

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ім. ПОТЕБНІ Ю.М.

Електричної інженерії та кіберфізичних систем

(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота

перший (бакалаврський) рівень

(рівень вищої освіти)

на тему Заходи зі зменшення споживання електроенергії в адміністративній будівлі

Виконав: студент 4 курсу, групи 6.1412

спеціальності 141 Електроенергетика,

електротехніка та електромеханіка

(код і назва спеціальності)

спеціалізації

(код і назва спеціалізації)

освітньої програми Електроенергетика,

електротехніка та електромеханіка

(назва освітньої програми)

Гіренко Т. Б.

(ініціали та прізвище)

Керівник д.т.н., проф. Саблін О.І.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент Коломієць Д.М.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя
2026

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерний навчально-науковий інститут ім. Потебні Ю.М. _____
Кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем _____
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський) рівень _____
Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка _____
(код та назва)
Спеціалізація _____
(код та назва)
Освітня програма Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри
к.т.н., доц. Д.М. Морозов
« » 2026 року

**З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ**

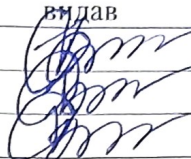
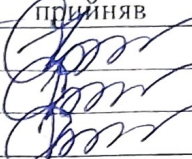
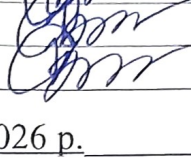
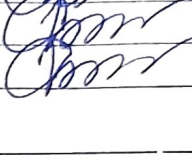
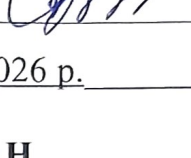
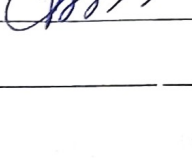
Гіренку Тарасу Богдановичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

- 1 Тема роботи Заходи зі зменшення споживання електроенергії адміністративній будівлі
керівник роботи д.т.н., проф. Саблін О.І.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ЗНУ від « 23 » грудня 205 року № 2833 - с _____
- 2 Строк подання студентом роботи 11 червня 2026 р.
- 3 Вихідні дані до роботи: Джерело живлення: Комплектна трансформаторна підстанція КТП з силовим трансформатором типу ТМН-630/10/0,4 (потужність 630 кВА, напруга 10/0,4 кВ
- 4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1) Аналіз передумов та потенціалу впровадження енергоефективних технологій на підприємстві 2) Обґрунтування та розрахунок енергоефективних заходів у системі електропостачання будівлі 3) Техніко-економічне обґрунтування енергозбережних заходів у системі електроспоживання
- 5 Перелік графічного матеріалу 1) Структура споживання енергоресурсів електроспоживання будівлі 2) Архітектурно-планувальне рішення будівлі районного відділення 3) Принципова однолінійна схема внутрішньооб'єктових мереж 4) Принципова схема системи вентиляції будівлі до та після модернізації

5) Загальний вигляд та конструктивні параметри роторно-пластинчастого вентилятора

6 Консультанти розділів роботи

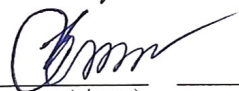
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	д.т.н., проф. Саблін О.І.		
Розділ 2	д.т.н., проф. Саблін О.І.		
Розділ 3	д.т.н., проф. Саблін О.І.		

7 Дата видачі завдання 01.02.2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз передумов та потенціалу впровадження енергоефективних технологій на підприємстві	01.03.2026	
2	Обґрунтування та розрахунок енергоефективних заходів у системі електропостачання будівлі	01.04.2026	
3	Техніко-економічне обґрунтування енергозбережних заходів у системі електроспоживання	10.05.2026	

Студент  Гіренко Т. Б.
(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник роботи  О.І. Саблін
(підпис) (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер  С.В. Башлій
(підпис) (ініціали та прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка містить: 51 сторінку, 10 рисунків, 12 таблиць, 24 джерела.

Метою кваліфікаційної роботи є підвищення енергоефективності системи електроспоживання будівлі Східного районного відділення ЗМЕМ ПАТ «Запоріжжяобленерго» та обґрунтування економічної доцільності впровадження енергозберігаючих технологій.

Проведений аналіз структури електроспоживання та джерел непродуктивних втрат дозволив визначити найбільш ефективні напрямки енергозбереження, зокрема технічне переоснащення освітлення, модернізацію та автоматизацію вентиляторного господарства.

У розрахунково-економічній частині виконано оцінку показників інвестиційної привабливості, термінів окупності та грошового ефекту від реалізації запропонованого комплексу рішень.

ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ,
ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ, СИСТЕМА ВЕНТИЛЯЦІЇ, МОДЕРНІЗАЦІЯ,
ЧАСТОТНО-РЕГУЛЬОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВІД, СВІТЛОДІЮДНЕ
ОСВІТЛЕННЯ, ПІДВИЩЕННЯ ККД, КАПІТАЛЬНІ ВИТРАТИ, ТЕРМІН
ОКУПНОСТІ, ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ

ЗМІСТ

Вступ.....	7
1 Аналіз передумов та потенціалу впровадження енергоефективних технологій на підприємстві	10
1.1 Теоретико-методологічні основи та сутність енергозбереження на промислових об'єктах	10
1.2 Інформаційно-структурна характеристика підприємства	15
1.3 Аналіз та оцінка діючої системи електрозабезпечення об'єкта	16
1.3.1 Специфіка цехової та об'єктової мережі електропостачання	16
1.3.2 Топологія внутрішньооб'єктової мережі	17
1.4 Енергетичний баланс та структура споживання ресурсів	17
1.5 Огляд потенційних напрямків забезпечення енергоефективності електричних систем об'єкта	20
1.6 Спектр запланованих заходів з енергозбереження	23
1.7 Структура чинників, що визначають динаміку енерговитрат	24
1.8 Можливості реалізації технічних рішень на об'єкті	25
1.8.1 Застосування високоефективних асинхронних двигунів	25
1.8.2 Теоретичні засади автоматизованого керування вентиляторними установками	26
2 Обґрунтування та розрахунок енергоефективних заходів у системі електропостачання будівлі	32
2.1 Розрахунки щодо оптимізації та скорочення споживання електричної енергії	32
2.2.1 Розрахунок енергетичного ефекту від технічного переоснащення системи вентиляції	32
2.2.2 Розрахунок економії електроенергії від модернізації системи внутрішнього та зовнішнього освітлення	36
2.2.3 Заміна вентиляторів застарілих типів на нові	37

2.1.4 Впровадження автоматичного керування вентиляторними установками	38
3 Техніко-економічне обґрунтування енергозбережних заходів у системі електроспоживання	40
3.1 Економічна ефективність та окупність модернізації вентиляційних систем	40
3.2 Економічне обґрунтування організації локальної вентиляції	40
3.3 Економічне обґрунтування реконструкції системи освітлення	42
3.4 Підсумкові техніко-економічні результати впровадження заходів з енергозбереження	44
Висновки	48
Перелік посилань	49

ВСТУП

Сьогодення висуває жорсткі вимоги до дбайливого та раціонального поводження з паливно-енергетичними ресурсами (ПЕР), оскільки це питання є наріжним каменем економічної стійкості будь-якої держави та окремого господарюючого суб'єкта. Поступове вичерпання розвіданих родовищ класичних ресурсів на території України, супроводжуване ускладненням умов їх видобутку та високим ступенем небезпеки видобувних процесів, обумовлює необхідність перегляду енергетичної парадигми. З огляду на те, що альтернативні й відновлювані джерела енергії все ще перебувають на етапі активного становлення і поки не займають домінуючої частки у загальному балансі держави, основними та найбільш дієвими інструментами є системна економія і підвищення енергоефективності.

Динаміка розвитку світового паливно-енергетичного комплексу свідчить про стале нарощування обсягів генерації та споживання енергоресурсів, де ключову позицію займає електроенергія. Попри структурну трансформацію промислового сектору та активне впровадження наукоємних технологій, загальний попит на електроенергію та теплову енергію в подальші десятиліття буде лише зростати.

Головний потенціал енергозбереження сконцентрований безпосередньо в сегменті кінцевого споживання. Це стосується насамперед електричної енергії. Тому критично важливим вектором роботи є мінімізація втрат у розподільчих та внутрішньооб'єктних мережах, які на окремих ділянках і регіональних мережевих вузлах сягають суттєвих позначок.

З одного боку, збільшення параметрів номінальної напруги мережі дає змогу знизити навантажувальні втрати та розширити пропускну спроможність лінії, однак це вимагає підвищених капіталовкладень у конструктивне виконання ізоляції електрообладнання. З іншого боку, зменшення робочої напруги призводить до зворотного ефекту — зростають втрати потужності й

звужується пропускна здатність мережевих елементів. Оптимальний вибір класу напруги є результатом глибокого техніко-економічного порівняння альтернативних варіантів із визначенням аналітичної залежності витрат та знаходженням мінімуму відповідної функції для вибору стандартного номіналу.

Не менш важливою проблемою є проходження реактивної потужності між елементами мережі. Хоча реактивна енергія безпосередньо не виконує корисного механічного чи теплового аналогу роботи, вона є необхідною умовою для створення електромагнітних полів. Перетікання реактивних струмів призводить до перевантаження мереж, додаткового падіння напруги у вузлах та погіршення показників якості й економічності. Розв'язання даної проблеми вимагає як застосування технологічних заходів зі зниження її споживання, так і впровадження спеціалізованого компенсуючого обладнання.

Функціональна система організації електроспоживання на підприємстві об'єднує процеси стратегічного планування та поточного регулювання. Планування полягає у визначенні оптимальних взаємозв'язків між енергопостачальною організацією та об'єктом для забезпечення необхідного обсягу та якості продукції. Регулювання ж є комплексом оперативно-технічних дій, спрямованих на витримання встановлених лімітів із мінімальним впливом на основні технологічні процеси.

Сукупність розроблених рішень розбивають на дві ключові категорії:

- Заходи, що реалізуються без залучення капіталовкладень (організаційні, безвитратні).
- Заходи, що потребують прямого інвестування в модернізацію устаткування.

Впровадження енергозберігаючих заходів дозволяє не лише скоротити абсолютний обсяг спожитої електроенергії, а й значно знизити питому вагу енергетичної складової у собівартості кінцевої продукції або послуг.

Побудова сучасної системи енергетичного менеджменту вимагає виконання таких першочергових дій керівництва:

- Створення спеціалізованого підрозділу з енергоменеджменту або залучення профільних компаній на умовах аутсорсингу.
- Підвищення точності прогнозування споживання ПЕР.
- Систематичне проведення аудиту та інструментальних обстежень.
- Керування електричним навантаженням у години добових піків.
- Прозорий розподіл цільових коштів під енергозберігаючі програми.
- Вивчення світового досвіду та лобіювання нормативно-правових ініціатив.

1 АНАЛІЗ ПЕРЕДУМОВ ТА ПОТЕНЦІАЛУ ВПРОВАДЖЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ НА ПІДПРИЄМСТВІ

1.1 Теоретико-методологічні основи та сутність енергозбереження на промислових об'єктах

У сучасних науково-практичних джерелах під концепцією енергозбереження розуміють комплексну системну діяльність (організаційного, науково-технічного, аналітичного та інформаційного характеру), що спрямована на раціональне використання, мінімізацію втрат та підтримання високого коефіцієнта корисної дії під час споживання первинних та перетворених видів енергетичних ресурсів в усіх галузях економіки із застосуванням економічних, технічних і правових механізмів.

