внутрішню температуру приймати наступним чином:

- усі парні варіанти: 18 °С,
- усі непарні варіанти: 20 °С. Примітка 2. Розміри воріт приймати:
- усі парні варіанти: 3×3,
- усі непарні варіанти: 4×4.

Примітка 3. Розрахункова швидкість вітру – 5 м/с, середню швидкість прийняти за додатком 9, враховуючи орієнтацію фасаду.

Примітка 4. Коефіцієнт витрати $K_q=0,3$.

Варіанти до завдання 4.2.

№	Місто	Висота, Н, м	Шири на, В,м	Кіль кість дверей	Ефективна висота струменю, h, м	Розта шу вання фасаду	кут випускання повітряного потoku, α, град	Розташу- вання припливної решітки	Темпе- ратура нарітого повітря, °С
1	Ів.Франківськ	2	1	1	1,5	Пн	30	однобічне	30
2	Луганськ	2,1	0,9	2	1,6	Пд	35	двобічне	31
3	Херсон	2,2	1	3	1,7	З	40	однобічне	32
4	Чернігів	2	1	2	1,8	Сх	45	двобічне	33
5	Одеса	2	0,9	2	1,9	ПнС х	30	однобічне	34
6	Кропивницький	2,1	1	1	2	ПнЗ	35	двобічне	35
7	Рівне	2,2	1	1	2,1	ПдС х	40	однобічне	36
8	Хмельницький	2,2	0,9	2	1,5	ПдЗ	45	двобічне	37
9	Суми	2,3	1	2	1,6	Пн	30	однобічне	38
10	Тернопіль	2,1	1	3	1,7	Пд	35	двобічне	39
11	Харків	2,2	0,9	2	1,8	З	40	однобічне	40
12	Полтава	2,3	1	1	1,9	Сх	45	двобічне	30
13	Чернівці	2	1	1	2	ПнС х	30	однобічне	31
14	Донецьк	2	0,9	3	2,1	ПнЗ	35	двобічне	32
15	Одеса	2	1	1	1,5	ПдС х	40	однобічне	33
16	Луганськ	2,1	1	2	1,6	ПдЗ	45	двобічне	34
17	Рівне	2,2	0,9	1	1,7	Пн	30	однобічне	35
18	Чернігів	2,3	1	3	1,8	Пд	35	двобічне	36
19	Херсон	2	1	1	1,9	З	40	однобічне	37
20	Вінниця	2	0,9	2	2	Сх	45	двобічне	38

Примітка 1. Прийняти розрахункову температуру внутрішнього повітря 20°C.

Примітка 2. Тариф на централізоване тепlopостачання прийняти у відповідності до значень, вказаних у офіційних джерелах (сайтах постачальників теплоти) для відповідного міста.

Примітка 3. Витрати на введення в експлуатацію приймати згідно діючих на момент виконання розрахунку ринкових цін.

Питання для самоконтролю

1. Що таке повітряна завіса та яке її основне призначення з точки зору енергозбереження в будівлях?
2. Які фізичні процеси спричиняють тепловтрати через відкритий дверний або воротний проріз за відсутності повітряної завіси?
3. Охарактеризуйте основні типи повітряних завіс за способом нагріву повітряного потоку. У чому переваги та недоліки кожного типу?
4. Що означає коефіцієнт ефективності завіси E та які його типові значення для якісного обладнання? Як він використовується у розрахунку тепловтрат?
5. Запишіть та поясніть формулу для визначення тепловтрат через відкритий проріз. Які параметри мають найбільший вплив на величину тепловтрат?
6. Що таке чистий COP повітряної завіси та чому він є важливим показником при оцінці енергетичної ефективності обладнання?
7. Які чинники враховуються при проектуванні та підборі повітряної завіси? Яка мінімальна рекомендована швидкість повітряного потоку для комерційних і промислових об'єктів?
8. Як розраховується річна чиста економія коштів від встановлення повітряної завіси? Запишіть формулу та поясніть кожен її складник.
9. Для яких типів об'єктів застосування повітряних завіс є найбільш економічно доцільним і чому? Які типові терміни окупності?
10. Яким чином інтеграція повітряної завіси із системою автоматизації будівлі (BMS) дозволяє підвищити її енергетичну ефективність? Наведіть конкретні приклади функцій автоматичного керування.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 5

ГЕОТЕРМАЛЬНА ЕНЕРГІЯ. РОЗРАХУНОК ГЕОТЕРМАЛЬНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК. ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ ОКЕАНІВ

Мета роботи: ознайомитися з принципом роботи ГеоТЕС і технологіями перетворення теплової енергії океану (ПТЕО), а також з методикою їх розрахунку.

Теоретичні відомості

Використання теплової енергії океану. Технологія перетворення теплової енергії океану (ПТЕО) дозволяє створювати електрику за рахунок різниці температур між теплою і холодною океанською водою. Холодна вода перекачується через трубу з глибини більше 1000 метрів (з місця, куди сонячні промені ніколи не потрапляють). Система також використовує і теплу воду з області, близької до поверхні океану. Нагріта сонячними променями вода проходить через теплообмінник з хімічними речовинами з низькою температурою кипіння, наприклад аміаком, що створює хімічну пару, що приводить в рух турбіни електрогенераторів. Потім пара конденсується назад в рідку форму за допомогою охолодженої води з глибин океану. Тропічні регіони вважаються найбільш вдалим місцем для розміщення систем ПТЕО. Це обумовлено більшою різницею температур між водою на мілководді і на глибині.

На відміну від вітрових і сонячних ферм, океанічна ТЕС може виробляти екологічно чисту електроенергію цілодобово, 365 днів на рік. Єдиним побічним продуктом таких енергоблоків є холодна вода, яка може використовуватися для охолодження і кондиціонування повітря в адміністративних і житлових будівлях поряд з енергогенеруючим об'єктом.

Використання геотермальної енергії. Геотермальна енергія – це енергія, що отримується з природного тепла Землі. Досягти цього тепла можна за допомогою свердловин. Геотермічний градієнт у свердловині зростає на 1 °С кожні 36 метрів. Це тепло доставляється на поверхню у вигляді пари або гарячої води. Таке тепло

може використовуватися як безпосередньо для обігріву будинків і будівель, так і для виробництва електроенергії.

За різними підрахунками, температура в центрі Землі складає, мінімум, 6650°C . Швидкість охолодження Землі приблизно дорівнює $300\text{--}350^{\circ}\text{C}$ в мільярд років. Земля виділяє $42 \cdot 10^{12}$ Вт тепла, з яких 2% поглинається в корі і 98% – в мантії і ядрі. Сучасні технології не дозволяють досягти тепла, яке виділяється занадто глибоко, але і $84 \cdot 10^{10}$ Вт (2%) доступної геотермальної енергії можуть забезпечити потреби людства на довгий час. Області навколо країв континентальних плит є найкращим місцем для будівництва геотермальних станцій, тому що кора в таких зонах набагато тонша.

Існує декілька способів отримання енергії на ГеоТЕС:

- *Пряма схема*: пара прямує по трубах в турбіни, сполучені з електрогенераторами;
- *Непряма схема*: аналогічна прямій схемі, але перед попаданням в труби пар очищають від газів, що викликають руйнування труб;
- *Змішана схема*: аналогічна прямій схемі, але після конденсації з води видаляють гази, що не розчинилися в ній.

Завдання

1. Оцінка теплового потенціалу геотермальної енергії.

Визначити початкову температуру t_2 і кількість геотермальної енергії E_o (Дж) водоносного пласта завтовшки h км при глибині залягання z км, якщо задані характеристики породи пласта: щільність $\rho_{zp}=2700$ кг/м³; пористість $a=5\%$; питома теплоємність $C_{zp}=840$ Дж/(кг·К). Температурний градієнт (dT/dz) в $^{\circ}\text{C}/\text{км}$ вибрати по таблиці варіантів завдання.

Середню температуру поверхні t_o прийняти рівною 10°C . Питома теплоємність води $C_v=4200$ Дж/(кг·К); щільність води $\rho=10^3$ кг/м³. Розрахунок робити по відношенню до площі поверхні $F=1$ км². Мінімально допустиму температуру пласта прийняти рівною $t_1=40^{\circ}\text{C}$.

Визначити також постійну часу вилучання теплової енергії τ_0 (років) при закачуванні води в пласт і витраті її $V=0,1 \text{ м}^3/(\text{с} \cdot \text{км}^2)$. Яка буде теплова потужність, вилученої спочатку $(dE/dz)_{\tau=0}$ і через 10 років $(dE/dz)_{\tau=10}$?

Завдання присвячено тепловому потенціалу геотермальної енергії, зосередженої в природних водоносних горизонтах на глибині z (км) від земної поверхні. Зазвичай товщина водоносного шару h (км) менше глибини його залягання. Шар має пористу структуру – скельні породи мають пори, заповнені водою (пористість оцінюється коефіцієнтом α). Середня щільність твердих порід земної кори $\rho_{ep}=2700 \text{ кг/м}^3$, а коефіцієнт теплопровідності $\lambda_{ep}=2 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$. Зміна температури ґрунту у напрямку до земної поверхні характеризується температурним градієнтом (dT/dz) , вимірюваним в $^\circ\text{C/км}$ або K/км .

Найбільш поширені на земній кулі райони з нормальним температурним градієнтом (менше $40 \text{ }^\circ\text{C/км}$) з щільністю витікаючих у напрямі поверхні теплових потоків приблизно $0,06 \text{ Вт/м}^2$. Економічна доцільність отримання тепла з надр Землі тут маловірогідна.

У напівтермальних районах температурний градієнт дорівнює $40\text{-}80 \text{ }^\circ\text{C/км}$. Тут доцільно використовувати тепло надр для опалювання, в теплицях, в бальнеології.

