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 ___Аналіз можливості зменшення питомого рівня споживання електричної енергії підприємством важкої промисловості_____

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)
_____Попов С. В._____
(ініціали та прізвище)

Керівник ___к.т.н., доц. Єрофєєва А.А.
(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

_____Попову Сергію Володимировичу _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи Аналіз ефективності електроспоживання підприємства харчової промисловості _____
керівник роботи ___к.т.н., доц. Єрофєєва А.А._____
(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: Загальна встановлена потужність електрообладнання1580 кВт, Електропривод — 56%, Електротехнологія / Електрозварювання / Печі — 31,3%, Освітлення та інші допоміжні споживачі — 12,7%
4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1) Дослідження енергоємності та оцінка резервів економії електроенергії підприємством важкої промисловості 2) Аналіз та розробка комплексних заходів з підвищення ефективності використання електроенергії у цеху 3) Аналіз економічної ефективності та доцільності реалізації енергозберігаючих рішень
5 Перелік графічного матеріалу ____1) Діаграма співвідношення електроенергоспоживання обладнання 2) Схема електрична однолінійна 3 План розміщення технологічного обладнання 4) Креслення за загальним виглядом

модернізованого механізму переміщення електродів дугової сталеплавильної печі 5) Принципова гідравлічна та електрична схема керування металорізальним верстатом

6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	к.т.н., доц. Єрофєєва А.А.		
Розділ 2	к.т.н., доц. Єрофєєва А.А.		
Розділ 3	к.т.н., доц. Єрофєєва А.А.		

7 Дата видачі завдання 01.02.2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Дослідження енергоємності та оцінка резервів економії електроенергії підприємством важкої промисловості	01.03.2026	
2	Аналіз та розробка комплексних заходів з підвищення ефективності використання електроенергії у цеху	01.04.2026	
3	Аналіз економічної ефективності та доцільності реалізації енергозберігаючих рішень	10.05.2026	

Студент _____ (підпис) С. В. Попов (ініціали та прізвище)

Керівник роботи _____ (підпис) Єрофєєва А.А. (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

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

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка містить 58 сторінок, 9 рисунків, 17 таблиць, 24 джерела.

Об’єктом дослідження виступає процес електроспоживання промислового підприємства ТОВ «ЗТМК».

Предмет дослідження — підвищення рівня енергоефективності цехового господарства шляхом техніко-економічного обґрунтування та впровадження енергозберігаючих технологій.

Мета дипломної роботи полягає у підвищенні ефективності використання електричної енергії в цеху №8 ТОВ «ЗТМК» та оцінці доцільності реалізації комплексних енергоефективних рішень.

У загальній частині виконано розрахунок втрат активної потужності та електроенергії, на основі чого обґрунтовано такі енергозберігаючі заходи: оптимізацію технологічного процесу плавки металу шляхом модернізації механізму позиціонування електродів дугової печі; впровадження сучасної системи ЧПУ для металорізального обладнання; реконструкцію системи вентиляції з переходом від загальнообмінної до локалізованої.

В економічній частині проведено комплексний аналіз ефективності запропонованих рішень. Розраховано ключові інвестиційні показники: чисту приведену вартість (NPV), внутрішню норму доходності (IRR) та дисконтований термін окупності. Також висвітлено питання охорони праці та техніки безпеки.

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ, ТОВ «ЗТМК», ЦЕХ №8, ВТРАТИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ, ДУГОВА ПІЧ, МЕХАНІЗМ ПЕРЕМІЩЕННЯ ЕЛЕКТРОДІВ, СИСТЕМА ЧПУ, ЛОКАЛЬНА ВЕНТИЛЯЦІЯ, ЧИСТА ТЕПЕРІШНЯ ВАРТІСТЬ (NPV), ВНУТРІШНЯ НОРМА РЕНТАБЕЛЬНОСТІ (IRR), ТЕРМІН ОКУПНОСТІ

ЗМІСТ

Вступ 7
1. Дослідження енергоємності та оцінка резервів економії електроенергії підприємством важкої промисловості 10
1.1 Загальні відомості про об'єкт дослідження та його технологічний цикл……10
1.2 Класифікація та характеристика основних електроспоживачів 11
1.3 Комплексний аналіз режимів та параметрів електроспоживання цеху……14
1.3.1 Структура та технічна характеристика встановленого електрообладнання 14
1.3.2 Динаміка та часові графіки електроспоживання 17
1.4 Аналіз потенційних напрямків та можливостей енергозбереження..19
1.4.1 Оптимізація та впровадження високоефективних електродвигунів……19
1.4.2 Аналіз доцільності та розрахунок компенсації реактивної потужності (КРП) 22
1.4.3 Перехід на сучасні та ефективні джерела світла 25
1.4.4 Економіко-технічна оцінка доцільності впровадження АСКОЕ на промисловому об'єкті..... 27
1.4.5 Аналіз ефективності та аргументація модернізації дугової печі постійного струму ДС-5МТ 28
2. Аналіз та розробка комплексних заходів з підвищення ефективності використання електроенергії у цеху 30
2.1 Реконструкція та технічне переоснащення дугової сталеплавильної печі постійного струму 30
2.1.1 Розрахунок елементів системи електропостачання 30
2.1.2 Обґрунтування вибору механізму переміщення електродів 34

2.2 Впровадження нової системи ЧПУ металорізальних верстатів із заміною електрошаф 34
2.3 Модернізація системи вентиляції з переходом від загальнообмінної до локальної 36
2.4 Узгодження енергозберігаючих заходів із існуючим обладнанням цеху та підстанції 36
2.5 Автоматизований комплекс захисту, телемеханізації та енергообліку……...44
2.5.1 Обґрунтування та вибір приладів вимірювання електроенергії ...44
3. Аналіз економічної ефективності та доцільності реалізації енергозберігаючих рішень 47
3.1 Склад та формула розрахунку ФЗП 47
3.2 Оцінка економічного ефекту та окупності запропонованих енергозберігаючих заходів ..... .49
3.2.1 Визначення показників ефективності модернізації дугової печі постійного струму ДС-5МТ 49
3.2.2 Впровадження сучасної системи числового програмного керування металорізальним обладнанням 51
3.2.3 Модернізація системи вентиляції з переходом від загальнообмінної до локальної 52
3.3 Зведені техніко-економічні показники ефективності енергозберігаючих заходів 53
Висновки 55
Перелік посилань 56

ВСТУП

На сьогоднішній день проблема раціонального та високоефективного споживання паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) є однією з найгостріших та стратегічно значущих вимог для функціонування сучасної промисловості. Постійне скорочення вичерпних ресурсів традиційних вуглеводнів в Україні, високий рівень зношеності видобувної та переробної інфраструктури, а також значне ускладнення гірничо-геологічних та технологічних умов їх видобутку створюють суттєві загрози для національної та економічної стабільності держави. Ситуація додатково ускладнюється нестабільністю зовнішніх енергетичних ринків та зростанням капіталоємності імпорту первинних носіїв.

Оскільки повноцінне та масштабне використання відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) — зокрема сонячної, вітрової, геотермальної та біоенергетики — у вітчизняному промисловому секторі все ще перебуває на етапі активного становлення та вимагає залучення значних довгострокових інвестицій, ключовим та найбільш доступним векторним напрямком забезпечення енергонезалежності виступає комплексне енергозбереження. Впровадження системних енергоефективних заходів дає змогу швидко мінімізувати втрати енергії без зниження обсягів випуску цільової продукції.

Сучасні глобальні світові тенденції демонструють стале зростання обсягів використання електричної та теплової енергії, що обумовлено глобальною цифровізацією, автоматизацією технологічних процесів та переходом до високоінтенсивних виробничих циклів. Навіть за умов масштабної структурної перебудови промислового виробництва, переходу на закриті маловідхідні цикли та впровадження новітніх енергозберігаючих технологій, загальна потреба підприємств у енергоносіях у середньостроковій та довгостроковій перспективі продовжуватиме зростати.

За таких умов першочерговим завданням для вітчизняних підприємств стає розробка та практична реалізація цілісних організаційно-технічних рішень, спрямованих на:

– глибокий аналіз та системний аудит існуючих структур електроспоживання у цехових мережах;

– мінімізацію технологічних втрат електроенергії у проміжних ланках передачі, трансформації та розподілу;

– модернізацію та технічне переоснащення застарілого парку електротехнічного обладнання (у тому числі силового асинхронного приводу, плавильних та термічних установок, систем освітлення та вентиляції);

– впровадження інтелектуальних систем автоматизованого контролю, обліку та управління енергоресурсами (АСКОЕ/АСУЕ), які дозволяють оптимізувати режими роботи обладнання у реальному часі.

Тільки комплексний, науково обґрунтований підхід до ресурсозбереження дозволить вітчизняній промисловості суттєво знизити енергоємність виробленої продукції, підвищити її конкурентоспроможність на міжнародних ринках, гарантувати екологічну безпеку та забезпечити високий рівень енергетичної самодостатності суб'єктів господарювання.

Енергоефективність визнана фундаментальним орієнтиром державної політики провідних країн світу, а оптимізація ресурсоспоживання в усіх галузях господарювання стає критично важливою. Головна стратегічна задача полягає в забезпеченні належного рівня енергетичної незалежності суб'єктів господарювання та держави в цілому. Для досягнення цієї мети необхідно зберегти наявний кадровий та науково-технічний потенціал, забезпечивши його реалізацію в умовах сучасних ринкових вимог.

Під час реалізації енергозберігаючих програм на промислових об'єктах потенціал енергозбереження слід розглядати як цілісну систему внутрішніх та зовнішніх можливостей, а також організаційної здатності керівництва й персоналу мобілізувати ресурси задля зменшення питомих витрат енергії на одиницю випущеної продукції.

Попри наявність широкого спектра технологічних рішень щодо підвищення енергоефективності, на мікроекономічному рівні їм часто приділяють недостатню увагу. Ситуація ускладнюється постійним зростанням тарифів на енергоносії, браком інвестиційних коштів, а також дефіцитом висококваліфікованих фахівців. Ефективне управління інноваційною діяльністю в сфері енергозбереження можливе лише за наявності комплексного організаційно-економічного механізму.

Найбільші резерви економії криються безпосередньо у сфері кінцевого споживання, насамперед – електроенергії. Для промислових об'єктів пріоритетним завданням є мінімізація втрат у внутрішньоцехових мережах та проміжних ланках електрообладнання, де втрати можуть досягати значних величин.

У цій роботі виконано комплексний аналіз режиму електроспоживання виробничого цеху, розроблено та обґрунтовано енергозберігаючі заходи, а також розглянуто питання охорони праці та економічної ефективності прийнятих рішень. Реалізація запропонованих проектів дозволить зменшити обсяги річного споживання електроенергії підприємством ТОВ «ЗТМК» та знизити собівартість кінцевої продукції.

1 ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГОЄМНОСТІ ТА ОЦІНКА РЕЗЕРВІВ ЕКОНОМІЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ПІДПРИЄМСТВОМ ВАЖКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

1.1 Загальні відомості про об'єкт дослідження та його технологічний цикл

Дніпровський магнієвий завод (нині – Запорізький титано-магнієвий комбінат) засновано у грудні 1935 року. За довгу історію свого існування підприємство пройшло етапи евакуації, повоєвної відбудови та освоєння нових видів високотехнологічної продукції, зокрема губчастого титану, германію, напівпровідникового кремнію та трихлорсилану. ЗТМК є єдиним у Європі виробником титану губчастого.