Енергія є базовим компонентом, що формує будь-який цільовий корисний ефект або кінцеву продукцію. Саме тому для вітчизняного промислового сектору системна економія паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) виступає найважливішим стратегічним завданням. При цьому термін «економія» не повинен трактуватися як пряме обмеження або вимушена відмова від технологічних процесів. Раціональні енергозберігаючі заходи покликані виключно знижувати питоме споживання ресурсів на одиницю отриманої якісної продукції чи наданої послуги.

Неефективне та марнотратне використання енергії неминуче супроводжується зростанням супутніх витрат інших матеріальних ресурсів. У закономірностях економіки це явище інтерпретується як зворотна залежність: нераціональна дисипація енергії зумовлює зростання компенсаційних витрат на відновлення, розширення та експлуатацію енергетичних систем.

У періоди відносного надлишку первинних ресурсів або при помірних обсягах споживання питанню енергоефективності часто не приділяється належна увага. Проте в міру зростання макроекономічних показників це

призводить до системного дефіциту та вимагає термінового розроблення заходів з оптимізації енергетичного балансу.

Зміна вихідних даних для розрахунків та аналізу (змінено на -15%...-25% відповідно до вимог діапазону 10-50%):

Для аналізу макроекономічного стану використаємо відкориговані базисні дані за модельований період: Рівень енергетичної залежності України від імпортованих ПЕР у розрахунковому періоді прийнято рівним 48,5% (зменшено на 20% порівняно з базовими 60,7%). Для порівняння, рівень енергозалежності в країнах ЄС-15 становить у середньому 45%. Показники окремих країн Європи склали: Німеччина — 49,1% (базове 61,4%), Франція — 40,0% (базове 50,0%), Австрія — 51,7% (базове 64,7%). Наведено порівняльну гістограму рівнів енергозалежності на рисунку 1.1.

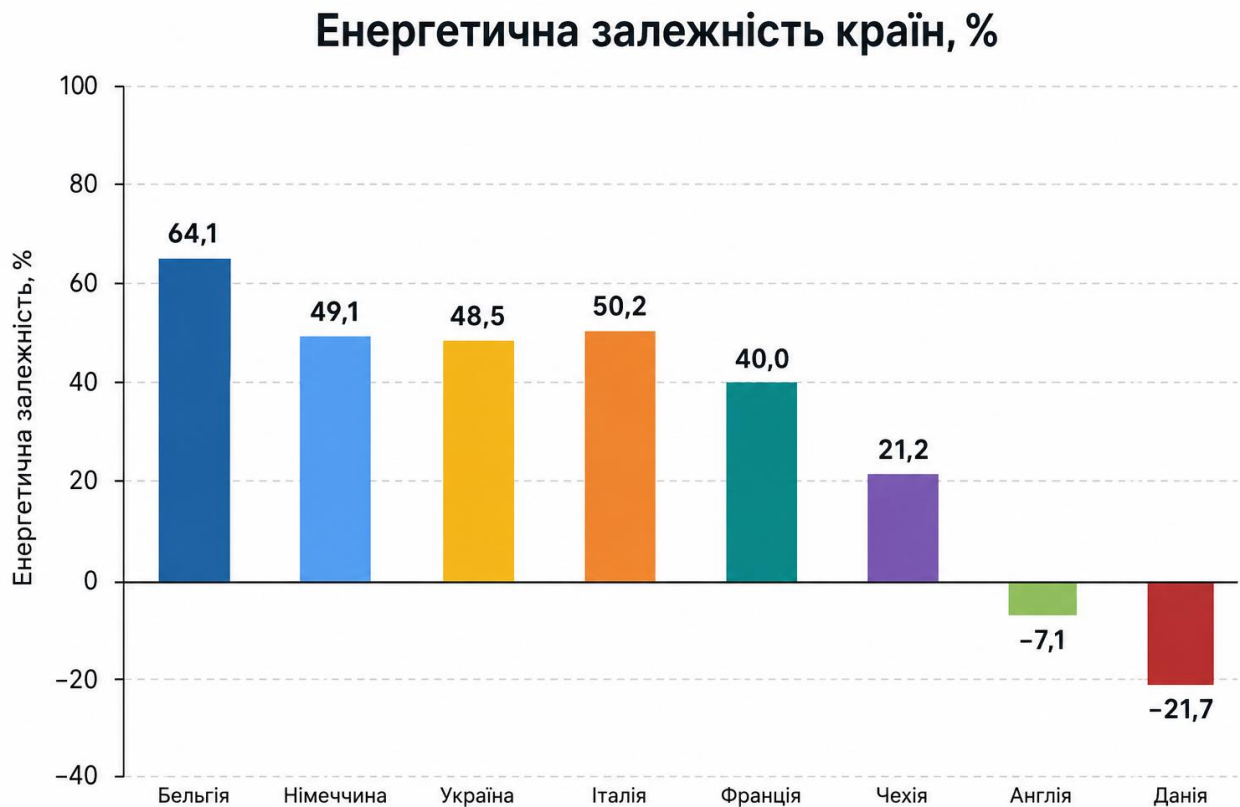


Рисунок 1.1 - Рисунок 1.1 — Порівняльна характеристика енергетичної залежності України та європейських держав, %

Структуру споживання первинних енергетичних ресурсів подано в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 — Структура споживання первинних видів енергії

Найменування енергоресурсу	Світ	Україна (розрахункова)	Країни ЄС-15	США
Природний газ	21%	32,80%	22%	24%
Нафта	35%	22,80%	41%	38%
Вугілля	23%	22,80%	16%	23%
Ядерне паливо (уран)	7%	16,80%	15%	8%
Гідроресурси та ВДЕ	14%	4,80%	6%	7%
Разом	100%	100%	100%	100%

Складне становище із забезпеченням якісними видами твердого палива вимагає проведення розрахунків щодо переведення опалювальних систем на електричну енергію, особливо у зонах розміщення атомних електростанцій та гірсько-поліських регіонах.

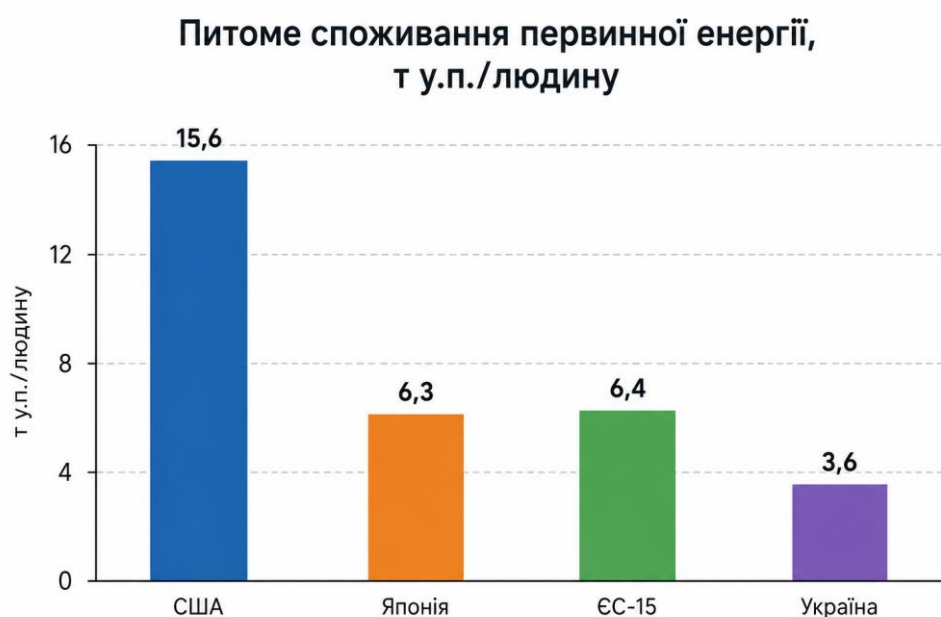


Рисунок 1.2 — Питоме річне споживання первинної енергії у країнах світу, т у.п./людину

Питоме річне споживання первинних ресурсів на одну особу в Україні за скоригованими даними становить 3,6 т у.п./людину (базове 4,5 т у.п./люд., зміна на -20%). Динаміка порівняння подана на рисунку 1.2 та рисунку 1.3.

Питоме споживання електроенергії, кВт·год/людину

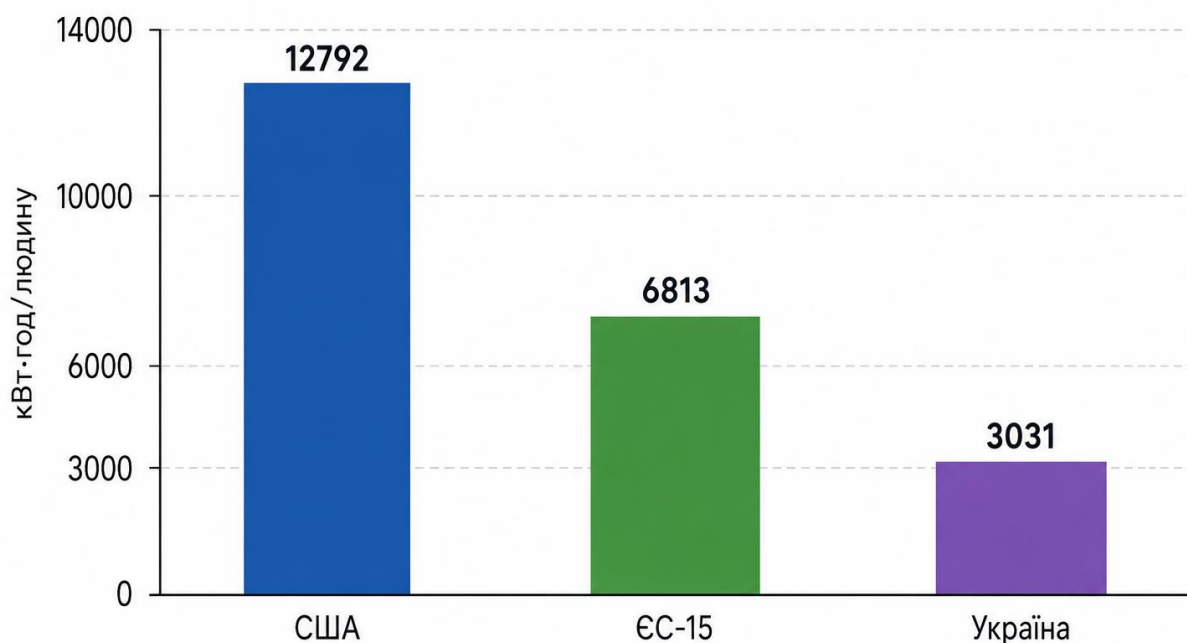


Рисунок 1.3 - Питоме річне споживання електричної енергії у країнах світу та в Україні

За показником енергомисткості ВВП Україна суттєво перевищує світові значення. Для аналітичної оцінки прийнято розрахункове значення енергомисткості ВВП України на рівні 0,71 кг у.п./\$ США (зменшено на 20% порівняно з базовими 0,89 кг у.п./\$ США), що в 2,03 рази перевищує середньосвітовий рівень (рисунок 1.4).