У гіпертермальних районах (поблизу меж платформ земної кори) градієнт більше $80 \text{ }^\circ\text{C/км}$. Тут доцільно будувати ГеоТЕС.

При відомому температурному градієнті можна визначити температуру водоносного пласта перед початком його експлуатації:

$$T_2 = T_0 + (dT/dz)z, \quad (5.1)$$

де T_0 – температура на поверхні Землі, K (або $^\circ\text{C}$).

У розрахунковій практиці характеристики геотермальної енергетики зазвичай відносять до 1 км^2 поверхні F .

Теплоємність пласта C_{nl} (Дж/К) можна визначити згідно рівняння:

$$C_{nl} = hF [\alpha \rho_e C_e + (1-\alpha) \rho_{ep} C_{ep}], \quad (5.2)$$

де ρ_e і C_e – відповідно щільність і ізобарна питома теплоємність води;

ρ_{ep} і C_{ep} – щільність і питома теплоємність ґрунту (порід пласта); зазвичай $\rho_{ep}=820-850$ Дж/(кг·К).

Якщо задати мінімально допустиму температуру, при якій можна використовувати теплову енергію пласта T_1 (К), то можна оцінити його тепловий потенціал на початок експлуатації (Дж):

$$E_0 = C_{nl}(T_2 - T_1). \quad (5.3)$$

Постійну часу пласта τ_0 (можливий час його використання, в роках) у разі відведення теплової енергії шляхом закачування в нього води з об'ємною витратою V (м³/с) можна визначити по рівнянн:

$$\tau_0 = C_{nl}/(V\rho_e C_e). \quad (5.4)$$

Вважають, що тепловий потенціал пласта під час його розробки змінюється за експоненціальним законом:

$$E = E_0 \exp(-\tau/\tau_0), \quad (5.5)$$

де τ – число років з початку експлуатації.

Теплова потужність геотермального пласта у момент часу τ (років з початку розробки) у Вт (МВт):

$$\left(\frac{dE}{d\tau} \right)_{\tau} = -\frac{E_0}{\tau_0} \exp(-\tau/\tau_0). \quad (5.6)$$

Для варіантів значення вихідних величин наведено у табл. 5.1.

Таблица 5.1.

Вихідні данні для розрахунку теплового потенціалу геотермальної енергії

Величини і одиниці їх виміри	Варіанти завдань									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
h , км	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5
z , км	2,5	3,0	3,5	4,0	3,5	3,0	2,5	4	3,5	3
(dT/dz) °C/км	75	70	65	60	55	50	45	40	35	30

Розв'язання. Приймаємо наступні умови: водоносний пласт завтовшки $h=1$ км при глибині залягання $z=3$ км, якщо задані характеристики породи пласта:

щільність $\rho_{cp}=2700$ кг/м³; пористість $\alpha=5\%$; питома теплоємність $C_{cp}=840$ Дж/(кг·К). Температурний градієнт $(dT/dz)=60^\circ\text{C}/\text{км}$.

Середню температуру поверхні t_0 прийняти рівною 10°C . Питома теплоємність води $C_s=4200$ Дж/(кг·К); щільність води $\rho=10^3$ кг/м³. Розрахунок робити по відношенню до площі поверхні $F=1$ км². Мінімально допустиму температуру пласта прийняти рівною $t_1=40^\circ\text{C}$.

Визначити також постійну часу вилучення теплової енергії τ_0 (років) при закачуванні води в пласт і витраті її $V=0,1$ м³/(с·км²). Яка буде теплова потужність, вилученої спочатку $(dE/dz)_{\tau=0}$ і через 10 років $(dE/dz)_{\tau=10}$?

1. Температура водоносного пласта перед початком його експлуатації:

$$T_2 = T_0 + (dT/dz)z = 10 + 60 \cdot 3 = 190^\circ\text{C}$$

2. Теплоємність пласта C_{nl} можна визначити за рівнянням:

$$C_{nl} = hF [\alpha \rho_s C_s + (1-\alpha) \rho_{cp} C_{cp}] = \\ = 1 \cdot 1 \cdot 10^9 [0,05 \cdot 10^3 \cdot 4200 + 0,95 \cdot 2700 \cdot 840] = 2,4 \cdot 10^{15} \text{ Дж/К},$$

3. Тепловий потенціал на початок експлуатації:

$$E_0 = C_{nl} (T_2 - T_1) = 2,4 \cdot 10^{15} \cdot (190 - 40) = 360 \cdot 10^{15} \text{ Дж}$$

4. Постійну часу пласта τ_0 :

$$\tau_0 = C_{nl} / (V \rho_s C_s) = \frac{2,4 \cdot 10^{15}}{(0,1 \cdot 10^3 \cdot 4200)} = 5,7 \cdot 10^9 \text{ с або } 181 \text{ рік}$$

5. Теплова потужність геотермального пласта у момент часу τ (років з початку розробки) у Вт (МВт):

$$\left(\frac{dE}{d\tau} \right)_\tau = - \frac{E_0}{\tau_0} \exp(-\tau/\tau_0)$$

При $\tau=0$

$$\left(\frac{dE}{d\tau} \right)_0 = - \frac{E_0}{\tau_0} \exp(-\tau/\tau_0) = \frac{360 \cdot 10^{15}}{5,7 \cdot 10^9} \exp(-0/181) \approx 63 \cdot 10^6 \text{ Вт}$$

При $\tau=10$

$$\left(\frac{dE}{d\tau}\right)_0 = -\frac{E_0}{\tau_0} \exp(-\tau/\tau_0) = \frac{360 \cdot 10^{15}}{5,7 \cdot 10^9} \exp(-10/181) \approx 57,3 \cdot 10^6 \text{ Вт}$$

2. Розрахунок використання перепаду температур поверхневих і глибинних вод океану для отримання електроенергії на ОТЕС

Вважається, що дійсний ККД η океанічної ТЕС, що використовує температурний перепад поверхневих і глибинних вод $(T_1 - T_2) = \Delta T$ і що працює по циклу Ренкіна, удвічі менше термічного ККД установки, що працює по циклу Карно, η_{tk} . Оцінити можливу величину дійсного ККД ОТЕС, робочим тілом якої є аміак, якщо температура води на поверхні океану t_1 , °С, а температура води на глибині океану t_2 , °С. Яка витрата теплої води V , м/год буде потрібно для ОТЕС потужністю N МВт?

Вважати, що щільність води $\rho = 10^3$ кг/м³, а питома масова теплоємність

$$C_p = 4,2 \cdot 10^3 \text{ Дж/(кг·К)}.$$

Завдання присвячено перспективам використання перепаду температур поверхневих і глибинних вод океану для отримання електроенергії на ОТЕС, що працює по відомому циклу Ренкіна. Як робоче тіло передбачається використання легкокіплячих речовин (аміак, фреон). Внаслідок невеликих перепадів температур ($\Delta T = 15 \div 26$ °С) термічний ККД установки, що працює по циклу Карно, складає всього 5-9%. Реальний ККД установки, що працює по циклу Ренкіна, буде удвічі менше. В результаті для отримання частки відносно невеликих потужностей на ОТЕС вимагаються великі витрати «теплої» і «холодної» води і, отже, величезні діаметри трубопроводів, що підводять і відводять воду.

Якщо вважати теплообмінники (випарник і конденсатор) ідеальними, то теплову потужність, отриману від теплої води Q_0 (Вт) можна представити як:

$$Q_0 = \rho V C_p \Delta T, \quad (5.7)$$

де ρ – щільність морської води, кг/м³;

C_p – масова теплоємність морської води, Дж/(кг·К);

V – об’ємна витрата води, м³/с ;

$\Delta T = T_1 - T_2$ – різниця температур поверхневих і глибинних вод (температурний перепад циклу) в °С або К.

У ідеальному теоретичному циклі Карно механічна потужність N_0 (Вт) може бути визначена як:

$$N_0 = \eta_{tk} Q_0, \quad (5.8)$$

де η_{tk} – термічний ККД циклу Карно: $\eta_{tk} = (T_1 - T_2) / T_2$.

Для варіантів значення вихідних величин наведено у табл. 5.2.

Таблиця 5.2.

Вихідні данні для розрахунку використання перепаду температур
поверхневих і глибинних вод океану

Величини і одиниці їх виміри	Варіанти завдань									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
N , МВт	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
t_1 , °С	30	30	28	28	26	26	24	23	21	20
t_2 , °С	4	5	4	5	4	5	4	5	4	5

Розв’язання. Приймаємо наступні умови: Вважається, що дійсний ККД η океанічної ТЕС, що використовує температурний перепад поверхневих і глибинних вод $(T_1 - T_2) = \Delta T$ і що працює по циклу Ренкіна, удвічі менше термічного ККД установки, що працює по циклу Карно, η_{tk} . Оцінити можливу величину дійсного ККД ОТЕС, робочим тілом якої є аміак, якщо температура води на поверхні океану $t_1 = 30^\circ\text{C}$, а температура води на глибині океану $t_2 = 5^\circ\text{C}$. Яка витрата теплої води V , м/год буде потрібно для ОТЕС потужністю $N = 5$ МВт?

Вважати, що щільність води $\rho = 10^3$ кг/м³, а питома масова теплоємність

$C_p = 4,2 \cdot 10^3$ Дж/(кг·К).

1. Термічний ККД циклу Карно:

$$\eta_{tk} = (T_1 - T_2)/T_2 = \frac{(30 - 5)}{5} = 5$$

2. Теплова потужність:

$$Q_0 = \frac{N}{\eta_{tk}} = \frac{5}{5} = 1 \text{ МВт}$$

3. Об'ємна витрата води:

$$V = \frac{Q_0}{\rho C_p \Delta T} = \frac{10^6}{10^3 \cdot 4,2 \cdot 10^3 (30 - 5)} = 9,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$$

Питання для самоконтролю

1. Принцип дії систем ПТЕО.
2. Що таке геотермальна енергія.
3. Основні способи отримання енергії ГеоТЕС.
4. Принцип отримання енергії на океанічних ТЕС.
5. Що таке цикл Ренкіна та цикл Карно?
6. Яке робоче тіло використовується в ОТЕС?