З приходом стратегічних інвесторів та модернізацією обладнання підприємство опанувало випуск титанових злитків і слябів марок Grade-1, Grade-2 та високолегованих сплавів. Для підвищення якості механічної обробки та мінімізації відходів у технологічний ланцюг було впроваджено сучасне високоточне обладнання.

Основу технологічного процесу виготовлення губчастого титану становить магнієтермічний спосіб (процес Кролла). Повний виробничий цикл охоплює такі ключові етапи:

1. Отримання титанового шлаку: плавка ільменітового концентрату ($TiO_2 \geq 63\%$) разом із вуглецевим відновником у рудно-термічних печах (РТП) при температурі 1650–1800 °C.
2. Підготовка шихти: подрібнення та змішування шлаку, вуглецевого відновника та кухонної солі (NaCl).
3. Виробництво технічного тетрахлориду титану (ТТТ): хлорування шихти в сольовому хлораторі з наступною конденсацією парогазової суміші.

4. Ректифікаційне очищення ТТТ: видалення домішок ванадію, низько- та висококиплячих фракцій у дистиляційних колонах при температурі 120–142 °C.

5. Електролітичне отримання магнію: розклад розплаву дихлориду магнію та безводного карналіту в бездіафрагмових електролізерах для забезпечення відновлювального процесу.

6. Відновлення титану: взаємодія ТТТ з рідким магнієм у спеціальних апаратах з утворенням титанової губки та дихлориду магнію.

7. Вакуумна сепарація: випарка (сублімація) залишків магнію та його chloride з реакційної маси при високотемпературній витримці (980–1020 °C) у глибокому вакуумі.

8. Переробка та сортування блоків титанової губки: демонтаж реторти, вилучення блоку, обрубка, дезинтеграція (дроблення) на пресах, розсівання на товарні фракції, контроль якості, зважування та пакування.

1.2 Класифікація та характеристика основних електроспоживачів

Електроприймачі промислових підприємств за принципом перетворення електричної енергії в інші види енергії класифікуються на кілька основних груп:

1. Загальнопромисловий електропривод: У даній групі відбувається перетворення електричної енергії в механічну. Цей тип приймачів є найпоширенішим і присутній на всіх ділянках виробництва. Для забезпечення роботи сучасного металорізального, ковальсько-пресового, компресорного та насосного обладнання застосовуються різноманітні типи електричних двигунів (асинхронні з короткозамкненим та фазним ротором, синхронні, а також двигуни постійного струму). Потужність використовуваних електродвигунів варіюється у надзвичайно широкому діапазоні — від часток кіловата (у

допоміжних приводах та приладах) до сотень кіловат і більше (у головних приводах важких верстатів, компресорів та вентиляційних систем).

2. Електротехнологічні установки: Дана група об'єднує обладнання, в якому електрична енергія безпосередньо бере участь у здійсненні технологічного процесу:

Електротермічні установки: забезпечують перетворення електричної енергії в теплову. До них належать печі опору різного призначення, дугові електропечі (зокрема ДППС), індукційні установки, печі електрошлакового переплаву (ЕШП), агрегати електронно-променевого нагріву, а також установки контактного та дугового зварювання.

Електрохімічні установки: призначені для перетворення електричної енергії в хімічну. До цієї категорії входять ванни та установки для електролізу сольових розплавів та розчинів (отримання та очищення магнію, титану), гальванічні лінії, обладнання для електрохімічної обробки металів та анодування. Це комплекс обладнання, призначений для перетворення електричної енергії в теплову з метою зміни фізико-хімічних властивостей, фазового стану або форми матеріалів (плавлення, термічна та хіміко-термічна обробка, зварювання, вирощування кристалів тощо).

Промислові ЕТУ є одними з найпотужніших та найвимогливіших споживачів електроенергії (потужність окремих агрегатів сягає десятків МВА).

Електрофізичні установки: здійснюють перетворення електричної енергії у специфічні види механічної чи електромагнітної енергії для безпосередньої обробки деталей та очищення середовищ. Сюди належать установки ультразвукової та магнітоімпульсної обробки, а також електростатичні фільтри очищення технологічних газів.

3. Освітлювальні установки: Забезпечують перетворення електричної енергії у світлову для створення нормативних умов праці у виробничих цехах, адміністративно-побутових приміщеннях та на зовнішній території підприємства. Для цього використовуються лампи розжарювання,

люмінесцентні лампи, високоінтенсивні газорозрядні дугові дугоподібні ртутні лампи (ДРЛ, ДНаТ), а також сучасні світлодіодні світильники.

4. Системи вентиляції та кондиціювання повітря: Вентиляція є спеціалізованим комплексом обладнання та технічних заходів, орієнтованим на забезпечення заданого повітрообміну, виведення шкідливих речовин, пилу та надлишкового тепла з робочої зони для підтримки параметрів повітряного середовища відповідно до вимог будівельних і санітарних норм (СНіП та ДСН 3.3.6.042-99).

Системи вентиляції класифікуються за кількома основними ознаками:

За способом побудови побудження та переміщення повітря:

– з природним побудженням (аерація, дефлектори);

– з штучним (механічним) побудженням (із застосуванням радіальних або осьових вентиляторів).

За технологічним призначенням:

– приточні (подають свіже підготовлене повітря у приміщення);

– витяжні (видаляють забруднене або нагріте повітря з приміщення).

За зоною дії та обслуговування:

– місцеві (локалізують шкідливі виділення безпосередньо біля джерел їх утворення);

– загальнообмінні (забезпечують розведення шкідливих виділень по всьому об'єму приміщення).

За конструктивним виконанням:

– канальні (з розгалуженою мережею повітропроводів);

– безканальні (з монтажем вентиляторів у стінах, перекриттях або світлоаераційних ліхтарях).

Системи вентиляції цеху забезпечують підтримку необхідних мікрокліматичних параметрів і класифікуються за способом побудови (приточні, витяжні, загальнообмінні та місцеві).

1.3 Комплексний аналіз режимів та параметрів електроспоживання цеху №8

1.3.1 Структура та технічна характеристика встановленого електрообладнання

Основними приймачами електричної енергії цеху №8 ТОВ «ЗТМК» є силове технологічне та зварювальне обладнання. Живлення даних приймачів здійснюється від внутрішньоцехової трифазної мережі напругою 0,38 кВ частотою 50 Гц. Проектом передбачено функціонування систем робочого та аварійного освітлення з номінальною напругою 220 В.

Відповідно до оновлених розрахункових даних, загальна встановлена потужність електрообладнання цеху становить 1580 кВт.

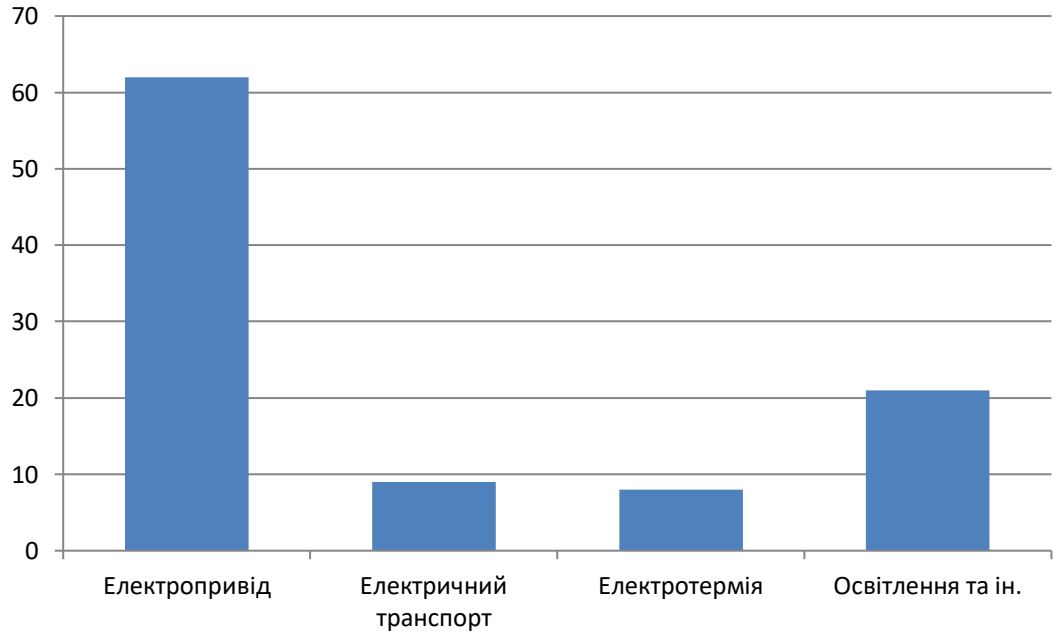


Рисунок 1.1 – Перерахована діаграма співвідношення електроенергоспоживання обладнання ТОВ «ЗТМК»

Як видно з діаграми (рисунок 1.1), найбільша частка електроспоживання підприємства припадає на силовий електропривод, який становить 51%. Частка освітлення та інших допоміжних споживачів зросла до 26%. На електричний транспорт припадає 12%, а на електротермічне та електротехнологічне обладнання — 11% від загального обсягу споживаної електроенергії.

Процентне співвідношення витрат електричної енергії на живлення споживачів ТОВ «ЗТМК» наведено в таблиці 1.1.

Деталізовану структуру та відсоткові частки витрат електричної енергії за групами споживачів цеху №8 подано в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Структура електроспоживачів цеху

Назва групи обладнання та споживачів	Потужність, кВт	Відсоток, %
Загальна встановлена потужність електрообладнання, кВт	1580	100
Електроапарати для технологічних процесів, кВт:	495	31,3
- електричні печі нагрівання і термообробки	170	10,8
- нагрівальні пристрої	125	7,9
- електрозварювальне обладнання	200	12,6
Загальна потужність електродвигунів, кВт:	885	56
- обробка металів різанням (верстатний парк)	430	27,2
- електрифікований транспорт (підйомні крани, кран-балки)	215	13,6
- вентиляційне обладнання та кондиціювання	240	15,2
Загальна потужність систем освітлення, кВт:	200	12,7
- зовнішнє та периметральне освітлення	35	2,2
- внутрішнє освітлення цехів та побутових приміщень	165	10,5

Склад основного електрообладнання цеху №8 із врахуванням коригування кількості та типів агрегатів:

– Технологічне обладнання (усього близько 220 одиниць): металообробні верстати, пресове обладнання, електричні печі нагріву, а також 5 компресорних установок стисненого повітря.

– Зварювальне обладнання (близько 125 одиниць): зварювальні випрямлячі типів ВС-600 (11 шт.), ВДУ-506У (17 шт.), КИУ-501 (10 шт.), ВДУЧ-350 (4 шт.), ВДУ-1201 (3 шт.), ВДМ-1001 (8 шт.), «КЕМПІ» (3 шт.), ВКСМ-1000 (2 шт.), ВДУ-504 (5 шт.), ВДУ-1202 (3 шт.), напівавтомати MIG/MAG ВАРИО СТАР 457/2 (3 шт.), установки аргонодугового зварювання УДГУ-251 AC/DC (2 шт.), УДГУ-301 (2 шт.), газоплазморізальні машини ППлКП (3 шт.).

– Вантажопідйомне обладнання: цехові кран-балки та мостові крани вантажопідйомністю від 3,2 до 15 тонн.