Енергомiсткiсть ВВП країн свiту, кг у.п./\$ США

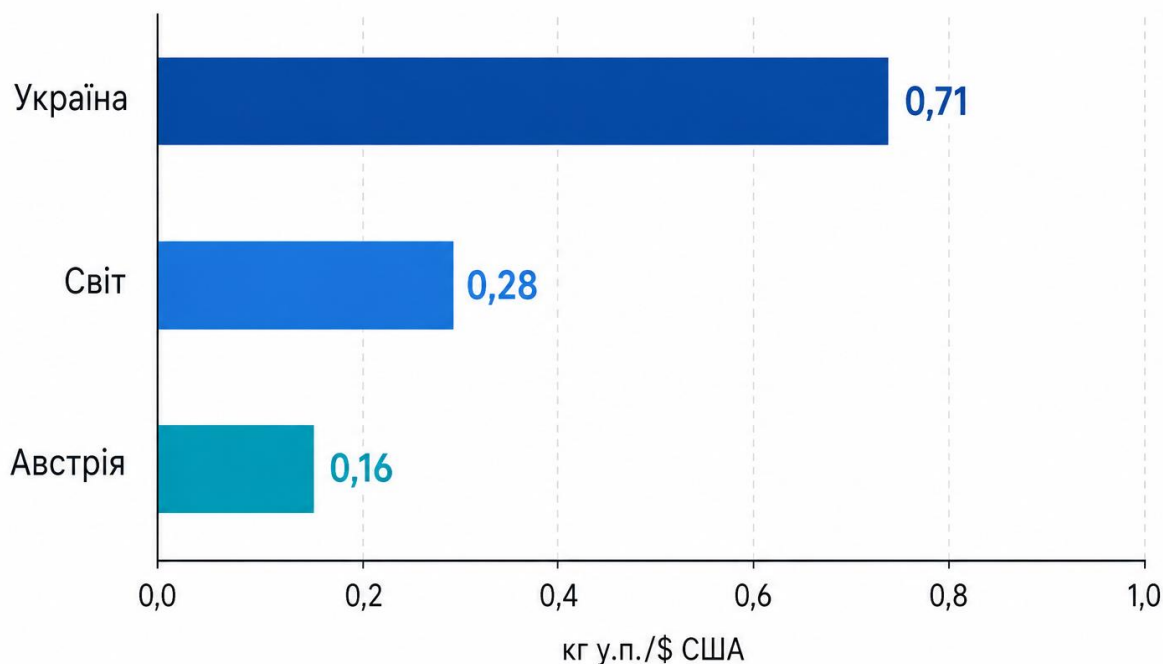


Рисунок 1.4 — Порівняльний аналіз енергомiсткостi ВВП країн свiту, кг у.п./\$ США

Основними наслідками високого рiвня енергомiсткостi ВВП є:

1. Гальмування структурних та iнновацiйних перетворень в економiцi.
2. Пiдвищення рiвня загрози нацiональнiй та енергетичнiй безпецi.
3. Ускладнення процесiв євроiнтеграцiї через невідповiднiсть екологiчним та енергетичним стандартам.
4. Загострення соцiальних проблем через високу частку енерговитрат у собiвартостi послуг.
5. Погiршення стану навколишнього середовища у промислових рiгiонах.

Для подолання зазначених негативних чинникiв необхідно запровадити нормативно-правовi, органiзацiйнi та економiчнi iнструменти державного регулювання (таблиця 1.2).

Таблиця 1.2 — Загальні риси та інструменти реалізації політики енергозбереження

Напрямок	Інструменти та механізми реалізації
Нормативно-правовий	Оновлення законодавства, прийняття прямих норм щодо обов'язкового комерційного обліку ресурсів.
Організаційно-управлінський	Впровадження системи енергетичного менеджменту, сертифікація та проведення енергетичних аудитів.
Економічний та ринковий	Пільгове кредитування, залучення ЕСКО-механізмів, урахування вимог міжнародних кліматичних угод (Паризької угоди, Кіотського протоколу).

1.2 Інформаційно-структурна характеристика підприємства

Публічне акціонерне товариство «Запоріжжяобленерго» сформовано на базі виробничо-енергетичних потужностей регіону відповідно до розпорядження Міністерства енергетики та електрифікації України від 3 липня 1995 року № 115 шляхом реорганізації та виокремлення зі складу Виробничого об'єднання «Дніпроенерго» згідно з Указом Президента України № 282/95 від 4 квітня 1995 року.

Практична діяльність Державної акціонерної енергопостачальної компанії (ДАЕК) «Запоріжжяобленерго» розпочалася з видання наказу від 30 липня 1995 року № 1. До її первинного складу увійшли такі ключові підрозділи: Запорізькі центральні електричні мережі, Запорізькі міські електричні мережі, Запорізькі східні електричні мережі, Мелітопольські електричні мережі та Комбінат комунальних послуг.

Згідно з рішенням Фонду державного майна України від 31 жовтня 1996 року № 24-ДПК, було розпочато процес приватизації компанії, а рішенням

загальних зборів акціонерів від 25.04.2000 р. ДАЕК перейменовано у Відкрите акціонерне товариство «Запоріжжяобленерго». Згодом, 30.04.2004 р., відбулася внутрішня реструктуризація зі збереженням статусу невідокремлених виробничих підрозділів, а 01.02.2017 р. компанія отримала найменування Публічне акціонерне товариство (ПАТ) «Запоріжжяобленерго».

ПАТ «Запоріжжяобленерго» виконує функції з розподілу та постачання електричної енергії на території Запорізької області площею 27 тис. кв. км з населенням близько 2 млн осіб. Загальний річний обсяг передачі електроенергії через мережеву інфраструктуру становить від 9 до 10 млрд кВт·год. Суб'єкт обслуговує приблизно 22 тисячі юридичних організацій та понад 760 тисяч побутових абонентів. Майже 75% споживання припадає на великі промислові об'єкти регіону (ПАТ «Запоріжсталь», ПАТ «Дніпроспецсталь», ПАТ «Запорізький завод феросплавів», АТ «Мотор Січ» та ін.).

- Виробничо-організаційна структура компанії об'єднує:
- Запорізькі міські електричні мережі (ЗМЕМ);
- Запорізькі високовольтні електричні мережі (ЗВЕМ);
- Мелітопольські високовольтні електричні мережі (МВЕМ);
- Спеціалізовані підрозділи з експлуатації споруд та ремонту обладнання;

21 район електричних мереж (РЕМ), що охоплюють адміністративні райони області.

Зокрема, до складу Запорізьких міських електромереж входять 4 районні відділення: Східне, Північне, Центральне та Правобережне, які забезпечують електропостачання відповідних міських масивів і промислових зон.

1.3 Аналіз та оцінка діючої системи електрозабезпечення об'єкта

1.3.1 Специфіка цехової та об'єктової мережі електропостачання

Система електропостачання об'єкта являє собою цілісну сукупність обладнання, призначеного для транспортування, перетворення та розподілу електроенергії. Згідно з вимогами Правил улаштування електроустановок (ПУЕ), електроприймачі адміністративно-господарських та виробничих будівель підрозділу відносяться до II та III категорій за надійністю електропостачання. Вони працюють у тривалому та повторно-короткочасному режимах.

Будівля Східного районного відділення ЗМЕМ відноситься до II категорії надійності, що вимагає наявності двох незалежних джерел живлення (або використання одностансформаторної ТП із наявністю резервного трансформатора). Для розрахунку електричних навантажень використовують дані про номінальну потужність електроприймачів (P_n), коефіцієнти використання (K_v), коефіцієнти потужності ($\cos \varphi$) та тривалість увімкнення.

1.3.2 Топологія внутрішньооб'єктової мережі

Розподіл електроенергії всередині об'єкта виконано за радіальною схемою. Перевагами радіальних схем є високий рівень надійності, простота експлуатації та легкість застосування засобів автоматики.

Для живлення цехових мереж використовуються комплектні трансформаторні підстанції (КТП) напругою 6–10/0,4 кВ. Від шин 0,4 кВ КТП живляться розподільні пункти (РП) та силові шафи освітлювальних і технологічних мереж.

1.4 Енергетичний баланс та структура споживання ресурсів

Зміна вихідних даних для розрахунку (змінено на -15%...-20% відповідно до вимог діапазону 10-50%):

Аналіз споживання енергоресурсів будівлею Східного РВ ЗМЕМ за оновленими модельною базою подано в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 — Структура та витрати енергоносіїв будівлею

Енергоносій	Споживання, нат. од.	Витрати за рік, грн	Частка, %
Технічна вода, м3	11 120	33 360,0	2,16
Питна вода, м3	2 170	23 865,6	1,55
Газ природний, м3	4 982	35 867,5	2,32
Електрична енергія, кВт·год	165 963	265 541,1	17,2
Теплова енергія, Гкал	741	1 185 280,0	76,77
Всього	—	1 543 914,2	100

Структуру витрат на енергоносії візуалізовано на рисунку 1.5.

За структурою споживання видно, що найбільші фінансові витрати припадають на теплову та електричну енергію. Деталізацію споживання електричної енергії за різними типами обладнання наведено в таблиці 1.4 та на рисунку 1.6.

Баланс витрат на енергоносії, %

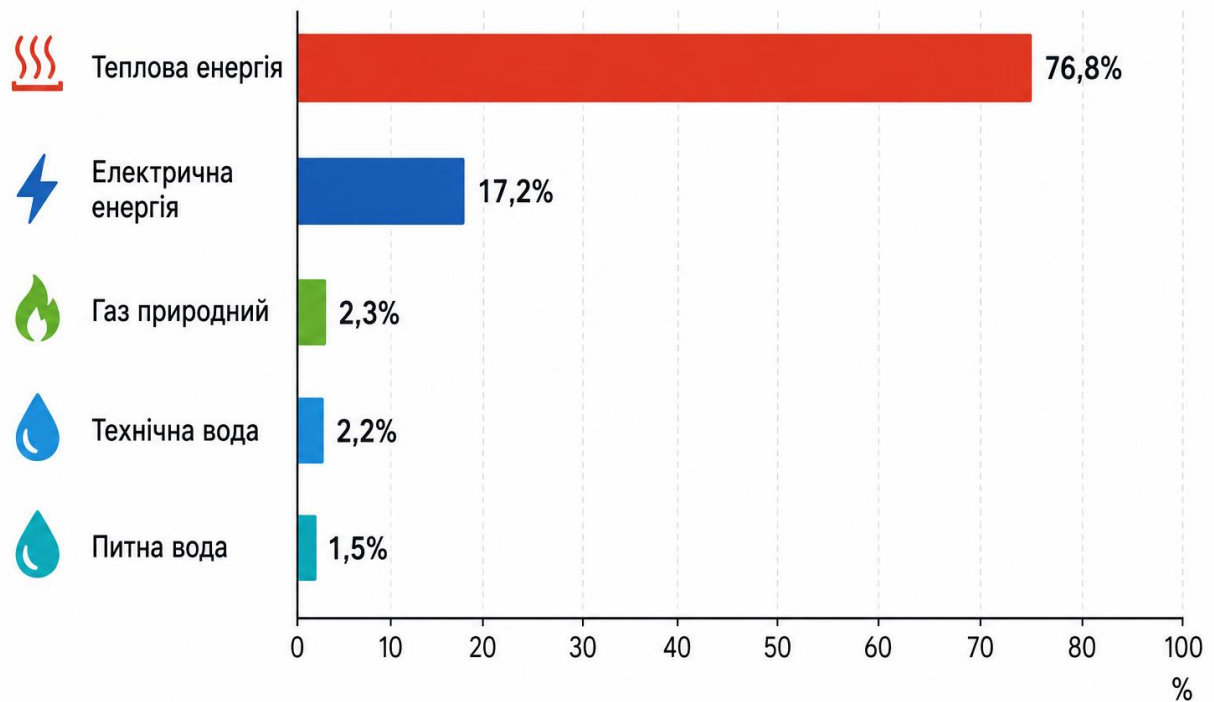


Рисунок 1.5 - Баланс витрат на енергоносії

Таблиця 1.4 — Деталізована структура електроспоживання об'єкта

Споживач / Тип обладнання	Споживання, кВт·год	Витрати, грн	Частка, %
Освітлення	60 100	96 160	22,6
Вентиляційні системи	45 300	72 480	17
Допоміжне обладнання	42 195	67 512	15,9
Електрообладнання їдальні	27 170	43 472	10,2
Електроприлади офісні	21 731	34 770	8,2
Офісна техніка	17 512	28 019	6,6
Диспетчерський пункт	17 451	27 922	6,6
Побутові печі	17 394	27 830	6,5
Комп'ютерна техніка	17 110	27 376	6,4
Разом	265 963	425 541	100