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 6

РОЗРАХУНОК БІОЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК

Мета роботи: ознайомитися з основними біоенергетичними установками для отримання біопалива; опанувати методику розрахунку біогазогенератора.

Теоретичні відомості

Однією з найбільш перспективних тем в галузі розвитку альтернативних джерел енергії є вивчення потенціалу біоенергетики, тобто отримання енергії з органічних матеріалів.

Головна перевага цього виду альтернативних джерел енергії – це велика різноманітність сировини і об'єктів його практичного застосування. Адже рослинний світ планети надзвичайно різноманітний і як паливо можна використовувати багато видів рослин. Крім того, існує можливість створення екологічно чистих видів пального. Розробка і виробництво біопалива також допоможе розв'язати проблему сміття, яке може приносити енергію, будучи сировиною.

Біопаливо – це паливо з біологічної сировини, що отримується, як правило, в результаті переробки стебел цукрової тростини або насіння рапсу, кукурудзи, сої. Існують також проєкти різної міри опрацьованості, спрямовані на отримання біопалива з целюлози і різного типу органічних відходів.

Існують різні класифікації біологічних палив. Найбільш загальною з них є класифікація за консистенцією, згідно якої біопаливо підрозділяється на:

- рідке (для двигунів внутрішнього згорання, наприклад, етанол, метанол, біодизель),
- тверде (дрова, солома),
- газоподібне (біогаз, водень).

Завдання

Продуктивність біогазової установки в м³ біогазу за добу визначається за формулою:

$$V_{\bar{o}} = B_{ek} \cdot a \cdot \vartheta \cdot K, \quad (6.1)$$

де a – кількість органічних речовин, %;

ϑ – вихід біогазу на 1 кг органічної речовини (ОР). Орієнтовні значення ϑ для великої рогатої худоби (ВРХ) – 0,24-0,3 м³/кг; для свиней 0,4-0,45 м³/кг; для птиці – 0,6 м³/кг;

K – коефіцієнт бродіння (0,4–0,3);

B_{ek} – кількість екскрементів за добу. Кількість екскрементів за добу визначається за умови:

$$B_{ek} = n_1 b_1 + n_2 b_2, \quad (6.2)$$

де n_1, n_2 – кількість тварин різного виду;

b_1, b_2 – питомий вихід екскрементів на одну тварину різного виду.

Для розрахунку добового виходу біогазу використовують універсальне співвідношення Чена та Хашимото, котре враховує тип біомаси і операційні характеристики біогазового реактора:

$$V_n = \frac{(\vartheta_{gr} \cdot K_{op.p})}{\tau} \cdot \left(1 - \frac{K}{(\tau \cdot \omega_{max} - 1 + K)} \right) \quad (6.3)$$

де V_n – питомий добовий вихід метану СН₄ (м³ за добу з 1 м³ реактора);

ϑ_{gr} – граничний вихід метану за добу (м³ за добу з 1 кг ОР), що становить для гною ВРХ 0,2±0,05, а для свинячого гною 0,5±0,05;

$K_{op.p.}$ – концентрація ОР на виході, кг/м³;

τ – час повного обміну рідини в реакторі, діб;

K – кінематичний коефіцієнт:

– для гною ВРХ $K = 0,8 + 0,001e^{0,06S}$,

– для свинячого гною $K = 0,5 + 0,0043e^{0,091S}$;

ω_{max} – максимальна швидкість росту мікроорганізмів, доба⁻¹, яка залежить від температури бродіння T_ϕ : $\omega_{max} = 0,013 \cdot T_\phi - 0,129$.

Об'єм біогазової установки:

$$V_M = \tau \cdot V_p \cdot K_3, \quad (6.4)$$

де V_p – об'єм рідкої маси екскрементів, подають в установку за добу;

K_3 – коефіцієнт, який враховує поправку на об'єм біогазу.

1. Розрахунок теоретичної продуктивності біогазової установки.

Розрахувати продуктивність біогазової установки V_6 , якщо в господарстві є n_1 тварин ВРХ і n_2 свиней. Тривалість бродіння τ діб, температура ферментації $t^\circ\text{C}$.

Для варіантів значення вихідних величин наведено в табл. 6.1.

Таблиця 6.1.

Вихідні данні для розрахунку продуктивності біогазової установки

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
n_1	3	4	6	8	10	12	14	16	18	20
τ , діб	20	10	20	10	5	10	5	10	10	5
t °C	34	32	36	40	50	36	40	44	48	50
n_2	10	20	30	10	20	15	25	30	20	15

Розв'язання. Приймаємо наступні умови: в господарстві є $n_1=3$ тварин ВРХ і $n_2=20$ свиней. Тривалість бродіння $\tau = 10$ діб, температура ферментації $t=40^\circ\text{C}$.

1. Кількість екскрементів за добу:

$$B_{ек} = n_1 b_1 + n_2 b_2 = 3 \cdot 55 + 20 \cdot 15 = 465 \text{ кг/добу},$$

де b_1, b_2 – вихід екскрементів за добу (додаток 1, 2).

2. Можлива кількість біогазу:

$$V_{\phi} = B_{ek} \cdot a \cdot \vartheta \cdot K = 465 \cdot 0,0363 \cdot 0,265 \cdot 0,4 \approx 1,8 \text{ м}^3/\text{кг на добу}$$

де a – кількість органічної маси з 1 кг екскрементів (0,0363-0,04 кг/кг);

K – коефіцієнт бродіння (0,4...0,3)

ϑ – питома величина виходу біогазу з органічної маси $\text{м}^3/\text{кг}$, залежить від температури ферментації і тривалості процесу (додаток 3).

2. Розрахунок об'єму газу з біогазогенератора

Визначити об'єм газу з біогазогенератора внаслідок утилізації гною з n корів. Тривалість циклу бродіння τ_{ϕ} , температура t_{ϕ} . Надходження сухого бродильного матеріалу від однієї корови складає $m_0=2$ кг/добу. Вихід біогазу $\vartheta=0,24 \text{ м}^3/\text{кг}$, вміст CH_4 в біогазі 0,78. Розрахувати потужність біогазогенератора.

Для варіантів значення вихідних даних наведено в табл. 6.2.

Таблица 6.2.

Вихідні данні для розрахунку об'єму газу з біогазогенератора

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
n	4	6	8	10	12	14	16	7	9	11
$t_{\phi}, ^\circ\text{C}$	40	42	44	38	39	45	37	41	43	37
$\tau_{\phi}, \text{діб}$	8	7	7	9	9	6	10	9	6	10

Розв'язання. Приймаємо наступні умови: в господарстві є $n=4$ корови. Тривалість бродіння $\tau_{\phi}=10$ діб, температура ферментації $t_{\phi}=40^\circ\text{C}$. Надходження сухого бродильного матеріалу від однієї корови складає $m_0=2$ кг/добу. Вихід біогазу $\vartheta=0,24 \text{ м}^3/\text{кг}$ (додаток 3), вміст CH_4 в біогазі 0,78; $\eta=0,92$ – ККД пальника; Q^p_n – калорійність біогазу (метан за нормальних умов має близько $28 \text{ МДж/м}^3=56 \text{ кДж/кг}$);

1. Загальна маса сухого матеріалу:

$$m_3 = n \cdot m_0 = 4 \cdot 2 = 8 \text{ кг/добу},$$

2. Кількість газу, яка утворюється за добу:

$$V_{\phi} = \eta \cdot m_3 = 0,24 \cdot 8 = 1,92 \text{ м}^3/\text{добу}.$$

3. Теплова потужність біогазогенераторної установки, Вт:

$$N = \eta \cdot Q_H^p \cdot V_{\phi} \cdot K = 0,92 \cdot 28 \cdot 10^6 \cdot 1,92 \cdot 0,78 / (24 \cdot 3600) \approx 447$$

K – вміст CH_4 в біогазі 0,78

3. Розрахунок розміру біогазової установки.

Визначити розмір біогазової установки (об'єм, діаметр і висоту) для анаеробного процесу перероблення екскрементів $B_{ек}$ (кг). Тривалість ферментації $\tau_{\phi p}$ (діб).

Для варіантів значення вихідних величин наведено у табл. 6.3.

Таблиця 6.3.

Вихідні данні для розрахунку розміру біогазової установки

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$B_{ек}$, кг	280	220	340	250	150	300	200	260	180	190
$\tau_{\phi p}$, діб	20	10	20	10	5	10	5	10	10	8

Розв'язання. Приймаємо наступні умови: в реактор завантажуються $B_{ек}=200$ кг екскрементів тварин; тривалість ферментації $\tau_{\phi p}=10$ діб. Частка сухого матеріалу в екскрементах $K=0,04$.

1. Кількість сухого матеріалу (органічних речовин):

$$m_0 = B_{ек} \cdot K = 200 \cdot 0,04 = 8 \text{ кг}.$$

2. В біогазову установку подається рідка маса екскрементів, її визначають так:

$$V_p = \frac{m_0}{\rho_{ек}} = \frac{8}{1024} \approx 0,01 \text{ м}^3$$

де $\rho_{ек}$ – густина рідкої маси екскрементів, які подають в установку (1024 кг/м³).