– Освітлювальні установки: світильники з високоінтенсивними дуговими ртутними лампами ДРЛ-1000 та ДРЛ-700 (85 шт.), ДРЛ-400 (38 шт.), ДРЛ-250 (15 шт.); периметральне освітлення з лампами ДРЛ-250 (38 шт.) та ДРЛ-125 (38 шт.); освітлення адміністративно-побутових приміщень світильниками з люмінесцентними лампами ЛБ-36 (65 шт.).

– Вентиляційне обладнання: приточні та витяжні вентиляційні установки потужністю від 3,5 до 25 кВт у кількості 25 одиниць.

З даних таблиці 1.1 видно, що найбільша частка споживання електроенергії (56,0%) припадає на силовий електропривод, переважну більшість якого становлять асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором.

1.3.2 Динаміка та часові графіки електроспоживання

Аналіз динаміки споживання електричної енергії цехом та підприємством за період 2023–2025 рр. свідчить про стале зростання обсягів використання енергоресурсів, що пов'язано зі збільшенням обсягів випуску товарного титану.

Скориговані дані щодо річного споживання електроенергії та фінансових витрат за період 2023–2025 рр. наведено в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Перерахована динаміка споживання електроенергії за 2023–2025 рр.

Роки	2023	2024	2025
Споживання електроенергії, млн кВт·год	9,8	10,45	11,35
Фінансові витрати, млн грн	16,66	17,76	21,56

Деталізовані дані щодо місячного споживання електричної енергії та витрат за актуальний 2025 рік подано в таблиці 1.3.

Графічне зображення динаміки помісячного споживання електроенергії впродовж 2025 року наведено на рисунку 1.3.

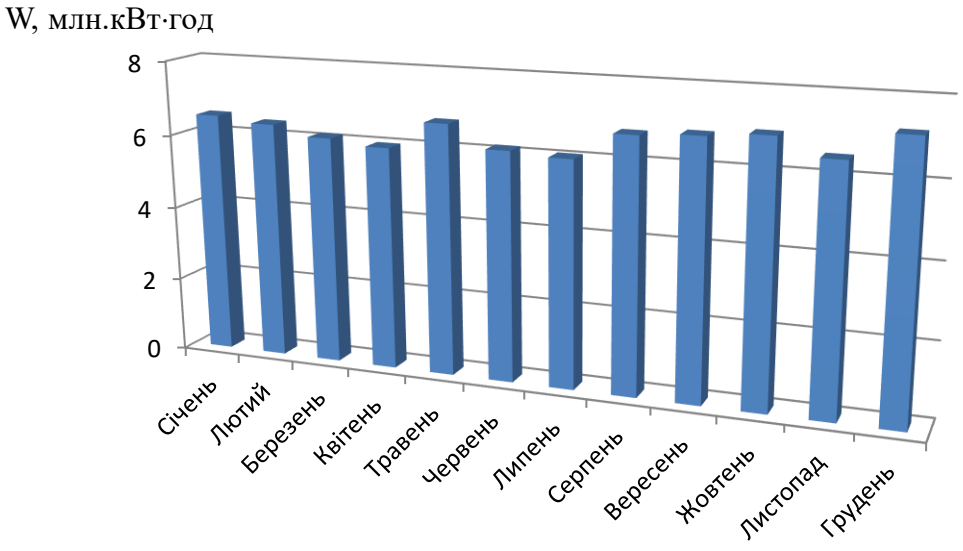


Рисунок 1.3 – Динаміка помісячного споживання електроенергії цехом №8 у 2025 р.

Таблиця 1.3 – Помісячне споживання електроенергії та витрати цеху у 2025 р.

Місяць 2025 р.	Споживання електроенергії, млн кВт·год	Витрати, млн грн
Січень	0,94	1,78
Лютий	0,91	1,73
Березень	0,88	1,67
Квітень	0,85	1,61
Травень	0,97	1,84
Червень	0,89	1,69
Липень	0,87	1,65
Серпень	0,98	1,86
Вересень	0,99	1,88
Жовтень	1,02	1,94
Листопад	0,93	1,77
Грудень	1,05	1,99
Усього за рік	11,28	21,43

З наведених даних видно, що протягом останніх трьох років споживання електроенергії підприємством стабільно зростає, що пов'язано зі збільшенням обсягів випуску товарної продукції та розширенням асортименту. Приріст обсягу електроспоживання у 2024 році порівняно з 2023 роком склав 6,6%, а у 2025 році порівняно з 2024 роком — 8,6%.

1.4 Аналіз потенційних напрямків та можливостей енергозбереження в цеху №8

1.4.1 Оптимізація та впровадження високоефективних електродвигунів

Оскільки силовой електропривод забезпечує основну частку технологічних процесів у цеху, електродвигуни споживають понад 55% загального обсягу електроенергії. Вони є першочерговим об'єктом для залучення інвестицій у заходи з ресурсозбереження.

Систематичний моніторинг і збір паспортних та операційних даних по кожній силовій установці, яка функціонує понад 2000 годин на рік, виступає початковим етапом підвищення ефективності цехового електрогосподарства. Особливу увагу при обстеженні звертають на режим навантаження, частоту обертання, фактичний коефіцієнт корисної дії (ККД) та технічний стан обладнання.

Раціональний вибір потужності електродвигунів дозволяє суттєво мінімізувати невиправдані втрати. На практиці значна частина двигунів має завищену установчу потужність (працює з недовантаженням). Оптимальним вважається режим, за якого завантаження становить 75–90% від номінальної потужності. При роботі на холостому ході або при завантаженні менше 40% ККД та коефіцієнт потужності ($\cos \varphi$) різко знижуються.

Ключовим напрямком є впровадження частотно-регульованого електроприводу (ЧРП). Застосування ЧРП є найбільш доцільним для установок із змінним графіком навантаження (насоси, вентилятори, компресори) потужністю понад 10 кВт із напрацюванням понад 6000 годин на рік. Зміна частоти обертання відповідно до поточних потреб технологічного процесу дозволяє зменшити споживання електроенергії на 20–40%.

Суттєве значення має технічний стан механічних передач. Оптимізація натягу та заміна стандартних клинових ременів на високоефективні зубчасті або синхронні паси знижує втрати на тертя й підвищує ККД передачі на 3–5%.

Підвищення ККД сучасних асинхронних двигунів серій IE3 та IE4 досягається за рахунок:

– використання електротехнічної сталі з низькими питомими втратами та подовження сердечника;

– збільшення перерізу пазових провідників статора й ротора для зменшення втрат у міді;

– оптимізації геометрії вентилятора та зменшення механічних втрат на охолодження.

Загальна економія електроенергії від комплексної оптимізації силового приводу та впровадження енергозберігаючих двигунів складає близько 4–9% від загального споживання цеху.

Оптимізація та впровадження високоефективних електродвигунів — один із найдієвіших важелів зменшення операційних витрат на промислових підприємствах і комунальних об'єктах. На електродвигуни припадає понад 60–70% усього промислового споживання електроенергії.

1. Класифікація та технології (IEC 60034-30-1)

Перехід між класами енергоефективності супроводжується суттєвим зниженням втрат у статорі, роторі та сталевому осерді.

Ключова перевага IE4/IE5 (SynRM): Перевага синхронних реактивних двигунів розкривається на неповних навантаженнях (40–80%) та при зміні частоти обертання, де ККД традиційних асинхронних двигунів помітно просідає через втрати в роторі.

2. Системний підхід до оптимізації

Заміна самого лише двигуна дає лише частину ефекту. Максимальна економічна віддача досягається під час оптимізації всієї приводної системи:

– Усунення завищення потужності (Oversizing): Часто двигуни підбирають із надлишковим запасом, через що вони працюють із коефіцієнтом

завантаження K_z<0.5. У цьому режимі падає не лише ККД, а й $\cos\varphi$, що збільшує реактивне споживання.

– Впровадження частотно-регульованого приводу (ПЧ): Для насосів, вентиляторів та компресорів регулювання дроселюванням заменяється регулюванням швидкості. За законами пропорційності споживана потужність пропорційна кубу частоти обертання ($P \sim n^3$). Зниження швидкості на 20% зменшує споживання електроенергії майже на 50%.

– Оптимізація механічної передачі: Заміна ремінних передач на прямий привод або високоефективні редуктори додає ще 3–8% загального ККД системи.

3. Техніко-економічний аналіз та Life Cycle Cost (LCC)

Структура витрат на електродвигун протягом 10–15 років експлуатації розподіляється наступним чином:

– Капітальні витрати (купівля): 2–5%

– Технічне обслуговування та ремонт: 2–3%

– Вартість спожитої електроенергії: 92–96%

Оскільки ціна електроенергії домінує у вартості життєвого циклу, різниця у вартості між двигунами IE1/IE2 та IE4/IE5 зазвичай окупається протягом 6–18 місяців залежно від річного напрацювання (годин/рік) та тарифу.

4. Алгоритм впровадження на підприємстві

1. Аудит та паспортизація парку: Вимірювання фактичного навантаження, струмів, $\cos\varphi$ та теплового стану наявних двигунів.

2. Ранжування потенціалу економії: Пріоритетизація агрегатів з безперервним циклом роботи (>6000 год/рік) та змінним графіком навантаження.

3. Техніко-економічне обґрунтування (ТЕО): Розрахунок терміну окупності

4. Впровадження та моніторинг: Встановлення двигунів класів IE4/IE5 разом із ПЧ, інтеграція в SCADA для контролю питомого споживання кВт·год/од. продукції.

1.4.2 Аналіз доцільності та розрахунок компенсації реактивної потужності (КРП)

Більшість споживачів цеху (електродвигуни, трансформатори, зварювальне обладнання) утворюють індуктивне навантаження, що викликає протікання реактивного струму. Це призводить до додаткового завантаження розподільчих мереж і трансформаторів повною потужністю, підвищуючи втрати активної енергії на 20–25%.

Таблиця 1.4 – Добовий графік споживання активної потужності ділянкою цеху за 12.12.2025 р.

Години доби	Потужність P, кВт	Години доби	Потужність P, кВт
00:00–01:00	35	12:00–13:00	185
01:00–02:00	35	13:00–14:00	190
02:00–03:00	35	14:00–15:00	180
03:00–04:00	35	15:00–16:00	150
04:00–05:00	35	16:00–17:00	140
05:00–06:00	35	17:00–18:00	145
06:00–07:00	35	18:00–19:00	152
07:00–08:00	80	19:00–20:00	130
08:00–09:00	125	20:00–21:00	115
09:00–10:00	155	21:00–22:00	45
10:00–11:00	170	22:00–23:00	35
11:00–12:00	162	23:00–24:00	35

У таблиці 1.4 наведено відкоригований добовий графік споживання активної потужності ділянкою цеху за 12.12.2025 р.

Головним засобом компенсації реактивної потужності є конденсаторні установки (КУ). Вони мають мінімальні власні втрати активної потужності (не більше 0,4 Вт/кВар), відсутність рухомих частин, високу надійність та простоту монтажу.

Графічне відображення добового графіка споживання активної потужності за 12.12.2025 р. наведено на рисунку 1.4.