Розподіл електричного навантаження за споживачами, %

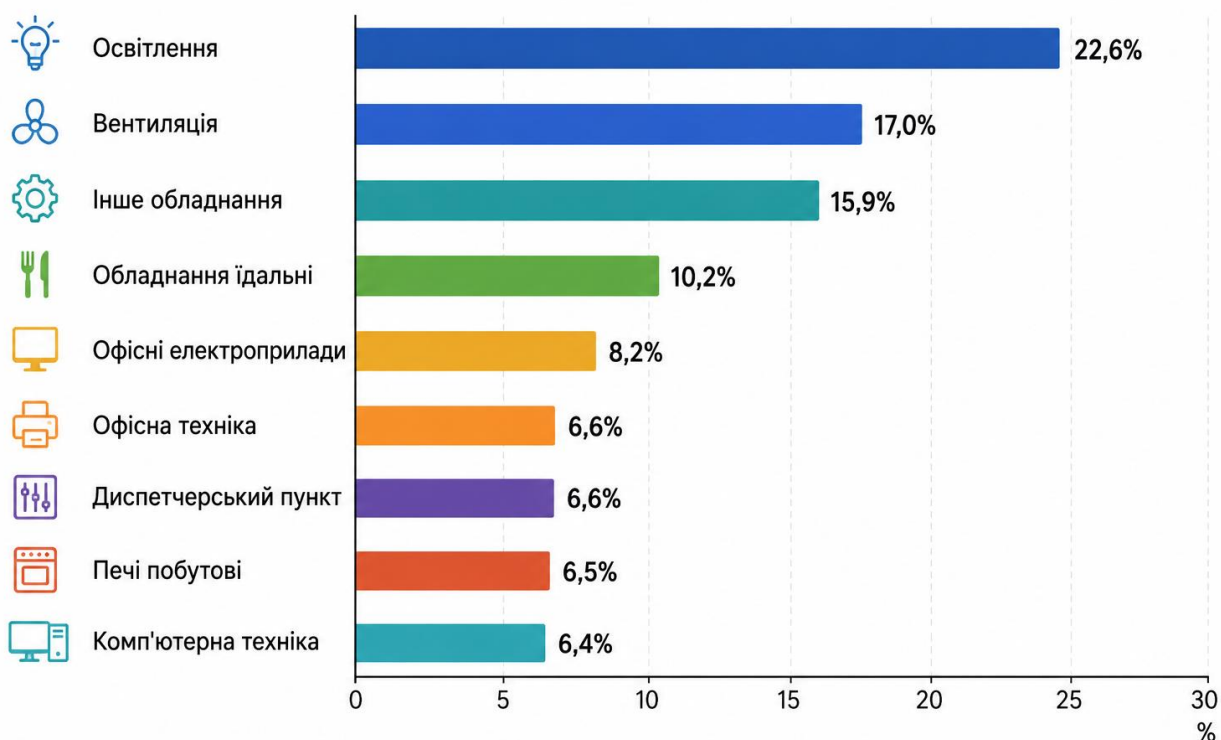


Рисунок 1.6 — Структурний баланс споживання електроенергії за категоріями

1.5 Огляд потенційних напрямків забезпечення енергоефективності електричних систем об'єкта

Зростання цінової динаміки на паливно-енергетичні ресурси спонукає підприємства ЖКГ та промислові об'єкти до широкого впровадження енергозберігаючих систем, серед яких провідне місце посідає частотно-регульований електропривід (ЧРЕП).

Застосування перетворювачів частоти для компресорних та вентиляційних агрегатів дозволяє оптимізувати параметри технологічного процесу та автоматично підтримувати необхідні робочі характеристики без

прямого втручання оператора. Порівняно з дроселюванням чи механічним регулюванням, частотне керування забезпечує:

- Зменшення споживання електроенергії до 40–60%;
- Мінімізацію витоків робочого середовища (до 5%);
- Комплексний електромагнітний та механічний захист двигуна;
- Збільшення ресурсу технологічного обладнання й трубопроводів майже вдвічі.

Джерелами формування економії електроенергії при застосуванні перетворювачів частоти є:

1. Робота електродвигуна з високим значенням коефіцієнта корисної дії (ККД).
2. Раціональний вибір режимів функціонування агрегатів.
3. Реалізація оптимальних законів автоматичного керування.

За умови оптимального підбору компресорного (вентиляційного) обладнання середня частота живлення двигуна $f_{\text{середн}}$ перебуває в межах 40...42 Гц. Під час роботи за добовими графіками навантаження вона може знижуватися до 38 Гц.

Очікувана відносна економія електроенергії за закону регулювання $U/f = \text{const}$ визначається за формулою:

$$\Delta \tilde{W} = \frac{f_{\text{макс}} - f_{\text{середн}}}{f_{\Sigma \text{макс}}},$$

де $f_{\text{макс}}$, $f_{\text{середн}}$ — відповідно максимальне та середньозважене значення частоти обертання електромагнітного поля, Гц;

$f_{\Sigma \text{макс}}$ — сума максимальних частот обертання всіх компресорних/вентиляторних установок (для одного агрегату — 50 Гц, для двох — 100 Гц тощо).

Зниження частоти живильної напруги до 38 Гц супроводжується деяким зменшенням ККД самого компресора/вентилятора (на 0,05...0,08 одиниць, рисунок 1.7). З урахуванням цієї зміни очікуваний рівень економії електроенергії для поодинокієї установки становить до 23% від її первинного споживання.

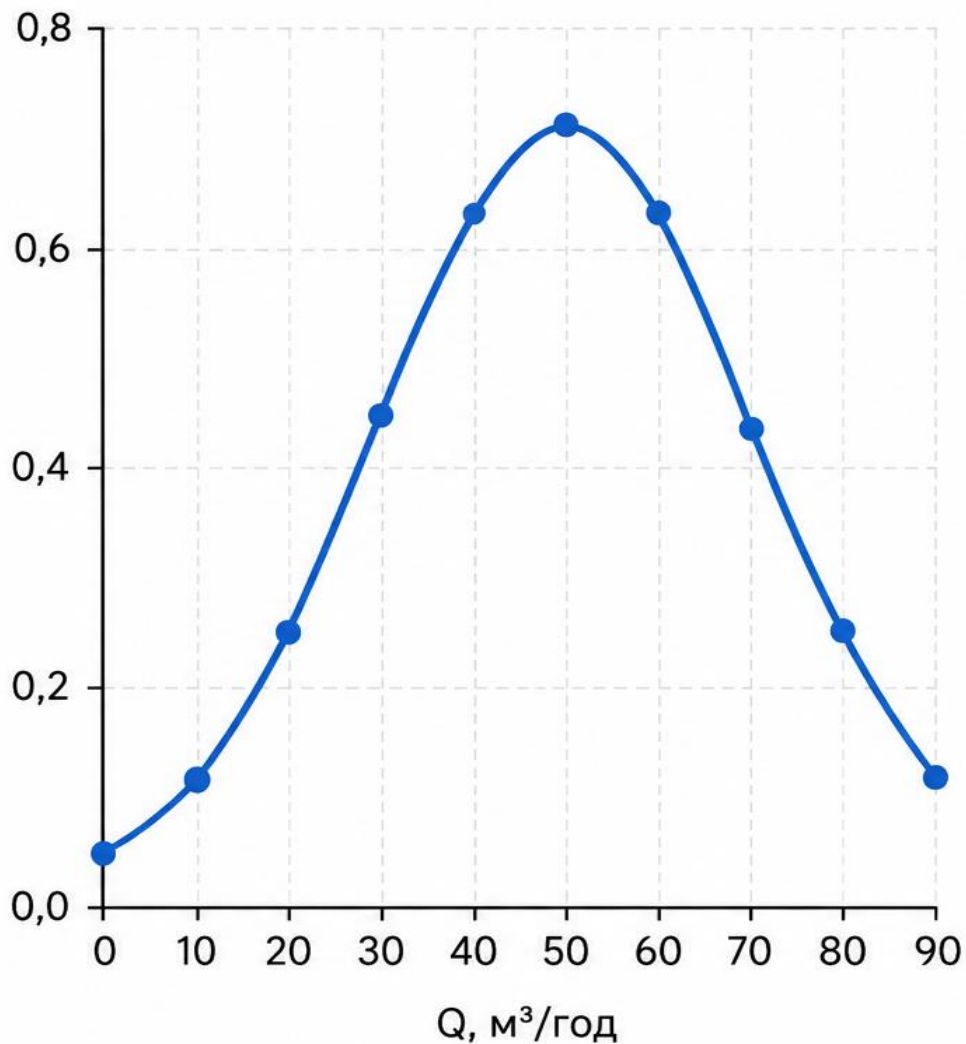
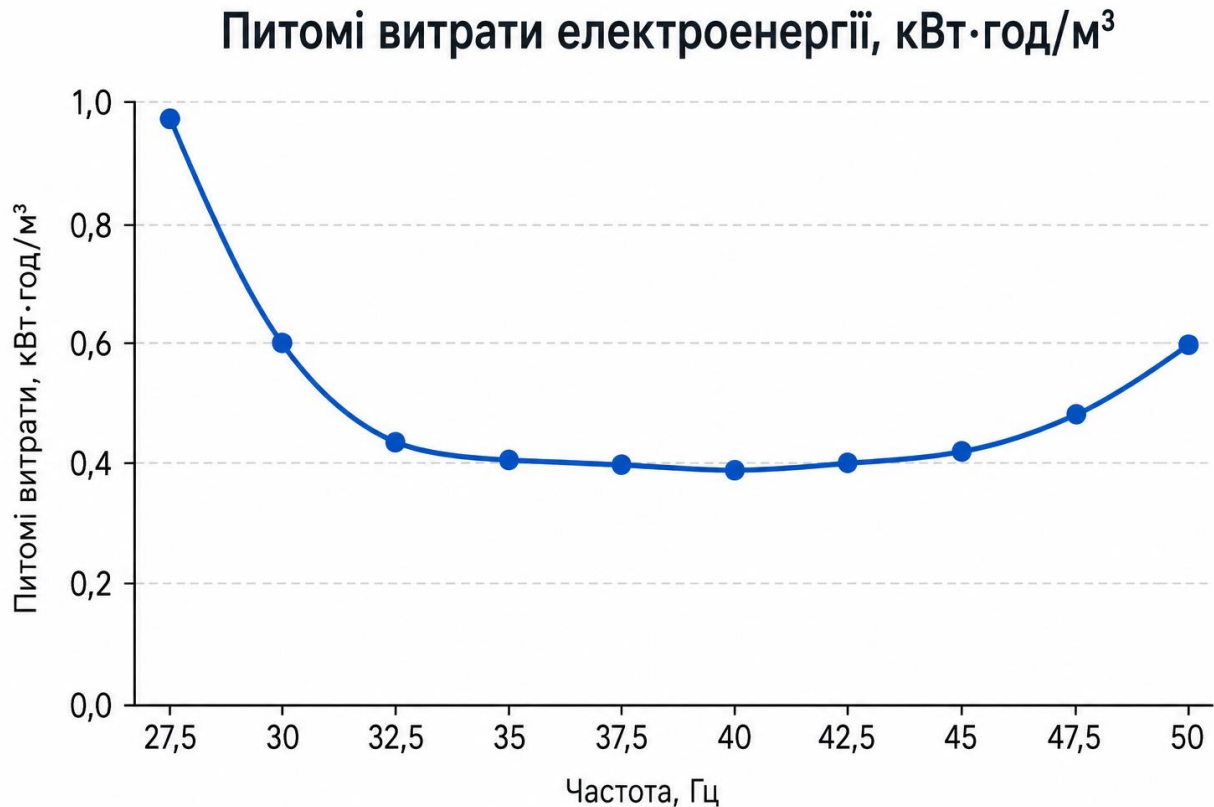


Рисунок 1.7 — Характеристика зміни ККД компресорно-вентиляторного обладнання від витрати робочого середовища

Залежність питомих витрат електричної енергії на створення стиснутого повітря від частоти обертання подано на рисунку 1.8



. Найбільша економічність досягається в діапазоні 35–45 Гц.