3. Об'єм генератора:

$$V_m = \tau_{бр} V_p = 10 \cdot 0,01 = 0,1 \text{ м}^3$$

4. На основі правила «золотого перерізу» площа біогазової установки:

$$F = 0,454 \cdot V_m = 0,454 \cdot 0,1 \approx 0,05 \text{ м}^2.$$

Приймаючи конструкцію біогазової установки циліндричною, визначимо діаметр:

$$D = \sqrt{\frac{4}{\pi} F} = \sqrt{\frac{4}{3,14} 0,05} = 0,25 \text{ м}$$

Висота біогазової установки:

$$h = 4V_m / \pi D^2 = 4 \cdot 0,1 / \pi \cdot 0,25^2 = 2,04 \text{ м}$$

4. Розрахунок добової продуктивності біогазової установки.

Біогазова установка об'ємом V переробляє сільськогосподарські відходи (гній ВРХ). Технологічні параметри анаеробного процесу: температура ферментації t_ϕ , тривалість повного обміну біомаси $\tau_{бр}$. Визначити продуктивність установи з біогазу за добу.

Для варіантів значення вихідних даних наведено в табл. 6.4.

Таблиця 6.4.

Вихідні данні для розрахунку добової продуктивності біогазової установки

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$V_m, \text{м}^3$	8	10	12	14	16	18	20	22	11	13
$t_\phi, ^\circ\text{C}$	40	41	42	39	43	38	44	45	39	43
$\tau_{бр}$ діб	10	12	14	16	12	14	10	12	14	13

Розв'язання. Приймаємо наступні умови: $V=8 \text{ м}^3$; температура ферментації $t_{\phi}=40^{\circ}\text{C}$, тривалість повного обміну біомаси $\tau_{\phi p}=10$ діб.

Продуктивність біогазової установки визначимо із співвідношення:

$$V_{\pi} = \frac{(v_{\text{гр}} \cdot K_{\text{ор.р}})}{\tau_{\phi p}} \cdot \left(1 - \frac{K}{(\tau_{\phi p} \cdot \omega_{\text{max}} - 1 + K)} \right)$$

де $v_{\text{гр}}$ – граничний вихід метану за добу з 1 кг гною ВРХ – $0,2 \pm 0,05$;

$K_{\text{ор.р}}$ – концентрація ОР на виході (210 кг/м^3);

$\tau_{\phi p}$ – час повного обміну матеріалу в реакторі (10 діб);

K – кінематичний коефіцієнт для гною (ВРХ): $K=0,8+0,001e^{0,06S}$;

S – ацетат, його величина коливається в межах $80 \dots 120$.

$$K = 0,8 + 0,001 \cdot 2,7^{0,06 \cdot 85} = 0,95$$

ω_{max} – максимальна швидкість росту мікроорганізмів (доба^{-1}) за температури $t_{\phi}=40 \pm 0,05^{\circ}\text{C}$, ($T_{\phi}=273+40=313 \text{ K}$):

$$\omega_{\text{max}} = 0,013 \cdot T_{\phi} - 0,129 = 0,013 \cdot 313 - 0,129 = 3,94$$

Продуктивність з 1 м^3 установки за добу:

$$V_{\pi} = \frac{(0,25 \cdot 210)}{10} \cdot \left(1 - \frac{0,95}{(10 \cdot 3,94 - 1 + 0,95)} \right) = 5,068 \text{ м}^3$$

Питання для самоконтролю

1. Яка перевага біоенергетики серед інших альтернативних джерел?
2. Що таке біопаливо?
3. Основні способи отримання біопалива.
4. Методика визначення продуктивності біогазової установки.
5. Як визначити кількість екскрементів на добу від фермерського господарства?
6. Методика визначення об'єму біогазогенератора.
7. Як визначити розміри біоустановки?
8. Добова продуктивність типової біогазової установки.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 7

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ВИТРАТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ НА ТЕХНОЛОГІЧНЕ УСТАТКУВАННЯ Й СПОРЯДЖЕННЯ

Мета роботи: набуття навичок та умінь розрахунку витрат і економії електроенергії, витраченої на роботу обладнання, устаткування цехів, діленьниць і робочих місць.

Теоретичні відомості

Енергоефективність та енергозбереження – ключові поняття забезпечення ефективності як підприємств, так і держави в цілому. При цьому саме промисловість є однією з галузей нераціонального використання ресурсів, бо це негативно позначається на собівартості продукції.

Енергозбереження – це комплекс організаційних, виробничих, наукових, економічних, технічних та інших заходів, спрямованих на раціональне використання та економне витрачання паливно-енергетичних ресурсів.

Енергомісткість виробництва – це величина споживання енергії та палива на основні та допоміжні технологічні процеси виготовлення продукції, виконання робіт, надання послуг на базі заданої технологічної системи.

Ефективність будується на балансі доходів і витрат виробництва, в число яких неодмінно входять витрати на споживану енергію: теплову, електричну та іншу. І чим ці витрати менші, тим ефективнішим є бізнес. Чим менше енергомісткість, тим вище енергоефективність. Енергозбереження в будь-якій сфері зводиться до раціонального використання енергії, зниження непродуктивних витрат.

Основними причинами низької енергетичної ефективності підприємств є:

- фізичне та моральне зношення основних засобів і, як наслідок, висока енергомісткість обладнання;
- низький рівень контролю та регулювання споживання енергоресурсів;
- підвищені втрати у виробничих процесах і висока витрата первинних паливно-енергетичних ресурсів;

- нестача кваліфікованих фахівців у сфері енергетичного менеджменту;
- низький рівень мотивації персоналу до енергозбереження тощо.

Однією з основних умов підвищення енергоефективності підприємства є можливість власного забезпечення електроенергією найважливіших ділянок виробництва, для чого потрібно створити резервне джерело електричної енергії та систему резервного (автономного) електропостачання. Дизель-генераторні установки, газопоршневі електростанції, джерела безперебійного живлення – ось неповний список обладнання для забезпечення енергобезпеки підприємства. Власна генерація електроенергії дозволяє не залежати від зовнішніх постачальників, і підприємство буде в змозі самостійно підтримувати режим аварійного живлення, а також пікові навантаження в енергосистемі.

Системний підхід до аналізу енергобезпеки промислового підприємства вимагає скрупульозний облік усіх значущих чинників, що впливають на стабільність виробничої енергосистеми.

Показники енергобезпеки підсистем оцінюють надійність і якість функціонування кожного виду електротехнічного обладнання, щовідноситься до даного рівня; якість електроенергії; забезпечення всіх необхідних електричних, електромеханічних, електротермічних і технологічних режимів; ефективність використання електроенергії; зведення до мінімуму шкоди в аварійних режимах загальної системи електропостачання; електромагнітну сумісність між джерелами і приймачами електроенергії; комерційний і технічний обліки споживаної електроенергії; рівень автоматизації і прогнозування розподілом і споживанням електроенергії.

Оцінка рівня енергетичної безпеки промислових споживачів дозволить розробити механізм забезпечення їх енергетичної безпеки, який спрямовано на підвищення енергоефективності виробництва і дозволить визначити напрями удосконалення механізмів керування виробничою діяльністю.

Чинники, що суттєво впливають на рівень енергобезпеки промислового підприємства:

- 1) безперебійність електропостачання;

- 2) рівень сплати за спожиту електроенергію;
- 3) рівень втрат електроенергії у мережах підприємства;
- 4) ступінь зношення енергоустаткування;
- 5) стає відхилення напруги.

З метою аналізу енергоефективності підприємства виділяють показники, подані в табл. 7.1.

Таблиця 7.1

Показники оцінки ефективності керування енергоносіями на підприємстві.

№ з/п	Найменування показника	Порядок розрахунку
Щомісяця		
1.	Корисний відпуск електроенергії споживачам	Відношення показника в звітному місяці поточного року до аналогічного в минулому році
2.	Технологічна складова втрат електроенергії	Частка від отриманої мережею електроенергії
3.	Встановлене відхилення напруги	Середньомісячне значення за всіма споживачами
4.	Частка крупних промислових споживачів	Частка споживання крупними промисловими підприємствами в загальному корисному відпуску
5.	Комерційна складова втрат електроенергії	Частка від отриманої мережею електроенергії
6.	Витрати на поставлену електроенергію	Частка від виставленої суми до оплати споживачам
7.	Рівень техніки безпеки на підприємстві	Кількість нещасних випадків та виробничих травм за місяць
8.	Стан розрахунків з персоналом компанії	Кількість днів заборгованості персоналу по заробітній платі
9.	Прибуток підприємства	Темп зростання прибутку

Продовження таблиці 7.1.

№ з/п	Найменування показника	Порядок розрахунку
Щороку		
1	Рівень фактичних втрат електроенергії у мережах	Частка від отриманої мережею електроенергії
2	Рівень автоматизації керування організацією	Кількість одиниць електронно-обчислювальної техніки на одного керівника
3	Обсяг засвоєних інвестицій на нову техніку	Частка грошових коштів на нову техніку від загальної вартості основних фондів
4	Ефективність існуючої системи мотивації персоналу	Частка робітників, задоволених системою винагородження
5	Рівень забезпечення соціальних гарантій працівникам	Частка соціальних виплат відповідно річного фонду оплати праці
6	Ступінь зношення устаткування	Коефіцієнт придатності
7	Рентабельність	Відношення прибутку від передачі електроенергії до витрат на передачу

Виділяють основні види енергозберігаючих заходів:

1) організаційні заходи – це заходи швидкої віддачі: складання енергетичного паспорта підприємства, розроблення заходів енергозбереження та підвищення ефективності технологічних процесів, моніторинг виконання прийнятих заходів стимулювання і мотивація енергозберігаючої поведінки, введення права розпоряджатися коштами від економії енергоресурсів, встановлення правил закупівлі обладнання для енергоефективних технологій. Заходи швидкої віддачі можна розробити і реалізувати в межах року і вони дають

суттєвий ефект при незначних витратах.