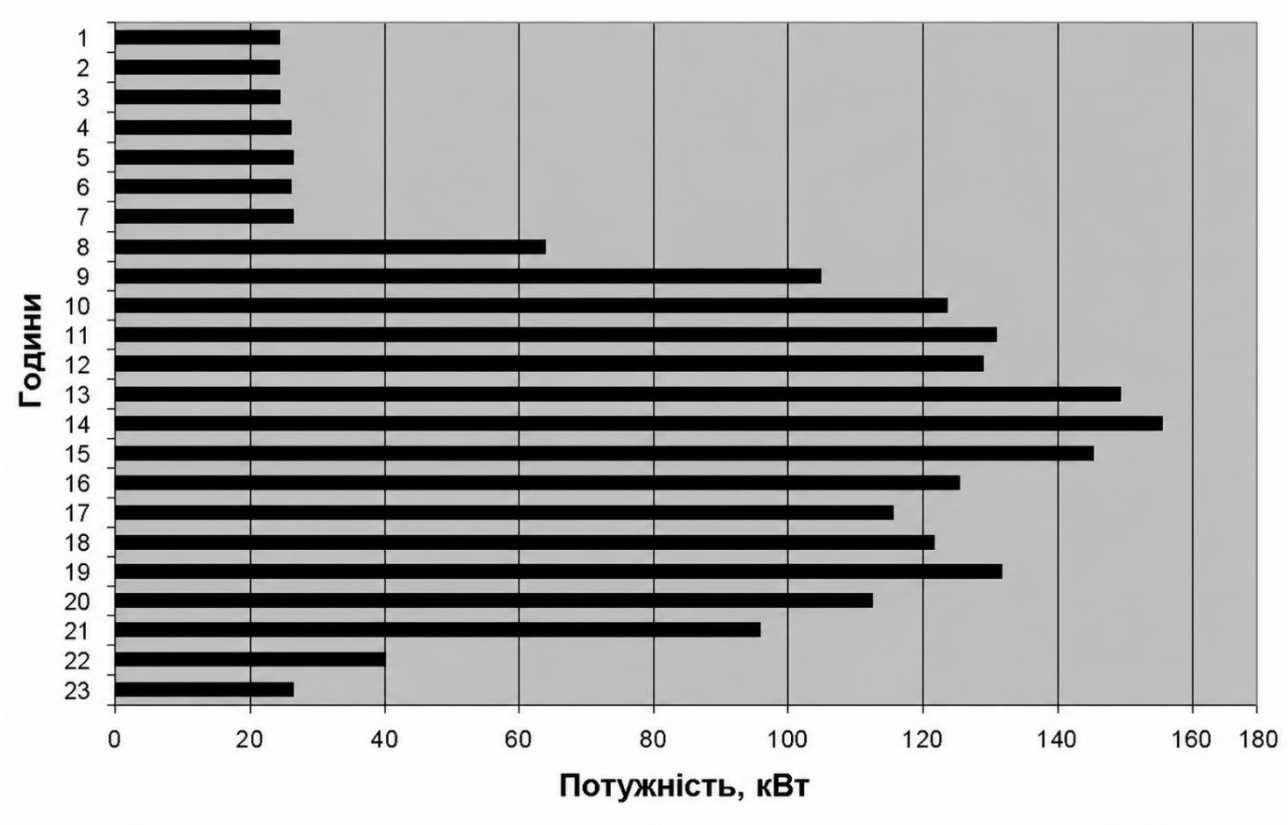


Рисунок 1.4 – Добовий графік споживання активної потужності ділянкою цеху за 12.12.2025 р.

При компенсації реактивної потужності струм, що споживається з мережі, зменшується на 30–50%. Це забезпечує підвищення $\cos\varphi$ до 0,95–0,98, розвантажує кабельні лінії й трансформатори, а також дає змогу економити 5–15% активної електроенергії за рахунок зниження втрат.

Перетікання реактивної потужності від мережі до індуктивних споживачів (асинхронні двигуни, трансформатори, індукційні печі) викликає цілий ряд негативних наслідків:

Додаткові втрати активної потужності (ΔP): Струм реактивного характеру додатково нагріває обмотки трансформаторів та кабельні лінії. Оскільки втрати пропорційні квадрату струму ($\Delta P=I^2 \cdot R$), зниження повного струму I при покращенні cos φ суттєво зменшує втрати в мережі підприємства (на 10–30%).

Падіння напруги (ΔU): Передавання реактивної потужності через індуктивний опір ліній та трансформаторів викликає просадку напруги:

$$\Delta U \approx \frac{P \cdot R + Q \cdot X}{U_n} \quad \text{(1.1)}$$

Компенсація Q безпосередньо біля споживача стабілізує рівень напруги на цехових шинах.

Дефіцит пропускної здатності (запас по S): Зниження реактивної складової розвантажує цехові трансформатори ТП за повною потужністю ($S=\sqrt{P^2+Q^2}$), що дозволяє підключати додаткове активне навантаження без заміни або купівлі нових трансформаторів.

Економічний ефект: Пряме скорочення витрат на оплату реактивної електроенергії за договором з оператором системи розподілу (ОСР).

2. Розрахунок необхідної потужності конденсаторної установки

Необхідна реактивна потужність компенсаційної установки $Q_{КУ}$ (квар) визначається за базовою формулою:

$$Q_{КУ}=P_{розр} \cdot \left(\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2\right) \quad \text{(1.2)}$$

де:

$P_{розр}$ — розрахункове активне навантаження об'єкта чи агрегату, кВт;

$\tan \varphi_1$ — коефіцієнт потужності до компенсації ($\tan \varphi_1 = \tan\left(\arccos\left(\cos \varphi_1\right)\right)$);

$\tan \varphi_2$ — цільовий коефіцієнт потужності (зазвичай обирають $\cos \varphi_2 = 0.95 \ldots 0.98$, $\tan \varphi_2 \approx 0.33 \ldots 0.20$).

Якщо на підприємстві понад 15–20% навантаження становлять нелінійні споживачі (перетворювачі частоти, випрямлячі, дугові печі, зварювальні апарати), стандартні конденсатори утворюють паралельний резонансний контур із вищою індуктивністю трансформатора. Це призводить до:

1. Сплесків струмів гармонік через конденсатори (вивід їх з ладу, розпухання, пробій);
2. Перегріву та аварійного відключення вводів.

Рішення: Застосування детюнованих (дросельованих) конденсаторних установок. В них послідовно з конденсаторами вмикають антирезонансні захисні реактори (дроселі) з резонансною частотою, відлаштованою нижче 5-ї гармоніки (наприклад, f_r=189 Гц при 7% дефлексії або 134 Гц при 14%).

При вищому рівні вищих гармонік (THDi>30%) застосовують статичні генератори реактивної потужності (SVG / APF) на базі IGBT-інверторів, які забезпечують безступінчасту плавну компенсацію за 5–10 мс і не бояться резонансу.

1.4.3 Перехід на сучасні та ефективні джерела світла

Оскільки на освітлення цеху припадає близько 13,1% загальних витрат електроенергії, зниження енергоємності освітлювальних установок є пріоритетним завданням.

Технічні характеристики застарілих ртутних ламп ДРЛ-400 та світильників РСП 05-400/Г03 наведено в таблицях 1.5 та 1.6.

Таблиця 1.5 – Характеристика ламп ДРЛ-400

Тип лампи	Напруга U, В	Світловий потік, лм	Довжина, мм	Діаметр d, мм	Цоколь	Термін експлуатації, годин
ДРЛ-400	220	20500	292	122	Е40	10000

Добовий графік навантаження освітлювальної установки протягом доби наведено на рисунку 1.5.

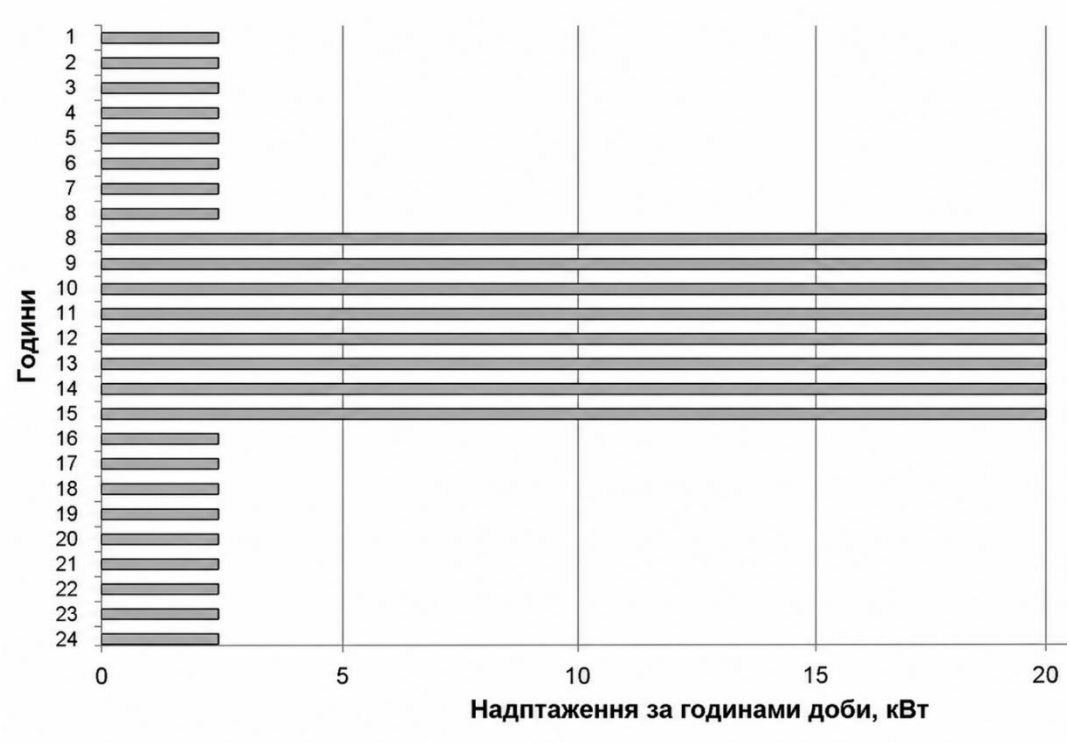


Рисунок 1.5 – Добовий графік навантаження освітлювальних установок цеху

Заміна застарілих светильників з лампами ДРЛ-400 на сучасні LED-модулі потужністю 120 Вт дозволяє зменшити споживання електроенергії системою освітлення більш ніж у 3,2 рази.

1.4.4 Економіко-технічна оцінка доцільності впровадження АСКОЕ на промисловому об'єкті

Впровадження Автоматизованої системи комерційного та технічного обліку електроенергії (АСКОЕ) на ТОВ «ЗТМК» дозволяє вирішити комплекс задач із точного вимірювання, оперативного контролю та прогнозування енергоспоживання.

Основними цілями та завданнями впровадження АСКОЕ є:

1. Підвищення точності вимірювань і ліквідація суперечностей у розрахунках із постачальником електроенергії.
2. Неперервний точний облік втрат в елементах цехової та загальнозаводської мережі.
3. Можливість розрахунку за диференційованими за зонами доби тарифами.
4. Контроль дотримання лімітів потужності у години максимальних навантажень енергосистеми.

Система АСКОЕ будується за двопідрівневою структурою:

Нижній рівень: складається з мікропроцесорних багатофункціональних лічильників електричної енергії підвищеної точності (клас 0,2S/0,5S), вимірювальних трансформаторів струму та напруги, а також ліній зв'язку.

Верхній рівень: сервери бази даних, автоматизовані робочі місця (АРМ) енергетика та програмне забезпечення, що забезпечує автоматичний збір, обробку, відображення й архівування даних про енергоспоживання протягом не менше 365 діб.