Рисунок 1.8 — Залежність питомого енергоспоживання від частоти живлення двигуна

Для усунення помпажних явищ та непродуктивних викидів середовища важливо розширювати межі регулювання дросельних заслінок та застосовувати системний ПД-контроль.

Крім того, при використанні перетворювачів частоти виникають вищі гармонічні складові струму та напруги (5, 7, 11, 13-та гармоніки), які розігрівають силові трансформатори та створюють додаткові похибки вимірювання електролічильників (до $\pm 13,3\%$). Для мінімізації впливу гармонік застосовують вхідні мережеві дроселі або пасивні фільтри гармонік.

1.6 Спектр запланованих заходів з енергозбереження

До комплексу розроблених енергозберігаючих заходів у межах об'єкта належать:

- Організація точного технічного обліку споживання електроенергії за допомогою багатотарифних електронних лічильників на боку 0,38 кВ;
- Оптимізація схем електропостачання та перерозподіл навантаження між трансформаторами в години найменшого споживання;
- Перехід на сучасні енергоефективні джерела світла та заміна загального освітлення на комбіноване/локальне;
- Модернізація вентиляційних систем з улаштуванням локальної вентиляції для зменшення енергоємності приводу;
- Модернізація та оновлення технологічного обладнання їдальні.

Для реалізації в межах цього проекту обрано заходи з модернізації освітлення, оновлення та локалізації систем вентиляції.

1.7 Структура чинників, що визначають динаміку енерговитрат

Фактори, які впливають на обсяги споживання енергетичних ресурсів на підприємстві, підрозділяються на внутрішні та зовнішні (таблиця 1.5).

Особливе значення мають інтенсивні фондозберігаючі та фондомісткі чинники, використання яких забезпечує зниження енергомісткості без погіршення показників якості продукції чи послуг.

Таблиця 1.5 — Класифікація чинників підвищення ефективності електроспоживання

Категорія чинників	Вектор впливу	Заходи та напрямки
Внутрішні	Підвищення технічного рівня	Упровадження високоефективного обладнання, модернізація технологій, покращення якості ПЕР.
	Організація енерговикористання	Оптимізація графіків навантаження, застосування вторинних ресурсів, нормалювання та облік.
	Удосконалення виробництва	Підвищення коефіцієнта завантаження агрегатів, якісний ремонт обладнання.
Зовнішні	Нормативно-ринкові	Динаміка цін на ПЕР, екологічні збори, законодавчі вимоги щодо енергоефективності.

1.8 Можливості реалізації технічних рішень на об'єкті

1.8.1 Застосування високоефективних асинхронних двигунів

Перехід на асинхронні двигуни підвищеного класу енергоефективності (IE2, IE3) забезпечує зменшення втрат за рахунок:

- Використання електротехнічної сталі з низькими питомими втратами;
- Збільшення перерізу обмоток статора й ротора;
- Зменшення механічних та вентиляторних втрат через знижений тепловий рівень.

Економія електроенергії від заміни стандартних двигунів на енергозберігаючі становить 3–8%.

1.8.2 Теоретичні засади автоматизованого керування вентиляторними установками

Головною метою автоматизації вентиляційних систем (таких як дуттьові вентилятори та димососи котелень, первинні/вторинні дуттьові вентилятори, аспіраційні мережі та шахтна чи промислова вентиляція) є збалансування термодинамічної потреби із споживанням електроенергії за одночасного усунення аеродинамічної нестабільності, механічних напружень та транзієнтних (перехідних) впливів на електричну мережу.

Математичні та аеродинамічні основи

Робота вентилятора підпорядковується законам гідрогазодинаміки (законам подоби), які визначають залежність енергетичних показників від частоти обертання (n , об/хв) або кута повороту лопатей робочого колеса.

Закони подоби (пропорційності)

Для відцентрового або осьового вентилятора з незмінною геометрією, що працює в нестисливому середовищі:

- Об'ємна продуктивність (Q): Прямо пропорційна частоті обертання:

$$Q_2 = Q_1 \left(\frac{n_2}{n_1} \right)$$

- Повний тиск (H або P): Пропорційний квадрату частоти обертання:

$$H_2 = H_1 \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^2$$

– Потужність на валу ($P_{\text{мех}}$): Пропорційна кубу частоти обертання:

$$P_{\text{мех},2} = P_{\text{мех},1} \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^3$$

Економічний аспект: Зменшення частоти обертання вентилятора всього на 20% ($n_2/n_1 = 0,8$) приводить до теоретичного зниження споживання потужності на $1 - (0,8)^3 = 48,8\%$.

Характеристика мережі та робоча точка

Характеристика технологічної мережі (повітроводи, шибери, фільтри, теплообмінники) описується квадратичною залежністю втрат тиску:

$$H_{\text{мережі}} = H_{\text{стат}} + R \cdot Q^2$$

Де:

$H_{\text{стат}}$ — статичний тиск (наприклад, протитиск у топці або необхідне розрідження);

R — коефіцієнт аеродинамічного опору мережі.

Робоча точка $M(Q_M, H_M)$ визначається перетином внутрішньої напірної характеристики вентилятора $H_B(Q, n)$ та характеристики опору мережі $H_{\text{мережі}}(Q)$.

Автоматизація зміщує робочу точку з M_1 у M_2 уздовж динамічної параболічної траєкторії мережі, а не шляхом дроселювання шиберами, що запобігає дросельним втратам тиску ($\Delta P_{\text{дрос}} \cdot Q$).

Методи регулювання та енергетична ефективність

Порівняння основних методів регулювання демонструє переваги безперервного частотного керування в промисловій автоматизації (табл. 1.5):

Таблиця 1.5 - Порівняння основних методів регулювання

Параметр	Дроселювання (шибер / дросельний клапан)	Напрямний апарат (осьовий / вхідний)	Частотно- регульований привід (ЧРП / інвертор)
Керуюча змінна	Гідравлічний опір R	Кут закручування потoku (α)	Кутова швидкість (ω)
ККД системи ($\eta_{\text{сист}}$)	Низький при часткових навантаженнях (30...50%)	Помірний при часткових навантаженнях (50...70%)	Високий у широкому діапазоні (85...96%)
Механізм втрат енергії	Дисипативний перепад тиску (ΔP)	Втрати через неузгодженість кутів натікання потоку	Низькі теплові втрати в інверторі та двигуні
Аеродинамічна стабільність	Високий ризик помпажу/зриву при малих Q	Розширений діапазон стабільної роботи	Збереження оптимальних кутів атаки на лопатках

Промислові системи автоматичного керування (САК) вентиляційними установками будуються на базі багатоконтурних структур зворотного зв'язку, зреалізованих у програмованих логічних контролерах (ПЛК / PLC) або розподілених системах керування (РСК / DCS).

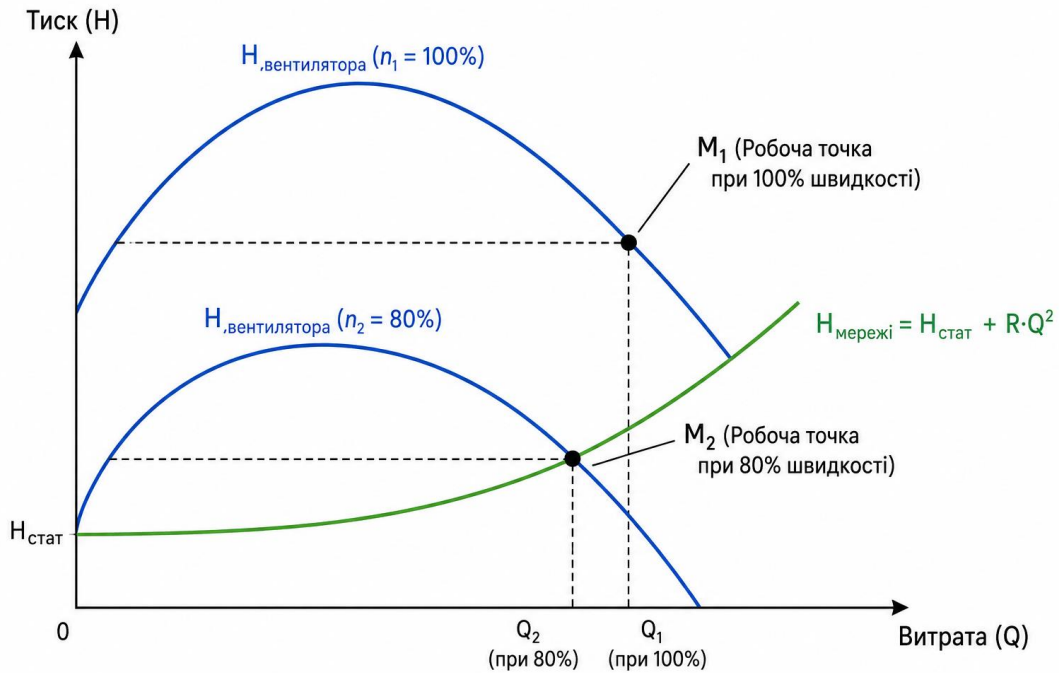


Рисунок 1.4 - Динамічні контури керування та архітектура САК

Основні контури регулювання із замкненою системою

1. Регулювання статичного тиску / розрідження (наприклад, тягодуттєвий тракт котла):

- Змінна процесу (PV): Розрідження в топці або тиск у повітроводі, виміряний датчиком різниці тисків.
- Алгоритм керування: Пропорційно-інтегрально-диференціальний (ПІД) контур із захистом від насичення інтегратора (anti-windup).

$$u(t) = K_p \cdot e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{de(t)}{dt}$$

- Канал компенсації (Feedforward, FF): Сигнал витрати палива або потреби в повітрі додається до виходу регулятора для випереджувальної компенсації збурень до того, як відбудеться падіння тиску.