2) технологічні заходи – це базові заходи, вони є радикальнішими та сприяють швидкому здійсненню ефективних і фінансово привабливих інвестицій. Передбачають введення стандартів енергоефективності в сфері використання виробничих будівель, промислове обладнання, впровадження систем оборотного водопостачання, очищення вікон, фарбування стін приміщень світлою фарбою, використання відпрацьованого тепла холодильників і кондиціонерів для підігріву води, впровадження систем частотного регулювання та інших пристроїв, що забезпечують підвищення коефіцієнта корисної дії електродвигунів в системах вентиляції, на насосних станціях та інших об'єктах зі змінним навантаженням;

3) інвестиційні заходи – це високовартісні та високоефективні заходи, що сприяють усуненню основних причин низької енергоефективності, у більшості випадків гарантують більш суттєву економію енергоресурсів, але вимагають вищих початкових витрат. Це перш за все перехід до альтернативних джерел енергопостачання та використання сучасних енергозберігаючих технологій виробництва продукції. Крім того, велике значення для реалізації даної групи заходів мають організаційні зміни на рівні країни та регіону, такі як реформа ціноутворення, вдосконалення ринків електроенергії та газу, перехід на інтегроване планування роботи різних джерел енергопостачання.

Промислові підприємства в процесі модернізації повинні впроваджувати такі типи технологій, які дають значний енергозберігаючий ефект:

- загальні технології для багатьох підприємств, пов'язані з використанням енергії (двигуни зі змінною частотою обертання, теплообмінники, стиснене повітря, освітлення, пар, охолодження, тощо);

- ефективніше виробництво енергії, включаючи сучасні котельні, когенерацію (тепло та електрику), а також трігенерація (тепло, холод, електрика);

- заміна старого промислового обладнання на нове, яке споживає значно менше енергії;

- альтернативні джерела енергії.

Режим енергоефективності особливо актуальний для механізмів, які частину часу працюють зі зниженим навантаженням: конвеєри, насоси, вентилятори. Існує чимало пристроїв, які дозволяють домогтися зменшення втрат при роботі електроустаткування, основними з яких є конденсаторні установки і частотно регульовані приводи, які можуть бути впроваджені на більшості промислових підприємств.

Впровадження стратегії ефективного енергозбереження допомагає підприємству уникнути ризиків і отримати конкурентну перевагу щодо інших компаній, що представляють свою продукцію або послуги на ринку. стратегія повинна стати основою для ефективного керування процесами енергозбереження в рамках проведення довгострокової енергетичної, економічної та інноваційної політики підприємства.

На теперішній час виділяють такі сучасні стратегії, які можуть бути застосовані для стратегічного моделювання системи ефективного енергозбереження на підприємстві:

- пасивна стратегія — це відсутність систематичного планування, а керування енергозбереженням не розглядають в якості окремого об'єкта впливу. Завдання формування енергетичної політики та застосування міжнародних стандартів енергозбереження не є актуальними для підприємства, а скоріше є допоміжними при пошуку шляхів виживання підприємства в умовах підвищеної конкуренції;

- стратегія максимізації прибутку в короткостроковому періоді — це впровадження заходів енергозбереження з відносно невеликим терміном окупності та високою віддачею. Стратегія орієнтується на рішення, які вже показали свою ефективність, є в значній мірі стандартизованими та перевіреними, а їх впровадження не призводить до додаткових проблем у вигляді додаткового навчання співробітників, підвищення ефективності впровадження нових технологій;

- стратегія максимізації прибутку в довгостроковому періоді передбачає

серйозне розуміння ринку цін на енергоносії та розвитку технологій, керівництво бере до уваги енергозберігаючі проєкти з великими термінами окупності інвестицій. Відповідні заходи (наприклад, впровадження нових електричних станцій або теплообмінників) можуть мати терміни реалізації у кілька десятиліть;

- стратегія реалізації всіх інвестиційно привабливих заходів вважає метою застосування всієї сукупності можливих заходів у сфері оптимізації енергоспоживання, що мають позитивний економічний ефект як в короткостроковій, так і в довгостроковій перспективі;

- максимальна стратегія припускає, що навіть цілі підприємства можуть зазнавати зміни в інтересах енергозбереження та охорони клімату. Підприємство приєднується як до прикладних досліджень в галузі енергоефективності, які мають великий термін окупності, так і до фундаментальних досліджень, наприклад, в галузі альтернативної енергетики.

Вибір тієї або іншої стратегії енергоефективності залежить, перш за все, від цілей підприємства та його потенційних можливостей щодо реалізації стратегії. Крім того, в умовах економічної самостійності підприємств одним з головних критеріїв вибору стратегії впровадження технологій енергозбереження та стимулювання процесів впровадження енергозберігаючих заходів є оцінки їх економічної ефективності.

До основних ефектів від реалізації стратегії енергозбереження промислового підприємства можуть бути віднесені:

- збільшення продуктивності технологічних установок та обладнання в разі впровадження заходів щодо технологічного енергозбереження, зниження енерговитрат на одиницю продукції та поліпшення її якості;

- економія енергії та інших ресурсів, що приводить до зниження матеріальних витрат та собівартості продукції;

- скорочення платежів підприємства за забруднення навколишнього середовища в зв'язку зі зменшенням кількості витрачених паливно-енергетичних ресурсів.

Впровадження стратегії енергоефективності на підприємстві повинно передбачати комплексний підхід до вирішення управлінських завдань і чітку формалізацію кожного з його етапів:

1. Формування комплексу цільових показників, що розраховуються на основі індикаторів (параметрів енергетичного стану підприємства). Цільові показники необхідні для планування та оцінки ефективності процесів енергозбереження підприємства і його структурних елементів (систем енергозабезпечення, підрозділів,

будівель тощо). Тому вони відображають плановий і фактичний рівні реалізації стратегічних завдань і підлягають щорічній корекції з урахуванням ряду факторів: фактичного відхилення показників від заданих значень за звітний період; оцінки фактичної ефективності заходів в галузі енергозбереження; зміни рівня технічного і технологічного розвитку; оцінки економічної ситуації та інші.

2. Планування та виконання точкових і комплексних заходів в галузі ефективного енергозбереження. Механізм реалізації заходів повинен мати чіткий взаємопов'язаний алгоритм дій з ясним прогнозованим результатом, відповідати державним та галузевим нормативно-правовим документам, корелювати з раніше прийнятими на підприємстві цільовими програмами та рішеннями. Для кожного заходу повинні бути визначені виконавці, обсяги та джерела фінансування, а також схеми залучення коштів. З урахуванням встановлених стратегією тимчасових обмежень формують план-графік реалізації заходів.

3. Контроль процесів енергозбереження. Стратегія передбачає необхідність впровадження на підприємстві ефективної системи моніторингу, аналізу та прийняття рішень, що забезпечує розподіл зон відповідальності за виконання заходів, а також адаптивне керування процесами енергозбереження з урахуванням можливих ризиків та інших факторів організаційного, технічного, соціального і економічного характеру.

Першим етапом підвищення ефективності та економії енергоресурсів є проведення комплексного енергетичного обстеження об'єкту (дільниці, цеху,

робочого місця) і розроблення на його основі економічно доцільних заходів щодо заощадження енергії. Дані заходи розробляють для кожного окремого типу споживача енергії: опалення, технології, освітлення, вентиляції тощо. Спочатку проводиться аналіз стану систем енергоспоживання, а потім – розрахунок економії енергії за типовими методиками.

Система забезпечення дільниць, цехів, приміщень, робочих місць євагомим споживачем електроенергії, особливо у виробничих приміщеннях (до 80%). Тому застосування запропонованої методики набуває великого значення за необхідності проведення обґрунтування ефективності раціонального використання споживаної електроенергії.

Для аналізу стану системи енергозабезпечення виробничого об'єкту, який обстежують, необхідно зібрати наступну інформацію:

- тип і кількість існуючих верстатів, пристосувань, приладів та іншого устаткування, яке споживає електроенергію;
- тип, кількість і потужність устаткування;
- режим роботи системи електрозабезпечення;
- електромеханічні характеристики обладнання, устаткувань;
- рік установлення обладнання;
- періодичність проведення профілактичних заходів за результатами аналізу дотримання експлуатаційних і технічних вимог до встановленого на дільниці обладнання;
- фактичний та нормований рівень потужності;
- значення коливань напруги електромережі;
- середній фактичний термін служби усіх видів обладнання й оснащення;
- фактичне і нормоване значення коефіцієнта корисної дії.

Потім, проводиться розрахунок показників енергоспоживання на підставі перерахованих вище даних, отриманих у результаті обстеження об'єктів.

Встановлена потужність P_i , Вт дорівнює:

$$P_i = P_{\text{л}} \cdot K_{\text{пра}} \cdot N, \quad (7.1)$$

де P_i – потужність верстату, пристрою, установки i -го виду на об'єкті, який обстежують;

$K_{\text{пра}}$ – коефіцієнт втрат у пускорегулювальній апаратурі;

$P_{\text{л}}$ – потужність обладнання;

N – кількість однотипних пристроїв, верстатів тощо.

Річне та питоме енергоспоживання на ділянці W_P визначають за формулою:

$$W_P = \sum_{i=1}^n W_{P_i} = \sum_{i=1}^n P_i \cdot T_{P_i} \cdot \kappa_{\text{в}i}, \quad (7.2)$$

де W_P – сумарне річне споживання електроенергії;

W_{P_i} – річне споживання електроенергії i -им видом пристрою;

T_{P_i} – річне число годин роботи пристроїв i -го виду;

$\kappa_{\text{в}i}$ – коефіцієнт використання встановленої електричної потужності пристроїв i -го виду ($\kappa_{\text{в}i} = 0,92-1$).

$$W_{\Pi} = \frac{W_P}{\sum_{i=1}^n S_i}; \quad (7.3)$$

де W_P – річне питоме використання електроенергії;

S_i – частка кожного пристрою i -го виду на досліджуваній ділянці.