1.4.5 Аналіз ефективності та аргументація модернізації дугової печі постійного струму ДС-5МТ

Дугові печі постійного струму (ДППС) є високоефективними агрегатами для виплавки та переплаву чавуну, високолегованих, інструментальних і спеціальних сталей, а також кольорових металів.

Переваги ДППС у порівнянні з іншими плавильними агрегатами (зокрема індукційними печами) наведено в таблиці 1.7.

Таблиця 1.7 – Перераховані переваги дугових печей постійного струму у порівнянні з індукційними

Перевага	Кількісні показники	Обґрунтування переваг ДППС
Продуктивність	+110%	Тривалість плавки по чавуну становить 25–50 хвилин (у 2–2,5 рази швидше, ніж в індукційних печах).
Споживання електроенергії	-45%	Питомі витрати електроенергії для сірого чавуну становлять 550–750 кВт·год/т (розплавлення та перегрів до 1400 °С).
Якість отриманого металу	+	Забезпечує проведення окиснювально-відновних реакцій; видалення розчиненого водню та кисню; ефективне відновлення оксидів.
Універсальність сировини	+	Дозволяє плавити відходи, дрібну шихту, шлаки та каталізатори з низьким вмістом металу.
Перехід на нові марки	+	Швидкий перехід на виплавку нових марок сплавів без зупинки та суттєвих затрат.

Модернізація механізму переміщення електродів ДППС ДС-5МТ із застосуванням швидкісного приводу та автоматизованої системи керування дугою дозволяє скоротити час плавки, знизити питомі витрати електроенергії на 8–12% та зменшити чад легуючих елементів.

2 АНАЛІЗ ТА РОЗРОБКА КОМПЛЕКСНИХ ЗАХОДІВ З ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ У ЦЕХУ

2.1 Реконструкція та технічне переоснащення дугової сталеплавильної печі постійного струму

2.1.1 Розрахунок елементів системи електропостачання

Оціночний розрахунок електричного навантаження цехової мережі здійснюється методом питомої потужності на одиницю площі:

$$P_р=k\cdot P_{уд}\cdot S\cdot 10^{-3} \quad (2.1)$$

де k=1,15 — коефіцієнт, що враховує пускові струми та нерівномірність навантаження;

$P_{уд}$=95 Вт/м^2 — питоме навантаження цеху (збільшено на 18,7,%);

S=14500 м^2 — загальна площа цеху №8 (збільшено на 16%).

Підставляючи значення у формулу (2.1):

$$P_р=1,15\cdot 95\cdot 14500\cdot 10^{-3}=1584,1 \text{ кВт}$$

Розрахунок реактивного навантаження силової мережі електроприймачів проводиться за формулою:

$$Q_р=P_р\cdot tg\varphi \quad (2.2)$$

Для узагальненого навантаження цеху з урахуванням асинхронного приводу приймаємо tgφ=0,88 (cos φ =0,75).

$$Q_р=1584,1\cdot0,88=1394,0 \text{ кВар}$$

Розрахункова активна та реактивна потужність силової мережі з урахуванням коефіцієнта попиту $K_с=0,72$ розраховується за формулами:

$$P_р=P_{ном}\cdot K_с \quad (2.3)$$

$$Q_р=P_р\cdot tg\varphi \quad (2.4)$$

Сумарна повна електрична потужність цеху з урахуванням освітлювального навантаження ($P_{осв}$=180 кВт, $Q_{осв}$=55 кВар) обчислюється за формулою:

$$S_р=\sqrt{\left(P_р+P_{осв}\right)^2+\left(Q_р+Q_{осв}\right)^2} \quad (2.5)$$

$$S_р=\sqrt{(1584,1+180)^2+(1394,0+55)^2}==2282,8 \text{ кВА}$$

Розрахунковий струм на низькій стороні 0,4 кВ визначаємо за формулою:

$$I_р=\frac{S_р}{\sqrt{3}\cdot U_{ном}} \quad (2.6)$$

$$I_р=\frac{2282,8}{\sqrt{3}\cdot0,38}=\frac{2282,8}{0,6582}=3468,2 \text{ А}$$

Розрахунок потужності компенсуючих пристроїв на низькій стороні (0,4 кВ) здійснюється за формулою:

$$Q_{ниц}=Q_р-\Delta Q_т \quad (2.7)$$

де $\Delta Q_т$ — втрати реактивної потужності у силових трансформаторах:

$$\Delta Q_т=\sqrt{S^2_{ном.ст}-P^2_р} \quad (2.8)$$

Для двох трансформаторів потужністю по $S_{ном}$=1600 кВА ($S_{ном.ст}$=3200 кВА):

$$\Delta Q_т=\sqrt{3200^2-1764,1^2}=\sqrt{10240000-3112048,8}=2669,8 \text{ кВар}$$

Втрати активної потужності в цеховій комплектній трансформаторній підстанції (КТП) визначимо за формулою:

$$\Delta P_т=n\cdot P_{хх}+\frac{1}{n}\cdot k^2_з\cdot P_{кз} \quad (2.9)$$

де n=2 — кількість трансформаторів; $P_{хх}$=2,4 кВт; $P_{кз}$=18,0 кВт.

Коефіцієнт завантаження трансформаторів розраховується за формулою:

$$k_з=\frac{S_р}{n\cdot S_{ном}} \quad (2.10)$$

$$k_з=\frac{2282,8}{2\cdot 1600}=0,713$$

Підставляючи дані у формулу (2.9):

$$\Delta P_т = 2 \cdot 2{,}4 + \frac{1}{2} \cdot 0{,}713^2 \cdot 18{,}0 = 4{,}8 + 0{,}5 \cdot 0{,}508 \cdot 18{,}0 = 4{,}8 + 4{,}57 = 9{,}37 \text{ кВт}$$

Сумарна розрахункова потужність високовольтної конденсаторної установки (ВКП на боці 6 кВ) визначається з умови:

$$Q_{ску} = Q_р + \Delta Q_т + \sum \Delta Q_{ктп} - Q_{сд} - Q_р' - \sum Q_{нку.ст} \quad \text{(2.11)}$$

Вибір перерізу кабельних ліній (КЛ) за економічною щільністю струму здійснюється за формулою:

$$F_{ее} = \frac{I_р}{j_{ее}} \quad \text{(2.12)}$$

Термічно стійкий переріз кабелю до струмів короткого замикання (КЗ) розраховується за формулою:

$$S_т = \frac{I_\infty \cdot \sqrt{t_п}}{K_т} \quad \text{(2.13)}$$

де I_∞ — усталений струм КЗ, А; $t_п$ — приведений час протікання струму КЗ:

$$t_п = t_{па} + t_{пп} \quad \text{(2.14)}$$

Перевірка кабелю за умовою тривалого допустимого нагріву здійснюється за співвідношенням:

$$K_л \cdot K_з \cdot I_{доп} \geq I_{роб.макс} \quad \text{(2.15)}$$

2.1.2 Обґрунтування вибору механізму переміщення електродів

На підприємстві експлуатується плавильна дугова піч постійного струму типу дс-5мт ємністю 5 тонн. електропіч призначена для роботи у закритому приміщенні в кліматичному виконанні ухл4 за гост 15150-69 при температурі навколишнього середовища від +5 до +40 °с.

Головним недоліком існуючої системи переміщення електродів печі дс-5мт є застарілий електромеханічний привод із низькою швидкодією та наявністю люфтів, що призводить до частих обривів електричної дуги, нестабільності струмового режиму, підвищеного чаду матеріалів та підвищеної витрати електроенергії.

Заміна механізму переміщення електродів на сучасний високошвидкісний привод із сервокеруванням дозволяє регулювати довжину дуги за частки секунди, зменшуючи питомі витрати електроенергії та скорочуючи час плавки.

2.2 Впровадження нової системи ЧПУ металорізальних верстатів із заміною електрошаф

Сумарні втрати активної потужності в асинхронному двигуні визначаються за розрахунковим виразом:

$$\Delta P_{сум}=\left[Q_{хх}\cdot\left(1-K_н^2\right)+K_н^2\cdot Q_н\right]\cdot K_{і.п}+\Delta P_{хх}+K_н^2\cdot\Delta P_{в.н} \quad (2.16)$$

де $Q_{хх}=\sqrt{3}\cdot U_н\cdot I_{п.х}$ — реактивна потужність холостого ходу двигуна, кВар; $K_н=\frac{P_{ср}}{P_н}$ — коефіцієнт завантаження електродвигуна; $Q_н=\frac{P_н}{\eta_н}\cdot tg\varphi_н$ — реактивна потужність при номінальному навантаженні, кВар; $K_{і.п}=0{,}1$ кВт/кВар —

коефіцієнт втрат; $\Delta P_{хх}=\frac{P_н\cdot(1-\eta_н)\cdot\gamma}{\eta_н\cdot(1+\gamma)}$ — втрати активної потужності холостого ходу, кВт; $\Delta P_{в.н}=\frac{P_н\cdot(1-\eta_н)}{\eta_н\cdot(1+\gamma)}$ — додаткові втрати активної потужності при 100% завантаженні, кВт; $\gamma=\frac{\Delta P_{хх}}{(100-\eta_н)-\Delta P_{хх}}$ — конструктивний розрахунковий коефіцієнт.

Проведемо розрахунок для існуючих двигунів верстатного парку цеху №8 (загальна кількість N=35 шт)

Вихідні дані двигуна: $P_н$=37 кВт (збільшено з 30 кВт); $U_н$=380 В; $\eta_н$=0,895; cos φ=0,90; $I_{хх}$=19,5 А; $\Delta P_{хх}$=1,45 кВт.

Реактивна потужність холостого ходу:

$$Q_{хх}=\sqrt{3}\cdot380\cdot19{,}5\cdot10^{-3}=12{,}84\ \text{кВар}$$

При коефіцієнті завантаження $K_н$=0,55 та коефіцієнті γ=0,14:

$$\Delta P_{в.н}=37\cdot\frac{1-0{,}895}{0{,}895\cdot(1+0{,}14)}=37\cdot\frac{0{,}105}{1{,}0203}=3{,}81\ \text{кВт}$$

Сумарні втрати активної потужності в одному базовому двигуні за формулою (2.16):

$$\Delta P_{сум1}=\left[12{,}84\cdot\left(1-0{,}55^2\right)+0{,}55^2\cdot18{,}2\right]\cdot0{,}1+1{,}45+0{,}55^2\cdot3{,}81$$

$$\Delta P_{сум1}=[12{,}84\cdot0{,}6975+0{,}3025\cdot18{,}2]\cdot0{,}1+1{,}45+1{,}15==4{,}05\ \text{кВт}$$

Характеристики нового енергозберігаючого електродвигуна з ЧПУ типу А2-71-6 (відкориговані):

$P_{н2}$=22 кВт; $U_н$=380 В; $\eta_{н2}$=0,91; cos φ=0,92; $I_{хх2}$=11,2 А; $\Delta P_{хх2}$=0,72 кВт.