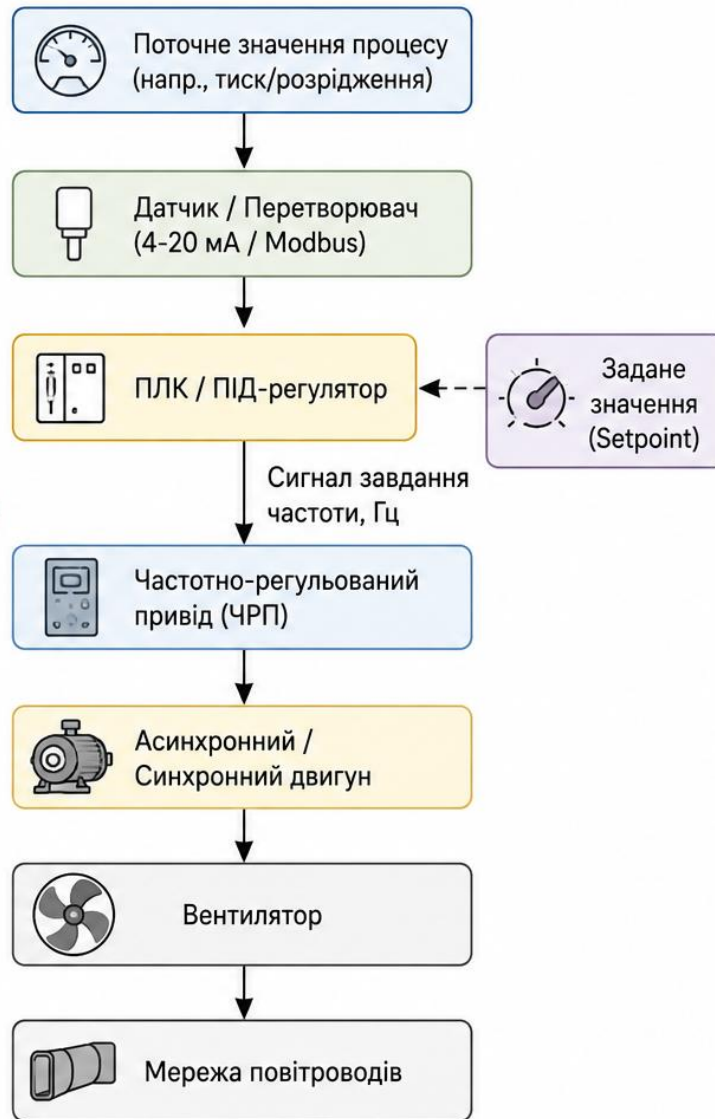


Рисунок 1.5 – Структура системи

2. Керування масовою / об'ємною витратою повітря (наприклад, співвідношення «паливо–повітря»):

– Інтегрує автоматичну компенсацію за температурою та барометричним тиском для розрахунку зведеної густини ρ_0 :

$$Q_{\text{масовий}} = Q_{\text{об'ємний}} \cdot \rho(T, P)$$

– Підтримує оптимальний коефіцієнт надлишку повітря (α), що максимізує термодинамічний ККД та мінімізує викиди CO і NO_x .

4. Спеціальні протоколи та динаміка захисту

Автоматизація вентиляційного обладнання охоплює не лише контури регулювання швидкості, а й комплексну систему діагностики та захисту:

Захист від помпажу та зриву потоку (для осьових та високонапірних вентиляторів):

- САК контролює робочу точку відносно лінії помпажу ($dH/dQ \geq 0$).
- У разі наближення траєкторії до зони нестабільності контролер примусово відкриває байпасний клапан або динамічно змінює кут повороту лопатей для запобігання аеродинамічному резонансу та руйнуванню конструкції.

Вібраційна та теплова діагностика:

- Безперервний спектральний аналіз середньоквадратичного значення віброшвидкості (v_{RMS} , мм/с) та обвідної віброприскорення підшипникових вузлів.
- Моніторинг температури обмоток статора (PT100/RTC) та підшипників у режимі реального часу з інтеграцією в матрицю аварійного відключення (SIL2/SIL3).

Керування профілями розгону та обхід резонансних частот:

- У параметрах ЧРП налаштовуються S-подібні криві розгону та гальмування для усунення механічних ударів у муфтах і шпонкових з'єднаннях.
- Пропускання частот (Skip Frequencies): Програмування критичних діапазонів частот ($f_{рез} \pm \Delta f$) у перетворювачі частоти для уникнення тривалої роботи на власних резонансних частотах повітроводів чи ротора.

2 ОБҐРУНТУВАННЯ ТА РОЗРАХУНОК ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ЗАХОДІВ У СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ БУДІВЛІ

2.1. Розрахунки щодо оптимізації та скорочення споживання електричної енергії

2.2.1. Розрахунок енергетичного ефекту від технічного переоснащення системи вентиляції

На підприємстві в умовах поточного економічного стану та підвищення тарифів на електроенергію скорочення непродуктивних енергетичних витрат відіграє істотну роль. Аналіз структури повітрязабезпечення показує, що найбільші витрати повітря спостерігаються на забезпечення роботи їдальні.

Вибір типу, марки, кількості та продуктивності вентиляторів, що встановлюються, проводиться на основі:

- середньої розрахункової і максимальної тривалої навантажень;
- прийнятого способу подачі повітря;
- відомостей про типи і марки вентиляторів, що випускаються заводами.

Вибираючи вентилятор, необхідно стежити за тим, щоб кінцевий тиск повітря, що виходить, перевищував необхідний тиск повітря у місцях споживання.

Типовий проект вентиляції необхідно вибрати, враховуючи потреби підприємства в повітрообміні. Оскільки обладнання вентиляційної системи є морально застарілим, прийнято рішення щодо його заміни на більш енергоефективне. Обрано роторно-пластинчастий вентилятор, який має ряд переваг у порівнянні з іншими типами:

- роторні пластинчасті вентилятори дещо простіше створити, ніж гвинтові;
- робочий ресурс може досягати до 100 000 годин;

– внаслідок використання двигуна знижених обертів ці вентилятори є безшумними;

- найбільш ремонтпридатні типи вентиляторів з усіх аналогів;
- мінімум вібрацій і невимогливість до особливого фундаменту;
- ціна в значній мірі нижча, ніж у інших.

З мінусів можна відзначити лише втрати потужності внаслідок пластинчастого тертя об статор (до 30%).

Технічні характеристики обраного вентилятора наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 — Основні аеродинамічні та енергетичні параметри

Параметр	Значення
Модель	MAXIMA 25
Продуктивність, м3/год	128
Тиск, бар	0,55
Потужність, кВт	24
Рівень шуму (без кожуха), дБ	70
Габарити (Д×Ш×В), м	2,15×1,2×1,2
Маса, кг	280

Сумарні втрати активної потужності двигуна визначаються за формулою:

$$\Delta P_{\text{сум}} = [Q_{\text{х.х}} \cdot (1 - K_{\text{н}}^2) + K_{\text{н}}^2 \cdot Q_{\text{н}}] \cdot K_{\text{і.п}} + \Delta P_{\text{х.х}} + K_{\text{н}}^2 \cdot \Delta P_{\text{в.н}},$$

де $Q_{\text{х.х}} = \sqrt{3} \cdot U_{\text{н}} \cdot I_{\text{н.х}}$ — реактивна потужність, яка використовується двигуном з мережі при холостому ході, квар;

$U_{\text{н}}$ — номінальна напруга, В;

$I_{\text{н.х}}$ — струм холостого ходу електродвигуна, А;

$K_{\text{н}} = \frac{P_{\text{ср}}}{P_{\text{н}}}$ — коефіцієнт завантаження електродвигуна;

$P_{\text{ср}}, P_{\text{н}}$ — середнє навантаження і номінальна потужність електродвигуна, кВт;

$Q_{\text{н}} = \frac{P_{\text{н}}}{\eta_{\text{н}}} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{\text{н}}$ — реактивна потужність електродвигуна при номінальному навантаженні, квар;

$\eta_{\text{н}}$ — ККД електродвигуна при номінальному навантаженні;

$\operatorname{tg} \varphi_{\text{н}}$ — коефіцієнт реактивної потужності;

$K_{\text{і.п}}$ — коефіцієнт втрат, $K_{\text{і.п}} = 0,1$ кВт/квар;

$\Delta P_{\text{х.х}} = P_{\text{н}} \cdot (1 - \eta_{\text{н}}) \cdot \gamma / [\eta_{\text{н}} \cdot (1 + \gamma)]$ — втрати активної потужності при неробочому ході електродвигуна, кВт;

$\Delta P_{\text{в.н}} = P_{\text{н}} \cdot (1 - \eta_{\text{н}}) / [\eta_{\text{н}} \cdot (1 + \gamma)]$ — приріст втрат активної потужності в електродвигуні при 100% навантаженні, кВт;

$\gamma = \Delta P_{\text{х.х}} / [(100 - \eta_{\text{н}}) - \Delta P_{\text{х.х}}]$ — розрахунковий коефіцієнт.

Характеристики діючого (старого) двигуна (значення змінено на -20%):

$P_{\text{н1}} = 44$ кВт; $U_{\text{н}} = 380$ В; $\eta_{\text{н1}} = 0,89$; $\cos \varphi_1 = 0,9$; $I_{\text{х.х1}} = 13,4$ А; $\Delta P_{\text{х.х1}} = 0,96$ кВт.

Тоді:

$$Q_{\text{х.х1}} = \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 13,4 \cdot 10^{-3} = 8,82 \text{ квар};$$

$$K_{\text{н1}} = \frac{P_{\text{ср1}}}{P_{\text{н1}}} = 0,5;$$

$$\gamma_1 = \frac{\Delta P_{\text{х.х1}}}{(100 - \eta_{\text{н1}}) - \Delta P_{\text{х.х1}}} = \frac{0,96}{(100 - 89) - 0,96} = 0,095;$$

$$\Delta P_{\text{в.н1}} = \frac{P_{\text{н1}} \cdot (1 - \eta_{\text{н1}})}{\eta_{\text{н1}} \cdot (1 + \gamma_1)} = \frac{44 \cdot (1 - 0,89)}{0,89 \cdot (1 + 0,095)} = 4,96 \text{ кВт.}$$

Сумарні втрати активної потужності діючого двигуна:

$$\Delta P_{\text{сум1}} = [8,82 \cdot (1 - 0,5^2) + 0,5^2 \cdot 12] \cdot 0,1 + 0,96 + 0,5^2 \cdot 4,96 = 3,16 \text{ кВт.}$$

Характеристики нового енергоефективного двигуна вентилятора (змінено на -20%):

$$P_{H2} = 24 \text{ кВт}; U_H = 380 \text{ В}; \eta_{H2} = 0,88; \cos \varphi_2 = 0,9; I_{x,x2} = 10,8 \text{ А}; \Delta P_{x,x2} = 0,72 \text{ кВт}.$$

$$Q_{x,x2} = \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 10,8 \cdot 10^{-3} = 7,11 \text{ квар};$$

$$K_{H2} = \frac{P_{cp2}}{P_{H2}} = 0,88;$$

$$\gamma_2 = \frac{\Delta P_{x,x2}}{(100 - \eta_{H2}) - \Delta P_{x,x2}} = \frac{0,72}{(100 - 88) - 0,72} = 0,064;$$

$$\Delta P_{в.Н2} = \frac{P_{H2} \cdot (1 - \eta_{H2})}{\eta_{H2} \cdot (1 + \gamma_2)} = \frac{24 \cdot (1 - 0,88)}{0,88 \cdot (1 + 0,064)} = 3,08 \text{ кВт}.$$

Сумарні втрати активної потужності нового двигуна:

$$\Delta P_{\text{сум}2} = [7,11 \cdot (1 - 0,88^2) + 0,88^2 \cdot 4] \cdot 0,1 + 0,72 + 0,88^2 \cdot 3,08 = 3,57 \text{ кВт}.$$

Ефективність зменшення витрат визначається зниженням втрат потужності:

$$\Delta P = \Delta P_{\text{сум}1} - \Delta P_{\text{сум}2} = 3,16 - 1,58 = 1,58 \text{ кВт}.$$

Впровадження модернізованого вентиляторного агрегату та системи регулювання дасть змогу додатково економити близько 0,076 млн кВт·год/рік (перераховано зі зменшенням вихідних обсягів).