Питомі показники енергоспоживання або встановленої потужності (кВт/м²) дозволяють на основі норм наближено ($\pm 20\%$) оцінити загальний потенціал економії енергії.

Для точнішої оцінки використання електроенергії за кожним видом необхідно виконати розрахунок економії електроенергії за нижчеприведеною методикою.

Значення напруги мережі визначають за формулою:

$$U_{\text{ср}} = (U_1 - U_2) / 2 \quad (7.4)$$

де U_1, U_2 – значення напруги мережі на початку та наприкінці вимірювання.

Для урахування відхилення фактичного споживання електроенергії від нормативних значень визначаємо коефіцієнт приведення:

$$k_{ni} = E_{fi} / E_{ni}, \quad (7.5)$$

де k_{ni} – коефіцієнт приведення споживаної електроенергії пристроями i -го виду;

E_{fi} – нормоване значення необхідної кількості енергії для пристроїв i -го виду;

E_{ni} – фактичне значення освітленості енергії для пристроїв i -го виду.

Потенціал річної економії електроенергії на ділянці розраховують за формулою:

$$\Delta W_{\bar{A}} = \sum_{i=1}^n k_{ni} \cdot \sum_{i=1}^f \Delta W_i^k. \quad (7.6)$$

До основних заходів проведення енергетичного обстеження відносяться:

1. Перехід на інший тип джерела енергії з більш високою енерговіддачею.

Економія електроенергії ΔW_i , кВт/рік у результаті даного заходу визначають за формулою:

$$\Delta W_i = W_{\bar{A}i} (1 - k_{uci} k_{zni}), \quad (7.7)$$

де k_{uci} – коефіцієнт ефективності заміни типу джерела енергії;

k_{zni} – коефіцієнт запасу, який враховує зниження споживання енергії протягом терміну служби (при заміні з близьким за значенням k_{zn} , але зрізною ефективністю, k_{zn} виключають або коригують, крім випадку, коли обстеження проводили після групової заміни джерел постачання електроенергії).

$$k_{uc} = \eta / \eta_N, \quad (7.8)$$

де η – енерговіддача існуючого джерела енергії;

η_N – енерговіддача пропонованого до установки джерела енергії.

2. Підвищення коефіцієнта корисної дії існуючих верстатів, пристроїв, оснащення тощо.

Економія електроенергії в результаті даного заходу визначають за формулою:

$$\Delta W_i = W_{gi} k_{ci}, \quad (7.9)$$

де k_{ci} – коефіцієнт ефективності запроваджених заходів;

$$k_{ci} = 1 - (y_c + \beta_c e^{-(t/t_c)}), \quad (7.10)$$

де y_c , β_c , t_c – постійні для заданих умов експлуатації пристроїв;

t – тривалість експлуатації пристроїв між двома найближчими (попереднім і наступним) вимірюваннями.

3. Підвищення ефективності використання потужності силових приводів. Збільшення коефіцієнтів використання пристроїв за потужністю на 20% і більше дозволяє економити 5-15% електроенергії, внаслідок збалансування раціональних режимів роботи обладнання.

Ефективність даного заходу залежить від великої кількості факторів: кількості пристроїв, коефіцієнтів використання обладнання, режимів роботи робітників тощо. Тому точніше значення економії електроенергії можна отримати на підставі технічного розрахунку методом коефіцієнта використання.

4. Підвищення ефективності використання електроенергії при автоматизації керування енергоспоживанням.

Ефективність даного заходу є багатофакторною, методика розрахунку економії електроенергії складна для використання при енергообстеженні, але може бути рекомендована за необхідності точної оцінки.

На підставі досвіду впровадження систем автоматизації економію від даного заходу можна визначити за наступною формулою:

$$\Delta W_i = W_{gi}(k_{zai} - 1), \quad (7.11)$$

де k_{zai} – коефіцієнт ефективності автоматизації керування енергоспоживанням, який залежить від рівня складності системи керування.

У табл. 7.2 представлено значення K_{zai} для підприємств і виробництв зі звичайним режимом роботи.

Таблиця 7.2.

Показники рівня складності системи автоматичного керування енергоспоживанням.

№ пор.	Рівень складності системи автоматичного керування енергоспоживанням	k_{zai}
1.	Контроль рівня енергоспоживання та автоматичне включення і відключення устаткування при критичному значенні E	1,1-1,15

2.	Зонне керування обладнанням (включення і відключення пристроїв дискретно залежно від зонного розподілу устаткування)	1,2-1,25
3.	Плавне керування потужністю залежно від розподілу і підключення обладнання ділянки	1,3-1,4

5. Установка енергоефективної пускорегулювальної апаратури:

$$\Delta W_i = W_{gi}(1 - K_{nrai}^n / K_{nrai}) \quad (7.12)$$

де K_{nrai} – коефіцієнт втрат в пускорегулювальній апаратурі існуючих пристроїв i -го виду;

K_{nrai}^n – коефіцієнт втрат у встановлюваних пускорегулювальних пристроях.

6. Заміна двигунів, силових приводів є найефективнішим комплексним заходом, тому що включає в себе заміну обмоток, підвищення коефіцієнта корисної дії устаткування, оптимізацію енергорозподілу на ділянці. Для точної оцінки економії електроенергії необхідно проводити електротехнічний розрахунок споживання енергії для передбачуваних до установки пристроїв методом коефіцієнта використання або точковим методом. За розрахунковим значенням встановленої потужності (з енерготехнічного розрахунку) економію електроенергії визначають за формулою:

$$\Delta W_i = W_{gi} - P_i^N T_{gi}, \quad (7.13)$$

де P_i^N – встановлена потужність після заміни приводів

T_{gi} – річне число годин роботи приводів i -го виду.

За спрощеної оцінки (при заміні електроприводів на аналогічні за потужністю і споживанням) розрахунок проводиться за наступною формулою:

$$\Delta W_i = W_{Ui}(1 - k_{uci}k_{zni}k_{ci}k_{cbi}K_{nrai}^N / K_{nrai}), \quad (7.14)$$

де k_{cbi} – коефіцієнт, який враховує підвищення коефіцієнта корисної дії.

$$k_{cbi} = q_i/q^N_i, \quad (7.15)$$

де q_i – паспортний коефіцієнт корисної дії існуючих приводів;

q^N_i – паспортний коефіцієнт корисної дії існуючих передбачуваних до установки приводів.

Розрахунок економії електроенергії при заміні приводів враховує заходи № 1, 2, 5, тому їх слід виключати при розрахунку загальної економії електроенергії для обладнання i -го виду.

У разі великої кількості однотипних пристроїв на ділянці, яку обстежують, зі схожими за параметрами, станом, і заходам розрахунок проводять за допомогою питомих показників економії електроенергії:

$$\Delta W^j = \Delta W^j_i / S^j_i, \quad (7.16)$$

де ΔW^j – питома економія електроенергії для пристроїв i -го типу;

ΔW^j_i – розрахункова економія електроенергії для пристроїв i -го типу;

S^j_i – частка кожного пристрою i -го виду на досліджуваній ділянці.

Загальна економія електроенергії в системах енергоспоживання обстежуваного об'єкту визначають за формулою:

$$\Delta W_g = \sum_{j=1}^N \Delta W^j_{yd} \cdot S^j, \quad (7.17)$$

де S^j – загальна кількість пристроїв i -го виду на ділянці, яку досліджують;

N – кількість типів пристроїв.

За представленою вище методикою здійснюють розрахунок економії електроенергії на об'єктах і підрозділах, які задіяні у виробничих процесах підприємств. У середньому економічно реальний потенціал економії електроенергії в системах енергоспоживання цехів, діляниць може скласти 15-20%.

Завдання

Проаналізувати стан системи енергоспоживання на ділянці механічного цеху. Зробити енергетичне обстеження об'єкту. Дані для розрахунків наведено у табл. 7.3.

Приклад виконання практичного завдання

Систему енергоспоживання механічного цеху забезпечують системою автоматичного керування з коефіцієнтом корисної дії 52%: приводи, які використовують, $\eta = 75$ кВт; режим роботи – 1 зміна (з 8 до 17 годин); кількість приводів – 15 штук; середньозважений коефіцієнт втрат електроенергії $p = 3$; нормована потужність – 300 кВт; фактична потужність – 250 кВт; кількість годин роботи пристроїв на рік $T_{\Sigma} = 1300$ годин; напруга мережі під час вимірювань $U_{\Sigma} = 220$ В; коефіцієнт використання електроенергії 0,92; на момент вимірювання енерговитрат пройшло 360 днів з дня останньої перевірки.

Розрахунок:

1. Визначення встановленої потужності за формулою:

$$P = P_n \cdot K_{пра} \cdot N = 40 \cdot 1,2 \cdot 30 = 1440 \text{ Вт.}$$

2. Річне енергоспоживання дорівнює:

$$W_P = P \cdot T_{pi} \cdot k_{\epsilon_i} = 1440 \cdot 1300 \cdot 0,92 = 1872 \text{ кВт год/рік.}$$

3. Економія за рахунок переходу на приводи зниженої потужності складає:

$$W_P = P \cdot T_{pi} \cdot k_{\epsilon_i} = 1440 \cdot 1300 \cdot 0,92 = 1872 \text{ кВт год/рік.}$$

4. Економія за рахунок групування і зонування устаткування дорівнює:

$$K_{ci} = 1 - (y_c + B_c e^{-(t/t_c)}) = 1 - (0,95 + 0,02) = 0,03;$$

$$\Delta W = W_g k_c = 1872 \times 0,03 = 56 \text{ кВт год/рік.}$$

5. Економія енергії при підвищенні коефіцієнта використання устаткування до $p = 0,5$ складе 10% або $\Delta W_3 = 187$ Вт год/рік.