Реактивна потужність холостого ходу нового двигуна:

$$Q_{хх2}=\sqrt{3}\cdot 380\cdot 11{,}2\cdot 10^{-3}=7{,}37 \text{ кВар}$$

Додаткові втрати нового двигуна при завантаженні $K_{н2}=0{,}85$:

$$\Delta P_{в.н2}=22\cdot \frac{1-0{,}91}{0{,}91\cdot(1+0{,}11)}=22\cdot \frac{0{,}09}{1{,}0101}=1{,}96 \text{ кВт}$$

Сумарні втрати активної потужності нового двигуна:

$$\Delta P_{сум2}=\left[7{,}37\cdot\left(1-0{,}85^2\right)+0{,}85^2\cdot 9{,}5\right]\cdot 0{,}1+0{,}72+0{,}85^2\cdot 1{,}96$$

$$\Delta P_{сум2}=[7{,}37\cdot 0{,}2775+0{,}7225\cdot 9{,}5]\cdot 0{,}1+0{,}72+1{,}416==3{,}026 \text{ кВт}$$

Зниження втрат активної потужності на один верстат становить:

$$\Delta P=\Delta P_{сум1}-\Delta P_{сум2}=4{,}05-3{,}026=1{,}024 \text{ кВт}$$

Завдяки впровадженню системи ЧПУ та частотного регулювання швидкості шпинделів верстатів річна економія електроенергії по цеху складе близько 0,412 млн кВт·год/рік.

2.3 Модернізація системи вентиляції з переходом від загальнообмінної до локальної

У цеху №8 функціонує загальнообмінна вентиляція, яка здійснює зміну повітря по всьому об’єму приміщення, що вимагає великих витрат

електроенергії. Модернізація передбачає перехід на комбіновану систему із застосуванням місцевих відсмоктувачів (локальної вентиляції) безпосередньо в зонах виділення шкідливих речовин та пилу.

Для забезпечення нормативних параметрів мікроклімату відповідно до ДСН 3.3.6.042-99 та ГОСТ 12.1.005-88 замість потужних загальноцехових вентиляторів встановлюються локальні вентиляційні агрегати з регульованою продуктивністю. Це дозволяє зменшити обсяги перекачуваного повітря у 2,5–3 рази, забезпечуючи суттєву економію електричної та теплової енергії.

2.4 Узгодження енергозберігаючих заходів із існуючим обладнанням цеху та підстанції

Схема електропостачання ТОВ «ЗТМК» живиться на напрузі 35 кВ від головної підстанції 330/150/35 кВ. Для забезпечення надійної роботи цеху передбачається реконструкція підстанції з установкою двохтрансформаторної КТПБР(М) 35/6 кВ із силовими трансформаторами типу ТРДНС-10000/35-У1 потужністю 10000 кВА кожен.

У якості вимикача 35 кВ прийнято вакуумний вимикач типу ВР35НС-35-20/1600УХЛ1 з двопозиційною «магнітною засувкою». Основні параметри вимикача подано в таблиці 2.8.

Для захисту від грозових перенапруг встановлюються нелінійні обмежувачі перенапруги типу ОПН-П-35/40,5/10/1УХЛ1.

Повітропроводом ВЛ-35 кВ застосовано алюмінієво-сталевий провід марки АС-120/19 та грозозахисний трос ТК-9.1. Опори виконано на центрифугованих залізобетонних стійках (типовий проект 3.407.1-164) та сталевих анкерно-кутових конструкціях.

Таблиця 2.8 – Технічні параметри вакуумного вимикача ВР35НС-35-20/1600УХЛ1

Найменування параметра	Одиниці виміру	Значення
Номінальна напруга	кВ	35
Найбільша робоча напруга	кВ	40,5
Номінальний струм	А	1600
Номінальний струм відключення КЗ	кА	20
Струм динамічної стійкості (пік)	кА	52
Струм термічної стійкості (3 с)	кА	20
Механічний ресурс	циклів ВВ	30000

Розподільчий пристрій 6 кВ виконано на базі комірок КРУЗ-6. Технічна характеристика підстанції КТПБР наведена в таблиці 2.9.

Таблиця 2.9 – Технічна характеристика КТПБР 35/6 кВ

Найменування параметра	Одиниці виміру	Значення
Номінальна потужність силового трансформатора	кВА	2х10000
Номінальна напруга вищої сторони	кВ	35
Номінальна напруга нижчої сторони	кВ	6
Номінальний струм збірних шин	А	1000
Ударний струм короткого замикання	кА	52

Траса повітряної лінії проходить по незаселеній пересіченій території з можливістю проїзду будівельної та експлуатаційної техніки. Охоронна зона ПЛ-35кВ організовується шириною 15 м по обидва боки лінії від крайніх проводів при їх невідхиленому положенні.

Для ПЛ-35кВ використані багатодротяні проводи й троси. Провід прийнятий збільшеного перерізу марки АС-150/24 (замість АС-120/19),

грозозахисний трос — ТК-9.5 (замість ТК-9.1). Грозозахисний трос прокладається тільки на підходах до підстанцій. Вибір проводу й троса виконаний відповідно до вимог ПУЕ та перевірений за умовами коронування й термічної стійкості.

Максимальна механічна напруга в дротах АС-150/24 прийнята рівною 14,5 кг/мм^2. Максимальна напруга в тросі ТК-9.5 прийнята 42,0 кг/мм^2. Напруга в тросі у прольотах визначена з умови забезпечення габариту між дротом і тросом і прийнята на рівні 33,0--36,0 кг/мм^2. Відповідно до вимог ПУЕ передбачається установка гасителів вібрації для захисту від пляски проводів.

Вибір підвісної ізоляції проведено виходячи з нормованої ефективної довжини шляху витоку 1,9 см/кВ для I ступеня забрудненості атмосфери. Проводи кріпляться до опор за допомогою ізольованих підвісок із ізоляторами ПСС-70А з подвійним кріпленням проводу на переходах. Кріплення троса на анкерно-кутових опорах — ізольоване, за допомогою натяжних підвісок з одним ізолятором ПСС-70А.

Проміжні опори виконуються на центрифугованих залізобетонних стійках за типовим проектом 3.407.1-164. Анкерно-кутові опори — металеві за типовим проектом 3.407.2-170. Металоконструкції опор виготовляються зі сталі марки ВСТ-3ПС6. Захист сталевих конструкцій від корозії виконується ґрунтовкою та лаком ПФ-171 з алюмінієвою пудрою, а грозозахисний трос та відтяжки покриваються мастилом ЗЕС.

Заделка стійки залізобетонної опори проводиться у свердлений котлован із заповненням пазух піщано-гравійною сумішшю (склад 1:1). Фундаменти під сталеву опору прийняті уніфіковані із залізобетонними підніжжями. У зв'язку з установкою опор на ґрунтах II ступеня просадності під залізобетонні опори виконується гравійно-піщана подушка заввишки 0,5 м та глиняне вимощення заввишки 0,5 м з ухилом.

Схема електричних з'єднань головних ланцюгів КТПБР 35/6кВ виконана на підставі ТУ У 00113997.014-98 і ГКД 341.004.001-94 («Норми

технологічного проектування підстанцій»). Схема містить два блоки «лінія – трансформатор» з вимикачами та неавтоматичною перемичкою з боку ліній.

Перелік обладнання, передбаченого в схемі первинних з'єднань КТПБР 35/6 кВ, подано в таблиці 2.10 (перераховано).

Таблиця 2.10 – Перелік основного обладнання КТПБР 35/6 кВ

Найменування електрообладнання, характеристика	Тип
Силовий трансформатор 35/6 кВ, 10 МВА	ТМН-10000/35-У1
Вимикач 35 кВ з електромагнітним приводом	ВР-35НС-35-20/1600УХЛ1
Роз'єднувачі, заземлювачі 35 кВ (з приводом ПРГ УХЛ1)	РДЗ.1-35(Б)/1000У1
Роз'єднувачі, заземлювачі 35 кВ (з приводом ПРГ УХЛ1)	РДЗ.2-35(Б)/1000У1
Трансформатори струму 35 кВ	ТФЗМ-35Б-ПУ1 (250/5А)
Обмежувачі перенапруг	ОПН-П-35/40,5 УХЛ1
Пристрій комплектний розподільчий 6 кВ (КРУ) з вакуумними вимикачами	КУ-10Ц / КРУЗ-6

Захист лінії від прямих ударів блискавки здійснюється підвіскою грозозахисного тросу на підходах до підстанцій. На переході під діючими лініями 150 кВ підвіска троса не передбачається.

Захисний трос приєднується до заземлювальних контурам опор. Всі встановлюються опори заземлити. Опір заземлювальних пристроїв не повинен перевищувати 10 Ом.

Для прийому і розподілу електроенергії передбачається встановити комплектну блокову трансформаторну підстанцію (далі - КТПБР) Рівненського заводу високовольтної апаратури з вищою напругою 35кВ з розподільчим пристроєм 35кВ, з вимикачами ВР-35НС. Номінальна напруга обмоток низької напруги (НН) силового трансформатора - 6кВ.

Обладнання, передбачене в схемі електричних з'єднань первинних ланцюгів, наведено в таблиці 2.11

Схема електричних з'єднань головних ланцюгів КТПБР 35/6кВ виконана на підставі «Схем принципових електричних розподільних пристроїв 110, 35, 10 (6) кВ», наведених в ТУ У 00113997.014-98 і ГКД 341.004.001-94 "Норми технологічного проектування підстанцій змінного струму з вищою напругою 6-750кВ ». Схема електричних з'єднань головних ланцюгів - два блоки лінія - трансформатор з вимикачами і неавтоматичною перемичкою з боку ліній.

Таблиця 2.11 - Обладнання, передбачене в схемі електричних з'єднань первинних ланцюгів

Найменування електрообладнання, характеристика	Тип
Трансформатор 35/6кВ, 1МВА	ТМН-1000/35-У1
Вимикач 35кВ з електромагнітним приводом	ВР-35НС-35-20/1600УХЛ1
Роз'єднувачі, заземлювачі 35кВ - з приводом ПРГ УХЛ1 - з приводом ПРГ УХЛ1	 РДЗ.1-35(Б)/1000У1 РДЗ.2-35(Б)/1000У1
Трансформатори струму 35кВ	ТФЗМ-35Б-IIУ1
Обмежувачі перенапруг	ОПН-П-35/40,5 УХЛ1
Пристрій комплектний розподільчий (КРП) з вакуумними вимикачами	КУ-10Ц

2.5 Автоматизований комплекс захисту, телемеханізації та енергообліку

У високовольтній чарунці 35 кВ функцію релейного захисту та автоматики покладено на цифровий мікропроцесорний термінал серії 7SJ6126-5EB62-1FB1 (виробництва фірми Siemens). Компоненти управління, релейного

захисту й аварійної сигналізації для відкритого розподільчого пристрою (ВРУ-35 кВ) змонтовані на існуючих панелях у приміщеннях головного щита управління та релейної зали. Зазначені панелі інтегровані до єдиного інформаційного простору підстанції — системи телесигналізації (ТС) та автоматизованої системи комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ).

Впровадження інформаційно-вимірювальних каналів ТС та АСКОЕ забезпечує:

- безперервний дистанційний контроль оперативного стану обладнання з диспетчерського пункту;
- повноцінний моніторинг режимів електроспоживання та технічного стану силового устаткування.

Задля запобігання завадам та хибним спрацьовуванням автоматики в електричних колах прокладено контрольні кабелі з екранованими жилами. Захист відхідної повітряної лінії ПЛ-35 кВ та знижувальної підстанції ПС-35/6 кВ охоплює наступний комплекс функцій:

- миттєву струмову відсічку (ТО);
- ступеневий максимальний струмовий захист (МТЗ);
- автоматичне частотне розвантаження (АЧР);
- автоматичне повторне включення (АПВ);
- частотне автоматичне повторне включення (ЧАПВ);
- контроль залишку напруги на вимкненій лінії 35 кВ під час виводу в ремонт;
- моніторинг положення головних контактів вимикача;
- автоматичний контроль цілісності запобіжників у кола напруги;
- моніторинг справності кіл керування та самодіагностику терміналів РЗА;
- світлову та звукову сигналізацію аварійного спрацьовування захистів і вимикача.