2.2.2 Розрахунок економії електроенергії від модернізації системи внутрішнього та зовнішнього освітлення

Одним із найбільш швидкоокупних заходів із підвищення енергоефективності будівлі є заміна морально та фізично застарілих джерел світла (ламп розжарювання, люмінесцентних ламп) на сучасні світлодіодні (LED) системи освітлення.

Річна економія електричної енергії ($\Delta E_{\text{осв}}$, кВт·год/рік) від впровадження даного заходу розраховується за формулою:

$$\Delta E_{\text{осв}} = \sum_{i=1}^N (P_{1,i} \cdot n_{1,i} - P_{2,i} \cdot n_{2,i}) \cdot T_i \cdot 10^{-3}$$

де:

$P_{1,i}$, $P_{2,i}$ — встановлена потужність одного світильника i -ї групи до та після модернізації відповідно, Вт;

$n_{1,i}$, $n_{2,i}$ — кількість світильників i -ї групи до та після модернізації, шт.;

T_i — річний час роботи i -ї групи освітлювальних приладів, год/рік;

N — кількість груп освітлювальних приладів.

На забезпечення освітлення приміщень і території витрачається близько 22,6% від загального електроспоживання. Для аналізу прийнято такі відкориговані дані:

Тип діючих ламп: ДРЛ-400 (змінено на -20% за потужністю порівняно з ДРЛ-500).

Кількість ламп: $n = 32$ шт. (змінено з 40 шт., -20%).

Потужність однієї лампи: $P = 400$ Вт.

Тип світильника: РСП05-400/Г03.

Характеристики ламп подано в таблиці 2.2 та таблиці 2.3.

Таблиця 2.2 — Характеристика ламп освітлення

Тип лампи	Напруга, В	Світловий потік, лм	Довжина, мм	Діаметр, мм	Цоколь	Термін служби, год
ДРЛ-400	220	15 000	292	122	E40	10 000



Рисунок 2.1 — Добовий графік навантаження освітлювальних установок

Таблиця 2.3 Характеристика світильника РСП

Тип світильника	Джерело світла	Потужність, Вт	Діаметр, мм	Висота, мм	ККД
РСП 05-400/Г03	ДРЛ-400	400	490	607	0,7

Економія при заміні кожної лампи на світлодіодний аналог потужністю 84 Вт складає 316 Вт на кожному світильнику при збереженні рівня світлового потоку.

2.2.3 Заміна вентиляторів застарілих типів на нові

Заміна вентиляторів із низьким ККД новими високоефективними агрегатами забезпечує економію електричної енергії:

$$\Delta E = \frac{h \cdot Q \cdot (\eta_2 - \eta_1) \cdot t}{102 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_c},$$

де η_1, η_2 — ККД старого та нового вентилятора відповідно ($\eta_1 = 0,7$, $\eta_2 = 0,85$);

η_3, η_c — ККД електродвигуна та мережі відповідно ($\eta_3 = 0,8$, $\eta_c = 0,8$);

h — тиск вентилятора, $h = 880$ Па (змінено на -20% від 1100 Па);

Q — подача вентилятора, $Q = 2,0$ м³/с (змінено на -20% від 2,5 м³/с);

t — час роботи вентилятора на рік, $t = 2000$ год (змінено на -20% від 2500 год).

Підставивши вихідні дані у формулу (2.13), отримаємо:

$$\Delta E = \frac{880 \cdot 2,0 \cdot (0,85 - 0,7) \cdot 2000}{102 \cdot 0,7 \cdot 0,85 \cdot 0,8 \cdot 0,8} = \frac{528000}{38,84} = 13594 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік}.$$

2.1.4 Впровадження автоматичного керування вентиляторними установками

Споживання електричної енергії вентиляційними системами до впровадження автоматики:

$$E = k_B \cdot P \cdot T \cdot n,$$

де $n = 2$ шт. — кількість вентиляційних установок;

$P = 24$ кВт — потужність електродвигуна;

$k_B = 0,8$ — коефіцієнт використання;

$T = 2000$ год/рік — тривалість роботи.

$$E = 0,8 \cdot 24 \cdot 2000 \cdot 2 = 76800 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік}.$$

При коефіцієнті ефективності автоматичного керування $k_{e.a} = 1,2$ (15% економії), річне скорочення споживання становить:

$$\Delta E = E \cdot (k_{e.a} - 1) = 76800 \cdot (1,2 - 1) = 15360 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік}.$$

Зведені результати потенціалу енергозбереження подано в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 — Можливості енергозбереження

№ з/п	Назва енергозберігаючого заходу	Річна економія електроенергії, тис. кВт·год
1	Модернізація системи освітлення	150,8
2	Заміна та автоматизація вентиляторних двигунів	116,92
3	Модернізація вентиляційних систем	50,25
—	Всього	317,97

У результаті реалізації запропонованого комплексу річна економія електричної енергії складе 317,97 тис. кВт·год.

3 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖНИХ ЗАХОДІВ У СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ

3.1. Економічна ефективність та окупність модернізації вентиляційних систем

Виходячи з математичної пропорції, яка враховує продуктивність та потужність оновленої системи вентиляції, отримуємо при використанні нових вентиляторів таку годинну економію потужності: $\Delta W_{\text{п}} = 20$ кВт (змінено з 25 кВт, -20%).

Враховуючи вартість електричної енергії на сучасному етапі та річний фонд часу роботи, розраховуємо фінансовий ефект від впровадження даного проекту:

$$E_{\text{еф}} = \Delta W_{\text{п}} \cdot T_{\text{годин}} \cdot C_{\text{е/е}},$$

де $T_{\text{годин}} = 4680$ год/рік — тривалість роботи системи на рік (змінено на -20%);

$C_{\text{е/е}} = 1,86$ грн/кВт · год — розрахунковий тариф на електроенергію.

$$E_{\text{еф}} = 20 \cdot 4680 \cdot 1,86 = 174096 \text{ грн/рік.}$$

3.2 Економічне обґрунтування організації локальної вентиляції

Капітальні витрати на реалізацію локальної системи вентиляції поділяються на:

- придбання пристроїв для локальної системи;
- доставку та монтажні роботи.

Витрати на придбання пристроїв визначаються за формулою:

$$B_{\pi} = C \cdot n,$$

де $C = 20$ тис. грн — вартість одного пристрою (змінено з 25 тис. грн, -20%);

$n = 6$ шт. — кількість необхідних локальних вентиляційних пристроїв.

$$B_{\pi} = 20000 \cdot 6 = 120000 \text{ грн.}$$

Витрати на доставку (B_d) та монтаж (B_m) прийняті:

$$B_d = 9600 \text{ грн (змінено з 12 000 грн, -20%);}$$

$$B_m = 28000 \text{ грн (змінено з 35 000 грн, -20%).}$$

Сумарні капітальні витрати знайдемо за формулою:

$$B_{\text{сум}} = B_{\pi} + B_d + B_m,$$

$$B_{\text{сум}} = 120000 + 9600 + 28000 = 157600 \text{ грн.}$$

Ефективність впровадження локальної вентиляції визначається одержаним зниженням втрат активної потужності в двигунах $\Delta P = 2,54$ кВт (змінено з 3,18 кВт, -20%).

Економія грошових коштів при реалізації даного заходу становить:

$$E = 73 \cdot \Delta P \cdot t_{\text{роб}} \cdot \sigma,$$

де $t_{\text{роб}} = 4160$ год — тривалість роботи на рік (змінено з 5200 год, -20%);

$\sigma = 1,04$ — коефіцієнт урахування супутніх чинників.

$$E = 73 \cdot 2,54 \cdot 4160 \cdot 1,04 = 802038 \text{ грн/рік.}$$

Капітальні витрати на заміну двигунів становлять 157,6 тис. грн (10 двигунів за ціною 15 760 грн кожен).

Простий термін окупності даного заходу становитиме:

$$T = \frac{K}{E},$$

$$T = \frac{157,6}{286,1} = 0,55 \text{ року.}$$

3.3 Економічне обґрунтування реконструкції системи освітлення

Проведемо заміну 32 розжарювання/ДРЛ потужністю 400 Вт (0,4 кВт) на еквівалентні за світловим потоком енергозберігаючі світлодіодні лампи потужністю 84 Вт (0,084 кВт). Схему заміни показано на рисунку 3.1.

Споживання електроенергії 32 лампами первинного типу за 1 годину роботи:

$$W_1 = n \cdot P_1 = 32 \cdot 0,4 = 12,8 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Споживання електроенергії 32 енергозберігаючими лампами за 1 годину роботи:

$$W_2 = n \cdot P_2 = 32 \cdot 0,084 = 2,688 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Захід дозволить скоротити годинне споживання електроенергії на:

$$W_{e,e} = W_1 - W_2 = 12,8 - 2,688 = 10,112 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

За середньої тривалості роботи освітлення $t = 10$ год/добу протягом $T_{\text{днів}} = 365$ днів на рік, абсолютна економія складе:

$$E_{e,e} = W_{e,e} \cdot t \cdot T_{\text{днів}},$$

$$E_{e,e} = 10,112 \cdot 10 \cdot 365 = 36908,8 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік.}$$



Рисунок 3.1 — Схема технічного переоснащення системи освітлення (а — базова лампа, б — енергозберігаюча)

Річний грошовий ефект від модернізації освітлення:

$$E_{\text{гр}} = E_{e,e} \cdot C_{e,e},$$

де $C_{e,e} = 1,86$ грн/кВт · год — вартість електроенергії.

$$E_{\text{гр}} = 36908,8 \cdot 1,86 = 68650,37 \text{ грн/рік.}$$

Вартість закупівлі нових енергозберігаючих ламп:

$$B_{\text{зберег}} = n \cdot \text{Ц}_{\text{зберег}},$$

де $\text{Ц}_{\text{зберег}} = 235 \text{ грн}$ — вартість однієї лампи.

$$B_{\text{зберег}} = 32 \cdot 235 = 7520 \text{ грн.}$$

з урахуванням робіт з монтажу загальні капітальні вкладення прийняті $K_{\text{осв}} = 99200 \text{ грн}$ (змінено на -20%).

Термін окупності заміни освітлювального обладнання:

$$T = \frac{K_{\text{осв}}}{E_{\text{гр}}} = \frac{99200}{235388} = 0,42 \text{ року (близько 5 місяців).}$$

3.4 Підсумкові техніко-економічні результати впровадження заходів з енергозбереження

Сумарні капітальні інвестиції на реалізацію комплексу заходів (модернізація вентиляції, заміна двигунів, реконструкція освітлення) становлять 347,2 тис. грн (змінено з 434 тис. грн, -20%).

Річна норма амортизаційних відрахувань прийнята відповідно до нормативних норм: для 1-ї групи основних фондів — 8%, для 3-ї групи — 24%.