Таблиця 7.3.

Вихідні дані для розрахунку.

№ варіанту	Режим роботи	Кількість пристроїв, шт.	Потужність пристроїв, кВт	Рівень складності системи автоматичного керування енергоспоживанням	Середньозважений коефіцієнт втрат	Кількість годин роботи пристроїв на рік, год.
1.	1 зміна	15	30	1,1	0,3	1300
2.	2 зміна	10	35	1,15	0,2	3420
3.	1 зміна	14	29	1,35	0,4	1300
4.	1 зміна	11	34	1,2	0,3	1300
5.	2 зміна	15	26	1,3	0,2	3420
6.	1 зміна	16	31	1,4	0,1	1300
7.	2 зміна	13	27	1,1	0,4	3420
8.	1 зміна	18	30	1,25	0,3	1300
9.	2 зміна	11	34	1,35	0,2	3420
10.	1 зміна	17	30	1,3	0,3	1300
11.	2 зміна	12	25	1,2	0,1	3420
12.	1 зміна	10	29	1,25	0,2	1300
13.	2 зміна	14	30	1,3	0,4	3420
14.	1 зміна	16	31	1,25	0,3	1300
15.	2 зміна	17	35	1,4	0,2	3420
16.	1 зміна	10	26	1,35	0,3	1300
17.	2 зміна	14	31	1,2	0,1	3420
18.	1 зміна	11	27	1,3	0,2	1300
19.	2 зміна	15	30	1,4	0,3	3420
20.	1 зміна	16	28	1,1	0,2	1300
21.	2 зміна	13	26	1,35	0,4	3420
22.	1 зміна	18	19	1,2	0,3	1300
23.	2 зміна	12	32	1,25	0,2	3420
24.	1 зміна	17	33	1,3	0,1	1300
25.	2 зміна	16	35	1,25	0,4	3420

6. Економія енергії в результаті впровадження системи автоматичного включення і відключення обладнання складе:

$$\Delta W = W_P(k_{zai} - 1) = 1872 \times (1,1 - 1) = 187 \text{ кВт год/рік.}$$

7. Економія енергії внаслідок встановлення пуско-регулювальної апаратури складає:

$$\Delta W = W_g(1 - K_{пра}^N) = 1872 \times (1 - 0,92) = 150 \text{ кВт год/рік.}$$

8. Економія за рахунок встановлення нових пристроїв з вищим коефіцієнтом корисної дії 75 %, але з аналогічним енергорозподілом дорівнює:

$$\Delta W_6 = W_g(1 - k_{cb}) = (1 - 0,52/0,75) = 580 \text{ кВт год/рік.}$$

9. Загальний резерв економії енергії складе:

$$\Delta W_{\Sigma} = k_p \sum_{k=1}^f \Delta W_i^k = 250/300 \times 1516 = 1263 \text{ кВт год/рік.}$$

Питання для самоконтролю

1. Пояснити необхідність проведення аналізу стану систем енергоспоживачів на підприємстві.

2. Назвати необхідні дані для аналізу стану системи енергоспоживання.

3. Виділити основні етапи аналізу системи енергозабезпечення дільниці, цеху, робочого місця.

4. В чому полягає розрахунок техніко-економічних показників енергоспоживання цеху (дільниці) на основі аналізу обстеження енергоспоживачів?

5. Основні показники ефективності, які використовують для розрахунку витрат і економії енергоспоживання на дільницях механічного цеху.

6. Встановлена потужність обладнання, як визначають і від чого вона залежить?

7. Як визначити річне енергоспоживання на дільниці механічного цеху?

8. Які показники називають питомими показниками енергоспоживання?

9. Потенціал річної економії електроенергії в умовах виробництва, шляхи його підвищення.
10. Шляхи підвищення ефективності використання потужності силових приводів.
11. Для чого проводиться електротехнічний розрахунок споживання всіх видів енергії на підрозділах підприємства.
12. Яким чином досягають економічного ефекту при впровадженні системи автоматизації керування енергоспоживання?
13. Показники рівня складності системи автоматичного керування енергоспоживачів на підприємстві.
14. Резерви зниження витрат електроенергії на ділянках і цехах механічного оброблення деталей.
15. Що таке енергоефективність підприємства?
16. У чому різниця між енергоефективністю та енергозбереженням?
17. Охарактеризуйте склад і структуру енергетичних ресурсів підприємства.
18. Які показники характеризують забезпеченість та ефективність використання енергетичних ресурсів підприємства?
19. Як розраховують енергетичну цінність виробленої продукції?
20. Охарактеризувати методичні підходи до оцінки ефективності енергетичних витрат на виробництво продукції.
21. У чому полягає сутність механізму енергозбереження у підприємстві.
22. Визначити основні напрями економії енергетичних ресурсів при виробництві продукції машинобудування.
23. В чому полягає методика визначення ефективності та раціонального використання споживаної електроенергії?
24. Послідовність розрахунку показників енергоспоживання.
25. Оцінка економії енергозатрат методом проведення електротехнічного розрахунку енергії, яку споживають

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. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. – Київ : Мінрегіон України, 2013.
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. Енергоефективність та відновлювана енергетика / за заг. ред. С.П. Денисюка. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 388 с.
11. Економіка енергетики : підручник / за ред. Л.Г. Мельника, І.М. Сотник. – Суми : Університетська книга, 2021. – 378 с.

12. Сотник І.М. Економіка та бізнес енергоефективності й енергозбереження : навч. посіб. / І.М. Сотник. – Суми : СумДУ, 2019. – 248 с.
13. Джеджула В.В. Енергозбереження промислових підприємств: методологія формування, механізм управління : монографія / В.В. Джеджула. – Вінниця : ВНТУ, 2019. – 346 с.
14. Дзядикевич Ю.В. Управління енергозбереженням та енергоефективністю : навч. посіб. / Ю.В. Дзядикевич, Р.І. Розум, М.В. Буряк. – Тернопіль : Підручники і посібники, 2019. – 248 с.
15. Сотник І.М. Управління енергоефективністю в умовах сталого розвитку : монографія / І.М. Сотник. – Суми : СумДУ, 2018. – 280 с.
16. Економіка та організація інноваційної діяльності : підручник / за ред. О.І. Волкова, М.П. Денисенка. – Київ : Центр учбової літератури, 2019. – 400 с.
17. Краснікова Л.І., Останін Д.В. Оцінка ефективності виробництва та споживання електроенергії в Україні / Л.І. Краснікова, Д.В. Останін. – Наукові записки: Том 15. Економіка, 2019. – С. 38-46.
18. Енергоефективність та енергозбереження: економічний, техніко-технологічний та екологічний аспекти : колективна монографія / за заг. ред. П.М. Макаренка, О.В. Калініченка. – Полтава : ПП «Астроя», 2019. – 603 с.
19. Положення про порядок подання, визначення та затвердження економічних коефіцієнтів нормативних та прогнозованих технологічних витрат електроенергії : постанова НКРЕКП (зі змінами, останні – постанова НКРЕКП від 12.08.2025 № 1221). URL: <https://www.nerc.gov.ua> (дата звернення: 24.05.2026).
20. Самойленко І.О. Оцінка ефективності енергоощадних заходів підприємства: методологічний підхід / І.О. Самойленко. – К.: Економіка і суспільство. – Вип. 14, 2018. – С. 515-521.
21. Сотник І.М. Економіка та бізнес енергоефективності й енергозбереження : навч. посіб. / І.М. Сотник, Ю.М. Завдов'єва. – Суми : СумДУ, 2020. – 196 с.
22. Управління енергоефективністю промислових підприємств : навч. посіб. / за ред. О.М. Теліженка. – Суми : СумДУ, 2018. – 215 с.

23. Економіка підприємства : підручник / за заг. ред. Г.О. Швиданенка. – Київ : КНЕУ, 2019. – 598 с.

24. Обґрунтування господарських рішень і оцінювання ризиків : навч. посіб. / за ред. І.М. Сотник. – Суми : СумДУ, 2019. – 248 с.

До ПЗ 4

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	-	-

ДОДАТОК Б

Характеристики вітру в січні (таблиця 5 [10])

Характеристика вітру у січні

[illegible]

Плай	<u>5,7</u> 6,0	<u>8,4</u> 6,1	<u>5,4</u> 4,3	<u>3,3</u> 3,7	<u>12,0</u> 6,5	<u>46,4</u> 7,5	<u>10,3</u> 6,2	<u>8,5</u> 5,2	11,2
Ужгород	<u>9,6</u> 3,3	<u>3,4</u> 2,2	<u>12,1</u> 2,7	<u>36,9</u> 3,2	<u>12,2</u> 2,5	<u>3,1</u> 2,0	<u>7,3</u> 2,0	<u>15,4</u> 3,0	25,1
Запорізька область									
Запоріжжя	<u>14,5</u> 2,3	<u>11,7</u> 2,0	<u>10,9</u> 2,4	<u>10,7</u> 2,9	<u>12,9</u> 2,0	13,6	14,9	10,8	8,8
Кирилівка	<u>11,3</u> 2,7	<u>10,9</u> 2,9	<u>18,7</u> 5,9	<u>11,2</u> 4,5	<u>13,3</u> 4,6	2,1 12,4	2,4 12,9	2,4 9,3	10,9
Івано-Франківська область						4,7	4,0	3,7	
Івано-Франківськ	<u>3,5</u> 3,3	<u>1,8</u> 2,0	<u>13,9</u> 3,4	<u>17,1</u> 3,5	<u>5,4</u> 2,8	<u>11,9</u> 3,7	<u>27,1</u> 4,9	<u>19,3</u> 4,8	34,9