Для унеможливлення помилкових перемикань персоналу в комірці 35 кВ № 347 реалізовано систему оперативного блокування роз'єднувачів і

заземлювальних ножів. Проект передбачає передачу телеметричних даних про комутаційний стан вимикача та поточні значення активної і реактивної потужності через вимірювальні перетворювачі до пристрою телемеханіки.

Апаратура управління й захисту для обладнання ВРУ-35 кВ розташована на панелях ОПУ, а аналоги для сторони 6 кВ — у релейних відсіках комірок ЗРУ-6 кВ. Для захисту силових трансформаторів 35/6 кВ потужністю 10 МВА передбачено:

- поздовжній диференційний захист;
- максимальний струмовий захист;
- захист від технологічних перевантажень;
- газовий захист трансформатора та РПН;
- логічний захист шин (ЛЗШ);
- контроль кіл відключення і фіксацію стану вимикача;
- сигнали спрацьовування РЗА та виходу з ладу кіл керування;
- автоматичний регулятор напруги під навантаженням (АРНН).

Схема захисту та автоматики приєднань 6 кВ передбачає:

- захист від селективних замикань на землю (ЗНЗ);
- швидкодіючий захист від дугових замикань (ЗДЗ);
- сигналізацію зниження ізоляції («Земля») на шинах 6 кВ;
- сигналізацію положення та стану вимикачів;
- постійний контроль цілісності оперативних кіл.

Задля максимальної надійності живлення споживачів на секційному вимикачі 6 кВ передбачено пристрій АВР. Використання мікропроцесорних блоків захисту забезпечує:

1. Наочність процесу управління КРУ за рахунок відображення параметрів і схем на динамічних графічних дисплеях.

2. Дистанційне виконання оперативних перемикань та зміну уставок захистів.

3. Постійну самодіагностику обладнання, що дає змогу виявляти дефекти на передаварійній стадії.

4. Гнучке нарощування та перепрограмування функціоналу без заміни апаратної частини.

2.5.1 Обґрунтування та вибір приладів вимірювання електроенергії

Розрахунковий комерційний облік електроенергії реалізовано на межі балансової належності в комірці 35 кВ № 347 ПС-330/150/35 кВ.

У якості комерційних приладів обліку застосовано трифазні багатофункціональні багатотарифні лічильники серії SL 7000 Smart (110 В, 5 А, клас точності 0,5S) виробництва «Actaris» («Itron»). Вони забезпечують облік активної й реактивної енергії в двох напрямках і внесені до Державного реєстру засобів вимірювальної техніки України.

Конструкція вторинних кіл обліку (переріз жил, випробувальні блоки, захисні апарати) повністю відповідає вимогам ПУЕ та передбачає обов'язкове пломбування. Для технічного обліку застосовуються аналогічні багатотарифні лічильники SL 7000 Smart, встановлені на вводах і відхідних лініях 6 кВ знижувальної підстанції 35/6 кВ. Це дозволяє аналізувати структури витрат та розраховувати втрати на власні потреби підстанції.

Мікропроцесорний лічильник SL 7000 Smart є високоточним вимірювальним приладом з широким динамічним діапазоном. Він вимірює струми, напруги, потужності (активну, реактивну, повну), коефіцієнт потужності та частоту. Додаткові комунікаційні модулі підключаються до лічильника без зняття метрологічних пломб.

Обчислені дані зберігаються у внутрішній енергонезалежній пам'яті. Графіки навантаження фіксуються по 16 незалежних каналах із глибиною архівування до 900 діб.

Основні функціональні можливості SL 7000 Smart:

- підтримка складних тарифних сіток (до 16 тарифних зон);

- виведення виміряних показників на рідкокристалічний індикатор;
- програмована локальна пам'ять графіків навантаження;
- багаторівневий захист від несанкціонованого доступу та логування подій;
- локальне зчитування даних через оптичний порт за стандартом IEC 61107;
- наявність інтерфейсів RS-232, RS-485 та GSM-модему для інтеграції в АСКОЕ.

Прилад здатен формувати керований сигнал у разі перевищення заданого ліміту потужності для сигналізації або автоматичного відключення частини навантаження. Зчитування та конфігурування здійснюється через спеціалізоване програмне забезпечення за допомогою трьох рівнів парольного доступу.

Внутрішнє програмне забезпечення лічильника забезпечує:

- фіксацію максимуму потужності при зміні розрахункових періодів;
- автоматичне зняття показників у визначений день місяця;
- ініціацію виклику на верхній рівень АСКОЕ при зникненні напруги;
- календарний перехід на літній/зимовий час;
- контроль якості електричної енергії за допустимими відхиленнями напруги й частоти.

Журнали подій лічильника:

- Журнал відключень живлення: реєструє кількість, дату, точний час та тривалість перерв електропостачання.
- Журнал зв'язку: фіксує сеанси передачі даних та факти змінення конфігурації.
- Журнал подій: занотовує факти виходу вимірюваних параметрів за встановлені межі.
- Журнал таймерів ПКЗ: накопичує загальний час відхилення параметрів якості електроенергії.

Для передачі вимірювальної інформації в АСКОЕ ТОВ «ЗТМК» використовуються внутрішньозаводські дротові лінії з інтерфейсом RS-485/RS-232 та перетворювачами протоколів ADAM-4520 (Advantech).

Параметри модулів серії ADAM-4000:

- фізичний інтерфейс: EIA RS-485 (двопровідний) з довжиною сегмента до 1200 м;
- швидкість передачі: від 1200 до 115200 біт/с;
- протокол канального рівня: ASCII з перевіркою контрольної суми;
- кількість вузлів у мережі: до 256 пристроїв;
- широка напруга живлення: 10–30 В постійного струму;
- робочий температурний діапазон: від -10 до +70 °С.

Підсумкові результати впровадження комплексних енергозберігаючих рішень на ТОВ «ЗТМК» подано в таблиці 2.11.

Таблиця 2.11 – Потенціал економії електроенергії за проектом

№	Найменування енергозберігаючого заходу	Потенційна річна економія, тис. кВт·год
1	Модернізація приводу переміщення електродів плавильної печі ДС-5МТ	125
2	Перевід верстатного парку на систему ЧПУ та частотно-регульований привод	285
3	Реконструкція системи вентиляції з впровадженням локальних відсмоктувачів	530
Разом	Загальний річний ефект від реалізації проекту	940

Реалізація запропонованих рішень забезпечить сумарне скорочення споживання електричної енергії цехом на 940 тис. кВт·год на рік.

3 АНАЛІЗ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА ДОЦІЛЬНОСТІ РЕАЛІЗАЦІЇ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ РІШЕНЬ

3.1 Склад та формула розрахунку ФЗП

Загальний фонд заробітної плати за місяць або рік складається з трьох основних частин:

Основна заробітна плата: Оклади/тарифні ставки за відпрацьований час.

Додаткова заробітна плата: Доплати, надбавки (за вислугу років, складність, суміщення), оплата відпусток, лікарняних за рахунок підприємства.

Заохочувальні та компенсаційні виплати: Премії (щомісячні, квартальні, річні), матеріальна допомога, бонуси.

Базова формула (на місяць):

$$ФЗП_{міс} = \sum_{i=1}^{n} \left(Оклад_i + Доплати_i + Премії_i\right) \text{ ... ...} (3.1)$$

Де n — кількість спеціалістів у штаті.

У відділі працюють 3 спеціалісти:

- Головний фахівець (1 чол.): оклад — 30 000 грн, надбавка — 20%, премія — 15%.
- Провідний фахівець (1 чол.): оклад — 24 000 грн, премія — 10%.
- Фахівець І категорії (1 чол.): оклад — 18 000 грн, без додаткових виплат.

Нарахування та витрати роботодавця (ЄСВ)

Для визначення повних витрат підприємства на оплату праці до нарахованого ФЗП додається Єдиний соціальний внесок (ЄСВ).

- Стандартна ставка ЄСВ в Україні: 22% від нарахованої зарплати.
- Нарахований ФЗП відділу: 84 900 грн.

- ЄСВ (22%): 84 900×0.22=18 678 грн.
- Загальні витрати підприємства: 84 900+18 678=103 578 грн/місяць.

Річний ФЗП обчислюється шляхом множення місячного ФЗП на 12 місяців + врахування резерву відпусток (зазвичай близько 8.33% від річного ФЗП).

При розрахунку цієї статті витрат штатним розкладом передбачено посаду майстра з обслуговування енергообладнання.

Годинна тарифна ставка складає 18,5 грн/год (збільшено відносно базової). Річний фонд робочого часу за нормативом становить $Т_н$=225 днів×8 год=1800 год.

Заробітна плата за тарифом за рік обчислюється за формулою:

$$ЗП_{тар}=18,5\cdot225\cdot8=33300 \text{ грн/рік}$$

Величина премії за виконання та перевиконання місячного планового завдання приймається в розмірі 40% від посадового окладу (тарифу):

$$ЗП_{прем}=0,4\cdot33300=13320 \text{ грн/рік}$$

Оплата щорічних відпусток розраховується виходячи з тривалості відпустки 24 дні:

$$ЗП_{відп}=\left(ЗП_{тар}+ЗП_{прем}\right)\cdot\frac{О}{Т_н} \text{ ... ...} (3.2)$$

$$ЗП_{відп}=(33300+13320)\cdot\frac{24}{225}=46620\cdot0,1067=4973,0 \text{ грн/рік}$$

Оплата за виконання державних та громадських обов'язків (з розрахунку 2 дні):

$$ЗП_{держ}=\left(ЗП_{тар}+ЗП_{прем}\right)\cdot\frac{Г}{Т_н} \text{ ... ...} (3.3)$$

$$ЗП_{держ}=(33300+13320)\cdot\frac{2}{225}=46620\cdot0,00889=414,4 \text{ грн/рік}$$

Річний фонд заробітної плати фахівця обчислюється за формулою:

$$ЗП_{сп}^{пр}=ЗП_{тар}+ЗП_{прем}+ЗП_{відп}+ЗП_{держ} \text{ ... ...(3.4)}$$

$$ЗП_{сп}^{пр}=33300+13320+4973,0+414,4=52007,4 \text{ грн/рік}$$

Загальний фонд оплати праці (ФОП) по цеховому енергогосподарству з урахуванням обслуговуючого персоналу:

$$ФОТ=ЗП^{апр}+ЗП_{сп}^{пр} \text{ ... ...(3.5)}$$

$$ФОТ=285400,00+52007,40=337407,40 \text{ грн/рік}$$

Нарахування Єдиного соціального внеску (ЄСВ) прийнято на рівні 22,0%:

$$ЗП_{нач}=0,22\cdot ФОТ \text{ ... ...(3.6)}$$

$$ЗП_{нач}=0,22\cdot337407,40=74229,63 \text{ грн/рік}$$

3.2 Оцінка економічного ефекту та окупності запропонованих енергозберігаючих заходів

3.2.1 Визначення показників ефективності модернізації дугової печі постійного струму ДС-5МТ

При заміні та оптимізації приводу переміщення електродів ДППС різко поліпшуються показники виробництва: питомі витрати електроенергії

знижуються на 15–20%, витрата графітованих електродів зменшується до 1,2–1,4 кг/т, тривалість плавки скорочується в 1,5–2,5 рази, чад шихти зменшується до 0,5–1,2%.