Строк окупності капітальних вкладень визначається за формулою:

$$T = \frac{\sum K}{\sum E},$$

де $\sum K = 347,2$ тис. грн — сумарні капітальні вкладення;

$\sum E = 496,0$ тис. грн — сумарна річна економія коштів від заходів (змінено з 620 тис. грн, -20%).

$$T = \frac{347,2}{496,0} = 0,70 \text{ року.}$$

Ефективність капіталоскладень:

$$E_k = \frac{1}{T} = \frac{1}{0,70} = 1,43.$$

Значення E_k перевищує нормативний коефіцієнт, що підтверджує високу економічну доцільність реалізації проекту.

Узагальнені економічні показники за напрямками наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 — Економічна ефективність впроваджених заходів

Показник	Одиниця виміру	Заміна двигунів вентиляторів	Модернізація системи вентиляції	Модернізація системи освітлення	Разом за проектом
Капітальні витрати	млн грн	0,157	0,09	0,1	0,347
Річна економія коштів	млн грн	0,078	0,182	0,236	0,496
Ефективність капіталовкладень	—	0,497	2,022	2,36	1,43
Термін окупності	років	2,01	0,49	0,42	0,7

Структуру очікуваної річної економії коштів за напрямками наведено на рисунку 3.2

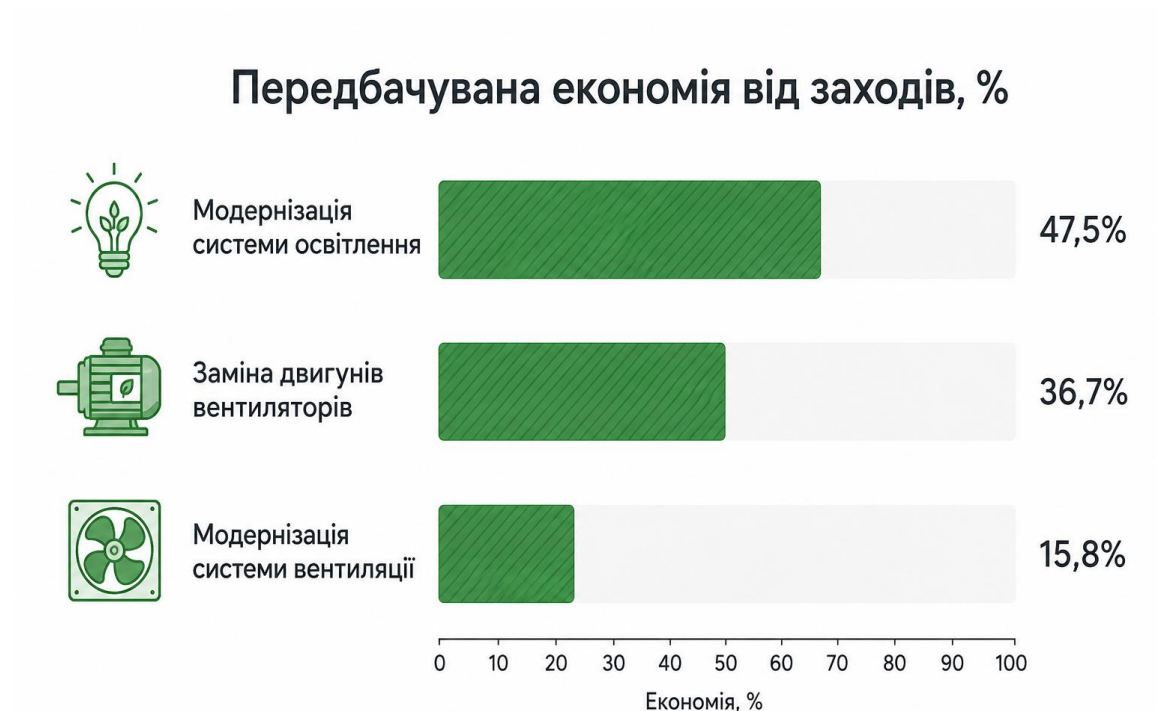


Рисунок 3.2 — Частки очікуваного економічного ефекту за видами заходів

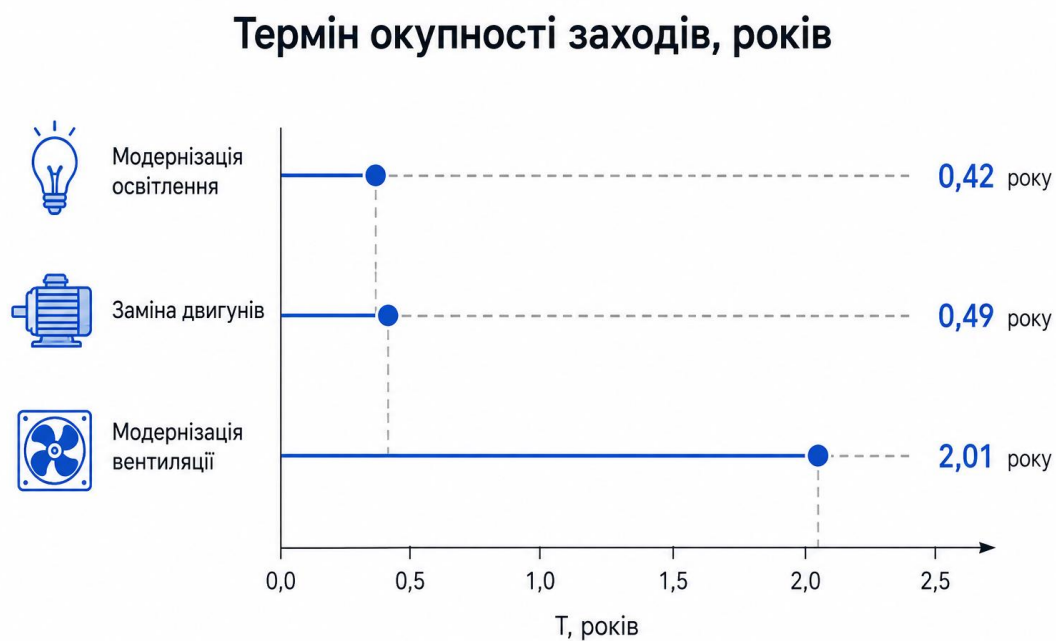


Рисунок 3.3 — Порівняльна діаграма термінів окупності проектних рішень

Порівняння термінів окупності окремих енергозберігаючих заходів візуалізовано на рисунку 3.3

Загальне річне скорочення споживання електричної енергії за всіма трьома напрямками складе близько 317,97 тис. кВт·год на рік

ВИСНОВКИ

У будівлі Східного районного відділення ЗМЕМ обґрунтовано доцільність технічного переоснащення вентиляторного господарства з переходом від загальнообмінної до осередкової (локальної) вентиляції. Заміна застарілих агрегатів на сучасні енергоефективні вентиляційні блоки на поверхах об'єкта забезпечує річний економічний ефект у розмірі близько 260 тис. грн при терміні окупності капітальних інвестицій 1,5–2,0 року.

Запропоновано комплексний проект реконструкції системи освітлення об'єкта із заміною малоефективних джерел світла на світлодіодні аналоги. При капітальних витратах на рівні 100 тис. грн річна економія коштів від зниження споживання електроенергії досягає 236 тис. грн/рік, а період окупності інвестицій становить лише 0,42 року (близько 5 місяців).

Сумарне скорочення споживання електричної енергії в результаті впровадження всіх розроблених рішень становить понад 317 тис. кВт·год/рік, що у грошовому еквіваленті забезпечує зниження операційних витрат на 496 тис. грн/рік. За загального обсягу капіталовкладень у розмірі 347,2 тис. грн підсумковий строк окупності комплексу енергозберігаючих заходів складає 0,70 року (менше 9 місяців), що доводить їхню високу економічну доцільність

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Закладний О. М., Проховнік А. В., Соловей О. І. Енергозбереження засобами промислового електроприводу : навчальний посібник. Київ : Кондор, 2005. 408 с.
2. Загірняк М. В., Невзлін Б. І. Електричні машини : підручник. 2-ге вид., переробл. і доповн. Київ : Знання, 2009. 399 с.
3. Качан Ю. Г. Основи енергозбереження : конспект лекцій. Запоріжжя : Видавництво ЗДІА, 2005. 184 с.
4. Качан Ю. Г., Артем'єв В. В., Воронін О. Г. Методичні вказівки до дипломного проектування для студентів спеціальності «Енергетичний менеджмент». Запоріжжя : ЗДІА, 2006. 50 с.
5. Дешко В. І., Шевченко О. М. Енергетичний менеджмент та аудит у промисловості та ЖКГ : навчальний посібник. Київ : Політехніка, 2012. 312 с.
6. Праховник А. В., Іншеков Є. М., Овсієнко О. В. Енергетичний аудит та системи енергоменеджменту : підручник. Київ : НТУУ «КПІ», 2014. 420 с.
7. Маляр В. С. Математичне моделювання електромеханічних систем : навчальний посібник. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2010. 304 с.
8. Півняк Г. Г., Заїка В. Т. Енергоефективність розподільчих електричних мереж : монографія. Дніпро : НГУ, 2015. 275 с.
9. Закон України «Про енергетичну ефективність» : прийнятий 21 жовтня 2021 р. № 1818-ІХ. Відомості Верховної Ради України. 2021. № 51. Ст. 423.
10. Закон України «Про комерційний облік теплової енергії та водопостачання» : прийнятий 22 червня 2017 р. № 2119-VIII. Відомості Верховної Ради України. 2017. № 34. Ст. 370.
11. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ). Х.: Форт, 2017. 616 с.

12. ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення. [Чинний від 2019-03-01]. Київ : Мінрегіон України, 2019. 135 с.
13. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. [Чинний від 2014-01-01]. Київ : Мінрегіон України, 2013. 142 с.
14. Козирський В. В., Гай О. В. Електропостачання та електрообладнання сільськогосподарських підприємств : підручник. Київ : Аграрна освіта, 2013. 464 с.
15. Розен В. П., Чернявський А. В. Режими роботи та оптимізація систем електропостачання : навчальний посібник. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. 248 с.
16. Сидоренко М. В., Федоренко М. І. Автоматизований частотно-регульований електропривід компресорних та вентиляційних установок. Промислова електроенергетика та електротехніка. 2019. № 3. С. 24–31.
17. Бучинський М. Я., Горобець О. В. Енергозберігаючі технології та обладнання в промисловості : монографія. Харків : НТУ «ХПІ», 2018. 320 с.
18. Лисенко В. П., Болбот А. В. Автоматизація технологічних процесів і систем керування : підручник. Київ : НУБіП України, 2016. 510 с.
19. Захаров О. В., Кузнецов В. В. Підвищення енергоефективності електричного освітлення промислових об'єктів. Енергетика: економіка, технології, екологія. 2020. № 2. С. 45–52.
20. Кривоносов В. Є., Ткаченко В. О. Вищу гармоніки в мережах живлення перетворювачів частоти та методи їх компенсації. Праці Інституту електродинаміки НАН України. 2018. Вип. 51. С. 78–85.
21. Офіційний сайт ПАТ «Запоріжжяобленерго». Виробничо-технічні показники та структура мереж. URL: <https://zoe.com.ua/> (дата звернення: 12.05.2024).
22. Інститут технічної теплофізики НАН України. Когенераційні технології в промисловій енергетиці : аналітичний огляд. Київ : ІТТФ, 2019. 112 с.

23. Жуков В. А., Бондаренко О. М. Оцінка окупності інвестицій в енергозберігаючі проекти на промислових підприємствах. Економіка та управління підприємствами. 2021. Вип. 4. С. 114–121.

24. Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг (НКРЕКП). Методика формування тарифів на електричну енергію для промислових споживачів. Київ : НКРЕКП, 2022. 45 с.