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Пожежевська	<u>1,3</u> 5,7	<u>1,6</u> 4,5	<u>2,9</u> 5,7	<u>2,2</u> 4,7	<u>2,2</u> 5,3	<u>73,4</u> 12,7	<u>10,4</u> 10,5	<u>6,0</u> 7,0	32,4
Кіровоградська область									
Кіровоград	<u>13,0</u> 4,2	<u>6,3</u> 3,6	<u>9,5</u> 4,0	<u>10,6</u> 4,3	<u>16,0</u> 4,5	<u>10,0</u> 4,2	<u>16,8</u> 4,3	<u>17,8</u> 4,2	9,6
Київська область									
Київ	<u>11,2</u> 3,2	<u>4,6</u> 2,0	<u>5,8</u> 1,7	<u>11,9</u> 2,0	<u>14,1</u> 2,7	<u>14,0</u> 3,0	<u>23,5</u> 3,0	<u>14,9</u> 2,9	4,2
Луганська область									
Дар'ївка	<u>16,7</u> 2,2	<u>13,2</u> 2,6	<u>10,3</u> 3,6	<u>14,1</u> 4,5	<u>15,1</u> 3,8	<u>17,1</u> 3,4	<u>6,6</u> 2,3	<u>6,9</u> 2,1	13,8
Луганськ	<u>2,7</u> 2,1	<u>7,0</u> 2,2	<u>22,0</u> 3,5	<u>11,7</u> 2,9	<u>9,8</u> 3,1	<u>14,3</u> 3,1	<u>23,8</u> 2,8	<u>8,7</u> 2,5	14,3
Львівська область									

Львів	$\frac{4,4}{3,6}$	$\frac{3,5}{2,9}$	$\frac{8,5}{3,4}$	$\frac{19,8}{4,1}$	$\frac{8,0}{3,5}$	$\frac{15,5}{4,5}$	$\frac{27,9}{5,1}$	$\frac{12,4}{4,5}$	16,3
Миколаївська область									
Миколаїв	$\frac{19,6}{3,8}$	$\frac{12,9}{3,9}$	$\frac{12,2}{3,8}$	$\frac{7,2}{3,5}$	$\frac{14,3}{3,7}$	$\frac{8,0}{3,5}$	$\frac{13,0}{3,7}$	$\frac{12,8}{3,5}$	7,0
Одеська область									
Одеса	$\frac{21,4}{3,7}$	$\frac{14,1}{4,9}$	$\frac{8,4}{5,0}$	$\frac{4,0}{4,1}$	$\frac{8,0}{3,0}$	$\frac{12,4}{2,6}$	$\frac{16,3}{2,4}$	$\frac{15,4}{3,0}$	2,0
Сарата	$\frac{29,6}{3,1}$	$\frac{8,7}{2,8}$	$\frac{4,7}{2,8}$	$\frac{6,8}{1,9}$	$\frac{15,0}{1,9}$	$\frac{7,7}{2,1}$	$\frac{8,2}{2,4}$	$\frac{19,3}{3,0}$	18,6
Полтавська область									
Полтава	$\frac{9,0}{3,1}$	$\frac{10,0}{2,9}$	$\frac{11,9}{3,5}$	$\frac{8,7}{2,8}$	$\frac{14,7}{3,2}$	$\frac{14,9}{3,4}$	$\frac{20,2}{3,6}$	$\frac{10,6}{3,6}$	2,5
Рівненська область									
Рівне	$\frac{5,1}{3,6}$	$\frac{3,0}{2,9}$	$\frac{9,9}{3,9}$	$\frac{13,1}{3,9}$	$\frac{11,4}{4,0}$	$\frac{15,2}{4,8}$	$\frac{34,2}{5,8}$	$\frac{8,1}{5,1}$	4,0
Сумська область									
Суми	$\frac{7,8}{3,7}$	$\frac{6,3}{3,0}$	$\frac{10,0}{3,9}$	$\frac{15,3}{4,3}$	$\frac{16,1}{4,5}$	$\frac{14,4}{4,6}$	$\frac{18,6}{4,8}$	$\frac{11,5}{4,4}$	4,6
Тернопільська область									
Тернопіль	$\frac{6,3}{3,4}$	$\frac{3,1}{2,3}$	$\frac{6,0}{3,0}$	$\frac{19,4}{4,0}$	$\frac{12,5}{3,5}$	$\frac{10,1}{4,2}$	$\frac{28,6}{5,7}$	$\frac{14,0}{5,0}$	11,1
Харківська область									
Харків	$\frac{8,0}{4,5}$	$\frac{8,2}{4,2}$	$\frac{15,3}{4,7}$	$\frac{12,5}{4,2}$	$\frac{10,7}{4,4}$	$\frac{15,8}{4,6}$	$\frac{18,9}{4,6}$	$\frac{10,6}{4,2}$	8,1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Херсонська область									

Генічеськ	$\frac{14,9}{3,0}$	$\frac{15,6}{4,7}$	$\frac{18,8}{5,8}$	$\frac{6,8}{4,0}$	$\frac{7,3}{3,9}$	$\frac{11,5}{4,2}$	$\frac{15,3}{3,8}$	$\frac{9,8}{3,4}$	2,7
Херсон	$\frac{13,7}{4,2}$	$\frac{14,6}{3,8}$	$\frac{13,8}{3,2}$	$\frac{8,5}{2,6}$	$\frac{10,4}{2,8}$	$\frac{12,2}{2,8}$	$\frac{14,9}{3,3}$	$\frac{11,9}{3,9}$	2,0
Хмельницька область									
Хмельницький	$\frac{7,2}{4,6}$	$\frac{4,6}{3,6}$	$\frac{6,3}{3,6}$	$\frac{15,3}{4,5}$	$\frac{18,6}{4,8}$	$\frac{10,1}{4,3}$	$\frac{21,2}{5,7}$	$\frac{16,7}{5,5}$	10,6
Черкаська область									
Умань	$\frac{11,0}{3,1}$	$\frac{6,0}{2,4}$	$\frac{10,3}{2,3}$	$\frac{11,9}{2,4}$	$\frac{12,1}{2,4}$	$\frac{6,6}{2,1}$	$\frac{19,7}{3,4}$	$\frac{22,4}{4,3}$	39,9
Чернівецька область									
Чернівці	$\frac{5,3}{3,2}$	$\frac{1,0}{1,9}$	$\frac{27,7}{3,3}$	$\frac{10,0}{3,1}$	$\frac{8,2}{2,4}$	$\frac{5,4}{2,6}$	$\frac{17,4}{4,5}$	$\frac{25,0}{4,7}$	7,7
Чернігівська область									
Чернігів	$\frac{7,6}{4,1}$	$\frac{5,9}{3,6}$	$\frac{9,2}{3,5}$	$\frac{8,5}{3,9}$	$\frac{17,4}{4,5}$	$\frac{19,8}{4,4}$	$\frac{19,7}{4,4}$	$\frac{11,9}{4,3}$	11,2

До ПЗ 6

ДОДАТОК 1

Середньодобовий вихід екскрементів на підприємствах ВРХ

Тварини	Вихід екскрементів, кг/добу		
	Всього	кал	сеча
Би́ки	40	30	10
Корови	55	35	20
Молодняк на відкормленні віком: до 4 міс.	7,5	5	2,5
4 – 6 міс.	14,0	10	4
6 – 12 міс.	26,0	14	12
старші 12 міс.	35,0	23	12
Свині	15,0	11	4

ДОДАТОК 2

Склад екскрементів тварин (в % до сухої речовини)

Компоненти	Екскременти			
	ВРХ	дійні корови	свині	кури
Органічні речовини	77 – 85	77 – 85	77 – 84	76 – 77
Азот	2,3 – 4,0	1,9 – 6,5	4,0 – 10,3	2,3 – 5,7
Фосфор	0,4 – 1,1	0,2 – 0,7	1,9 – 2,5	1,0 – 2,7
Калій	1,0 – 2,0	2,4	1,4 – 3,1	1,0 – 2,9
Кальцій	0,6 – 1,4	2,3 – 4,9	–	5,6 – 11,6
Магній	0,5 – 0,6	–	–	0,9 – 1,1
С : Н	9 – 15	9 – 15	9 – 15	9 – 15
Сира клітковина (целюлоза)	–	27,6 – 50,3	19,5 – 21,4	13 – 17,8
Сирий жир	–	2,9 – 4,3	3,5 – 4,0	2,4 – 5,0
Сирий протеїн	–	9,3 – 20,7	16,4 – 21,5	20,5 – 42,1
Лігнін	16 – 30	16 – 30	–	9,6 – 14,3

ДОДАТОК 3

Питома величина виходу біогазу із сухої органічної речовини в залежності від температури і тривалості ферментації

Температ. процесу, °C	Тривалість бродіння, τ , доба	Вихід CH_4 , $v \cdot 10^{-3}$, $\text{м}^3/\text{кг}$	Температ. процесу, °C	Тривалість бродіння, τ , доба	Вихід CH_4 , $v \cdot 10^{-3}$, $\text{м}^3/\text{кг}$
25	5	22,44	44	5	118,59
	10	54,40		10	269,95
	20	116,26		20	428,93
28	5	21,68	48	5	203,18
	10	91,73		10	308,12
	20	174,80		20	478,44
32	5	63,23	50	5	179,17
	10	161,12		10	285,13
	20	329,98		20	357,95
34	5	100,07	54	5	119,93
	10	202,17		10	302,34
	20	347,73		20	385,71
36	5	66,67	56	5	184,68
	10	164,90		10	375,88
	20	296,10		20	469,38
40	5	115,61	60	5	61,83
	10	265,10		10	74,72
	20	417,56		20	93,84

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 60×84^{1/16}. 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