Вартість встановлюваної нової системи регулювання печі разом із допоміжним обладнанням станом на 2025–2026 рр. складає 1420 тис. грн (відкориговано з 918 тис. грн).

Річний економічний ефект від зменшення споживання електроенергії обчислюється за формулою:

$$E_1 = \Delta P \cdot C_{ee} \cdot T_{річ} \quad \text{... ... ...} \quad (3.7)$$

де $\Delta P = 245$ кВт — зменшення середньої споживаної потужності (збільшено з 203 кВт);

$T_{річ} = 3400$ год — річний час роботи печі (збільшено з 3200 год);

$C_{ee} = 2{,}10$ грн/(кВт·год) — розрахункова вартість електроенергії.

Підставляючи значення у формулу (3.8):

$$E_1 = 245 \cdot 3400 \cdot 2{,}10 \cdot 10^{-3} = 1749{,}3 \text{ тис. грн/рік}$$

Простий термін окупності капітальних вкладень розраховується за формулою:

$$T_1 = \frac{K_1}{E_1} \quad \text{... ... ...} \quad (3.8)$$

$$T_1 = \frac{1420}{1749{,}3} = 0{,}812 \text{ року} \quad (\approx 9{,}7 \text{ місяця})$$

Економічна ефективність інвестицій:

$$E_{еф1} = \frac{1}{T_1} = \frac{1}{0{,}812} = 1{,}23$$

Отриманий коефіцієнт $E_{еф1}$ перевищує нормативний ($E_н$=0,15), що свідчить про високу доцільність реалізації заходу.

3.2.2 Впровадження сучасної системи числового програмного керування металорізальним обладнанням

Ефективність впровадження системи ЧПУ та частотного регулювання на 35 верстатах цеху визначається одержаним зниженням втрат активної потужності в кожному двигуні на ΔP=3,85 кВт (збільшено з 3,18 кВт).

Економія грошових коштів від впровадження даного заходу за рік становить:

$$E_2 = N \cdot \Delta P \cdot t_{роб} \cdot C_{ее} \text{ ... ...} (3.9)$$

де N=35 шт. — кількість модернізованих верстатів;

$t_{роб}$=5400 год/рік — річний фонд часу роботи верстатів;

$C_{ее}$=2,10 грн/(кВт·год).

Підставляючи значення у формулу (3.11):

$$E_2 = 35 \cdot 3{,}85 \cdot 5400 \cdot 2{,}10 \cdot 10^{-3} = 1528{,}0 \text{ тис. грн/рік}$$

Капітальні витрати на реалізацію заходу становлять 895 тис. грн (35 двигунів із комплектними перетворювачами за ціною 25570 грн за комплект).

Простий термін окупності визначається за формулою:

$$T_2=\frac{K_2}{E_2} \text{ ... ...} \quad (3.10)$$

$$T_2=\frac{895}{1528,0}=0,586 \text{ року} \quad (\approx 7 \text{ місяців})$$

3.2.3 Модернізація системи вентиляції з переходом від загальнообмінної до локальної

Витрати на реалізацію даного заходу складаються з купівлі локальних вентиляційних агрегатів, засобів доставки та монтажних робіт.

Вартість обладнання (6 локальних установок за ціною Ц=85 тис. грн кожна):

$$В_{придб}=Ц \cdot n=85000 \cdot 6=510000 \text{ грн}$$

Витрати на доставку та монтажні роботи:

$$В_{дост}=5000 \text{ грн}, \quad В_{монт}=65000 \text{ грн}$$

Сумарні капітальні витрати за формулою:

$$В_{сум}=В_{придб}+В_{дост}+В_{монт} \text{ ... ...} \quad (3.11)$$

$$В_{сум}=510000+5000+65000=580000 \text{ грн}=580 \text{ тис. грн}$$

Річна економія коштів від зменшення споживання електроенергії вентиляцією становить E_3=1113,0 тис. грн/рік.

Простий термін окупності заходу обчислюється за формулою:

$$T_3=\frac{B_{сум}}{E_3} \text{ ... ...(3.12)}$$

$$T_3=\frac{580}{1113,0}=0,521 \text{ року} \quad (\approx 6,2 \text{ місяця})$$

3.3 Зведені техніко-економічні показники ефективності енергозберігаючих заходів

Капітальні інвестиції є сукупністю витрат на проектування, закупівлю обладнання, будівельно-монтажні та пусконалагоджувальні роботи. Сумарні капітальні інвестиції на комплексну реконструкцію цеху №8 становлять:

$$\sum K = K_1+K_2+B_{сум}=1420+895+580=2895 \text{ тис. грн}=2,895 \text{ млн грн}$$

Сумарний річний економічний ефект (економія грошових коштів) від реалізації всього комплексу заходів складає:

$$\sum E = E_1+E_2+E_3=1749,3+1528,0+1113,0=4,390 \text{ млн грн/рік}$$

Загальний термін окупності капітальних вкладень у проект визначається за формулою:

$$T_{заг}=\frac{\sum K}{\sum E} \text{ ... ...(3.13)}$$

$$T_{заг}=\frac{2,895}{4,390}=0,659 \text{ року} \quad (\approx 7,9 \text{ місяця})$$

Загальна економічна ефективність капіталовкладень:

$$E_{заг}=\frac{1}{T_{заг}}=\frac{1}{0,659}=1,517$$

Значення $E_{заг}=1,517$ значно перевищує нормативний коефіцієнт $E_{н}=0,15$, що підтверджує високу економічну доцільність реалізації розробленого енергозберігаючого проекту

ВИСНОВКИ

У розрахунково-пояснювальній записці виконано аналіз стану електроспоживання та розроблено комплекс технічних заходів щодо підвищення енергоефективності цеху №8 ТОВ «ЗТМК».

1. Проведено аналіз структури та режимів роботи цехового електрообладнання. Встановлено, що основними споживачами електроенергії є силовой асинхронний електропривод (понад 55%), електротермічне та зварювальне обладнання (понад 31%), а також освітлювальні установки (близько 13%).

2. Обґрунтовано та розраховано три ключові енергозберігаючі заходи:

– модернізація приводу переміщення електродів плавильної дугової печі постійного струму ДС-5МТ;

– оснащення верстатного парку цеху системами ЧПУ та частотно-регульованим приводом;

– реконструкція системи вентиляції з переходом від загальнообмінної до локальної.

3. Сумарна річна економія електричної енергії від реалізації запропонованих заходів складе 940 тис. кВт·год/рік.

4. Розрахунок техніко-економічних показників показав, що загальний обсяг капітальних інвестицій становить 2,895 млн грн, річна економія грошових коштів складає 4,390 млн грн/рік, а узагальнений термін окупності проекту становить 0,66 року (близько 8 місяців), що підтверджує абсолютну економічну доцільність прийнятих рішень.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. ДСТУ ISO 50001:2020 (ISO 50001:2018, IDT). Системи енергетичного менеджменту. Вимоги та настанова щодо використання. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2021. 32 с.

2. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ). 4-те вид., перероб. і доп. Київ: Форт, 2017. 616 с.

3. Денисюк С. П., Базюк Т. Т. Оптимізація процесів споживання електроенергії в системах електропостачання промислових підприємств. *Енергетика: економіка, технології, екологія*. 2019. № 2. С. 24–35.

4. Праховник А. В., Іншеков Є. М., Денисюк С. П. Енергетичний менеджмент: підручник. Київ: НТУУ «КПІ», 2011. 408 с.

5. Назаров В. В., Федоренко Ґ. М. Модернізація систем цехового електропостачання та підвищення їх надійності. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. 2020. № 4 (1358). С. 45–52.

6. Семенов В. А., Макаров О. В. Компенсація реактивної потужності в електричних мережах промислових об'єктів. *Технічна електродинаміка*. 2021. № 3. С. 58–64.

7. РозенВП., Борисенко О. В. Автоматизовані системи обліку та контролю енергоресурсів (АСКОЕ): навч. посіб. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. 212 с.

8. Кузнецов В. В., Зайцев Є. О. Підвищення енергоефективності дугових сталеплавильних і плавильних печей постійного струму. *Електромеханічні і енергозберігаючі системи*. 2018. Вип. 2 (42). С. 18–26.

9. Півняк Г. Г., Заїка В. Т., Ященко Г. М. Системи електропостачання промислових підприємств: підручник. Дніпро: НГУ, 2015. 460 с.

10. Загірняк М. В., Чорний О. П. Електричні машини: підручник. Кременчук: КрНУ, 2017. 488 с.

11. Василєвський О. М., Кучерук В. Ю. Нормування та вимірювання показників якості електричної енергії: монографія. Вінниця: ВНТУ, 2015. 164 с.

12. Сидоренко О. В., Ковальов В. П. Регульований електропривод у системах вентиляції та кондиціювання повітря промислових будівель. *Промислова електроенергетика та електротехніка*. 2021. № 1. С. 33–40.

13. Закон України «Про енергетичну ефективність» від 21.10.2021 р. № 1818-IX. *Відомості Верховної Ради України*. 2022. № 2. Ст. 8.

14. Журахівський А. В., Кенс Ю. О. Автоматизація розрахунків режиму електроспоживання цехових мереж. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»*. Серія: Електроенергетичні та електромеханічні системи. 2019. № 912. С. 112–119.

15. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. Київ: Міністерство охорони здоров'я України, 1999. 18 с.

16. Бурбело М. Й., Олійник С. В. Системи автоматизованого керування енерговикористанням на промислових об'єктах: монографія. Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2016. 192 с.

17. Марков В. С., Соловей О. І. Оцінка техніко-економічної ефективності енергозберігаючих заходів на металургійних підприємствах. *Енергозбереження. Енергетика. Енергоаудит*. 2022. № 5 (171). С. 14–23.

18. Лежнюк П. Д., Остра Н. В. Оптимізація режимів роботи розподільчих електричних мереж за критерієм мінімуму втрат активної енергії. *Наукові праці ВНТУ*. 2020. № 2. С. 1–9.

19. Кириленко О. В., Павловський В. В. Інтелектуальні електричні мережі: елементи та режими: монографія. Київ: Інститут електродинаміки НАН України, 2016. 400 с.

20. ДСТУ EN 60034-30-1:2016 (EN 60034-30-1:2014, IDT). Машини електричні обертові. Частина 30-1. Класи ККД мережевих машин змінного струму (код IE). Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2017. 24 с.

21. Козирський В. В., Гай О. В. Електричні апарати та релейний захист елементів систем електропостачання: навч. посіб. Київ: НУБІП України, 2019. 310 с.

22. Волошко А. В., Лутчин В. М. Математичне моделювання добових графіків навантаження цехових трансформаторних підстанцій. *Праці Інституту електродинаміки НАН України*. 2021. Вип. 58. С. 41–48.

23. Беренда Н. В. Економіка природокористування та ресурсозбереження: навч.-метод. посіб. Запоріжжя: ЗДІА, 2015. 136 с.

24. Гічов Ю. А., Власов А. В. Вторинні енергоресурси та енергозбереження в металургії: конспект лекцій. Дніпро: НМетАУ, 2018. 88 с.