**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 Підвищення енергоефективності роботи нагрівального обладнання

Виконав: студент 4 курсу 6.1413-с2-2
спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(код і назва спеціальності)
спеціалізації _____
(код і назва спеціалізації)
освітньої програми Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(назва освітньої програми)
Шпигун М.О.
(ініціали та прізвище)

Керівник д.т.н., проф. Биковський О.Г.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)
Рецензент к.т.н., доц. Башлій С.В.
(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

_____Шпигуну Микиті Олексійовичу_____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи Підвищення енергоефективності роботи нагрівального обладнання
2 керівник роботи ___Биковський О.Г..д.т.н., проф._____
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ЗНУ від «_23_»_грудня__2025__року №_1833 - с_____
3 Строк подання студентом роботи _____11 червня 2026 р._____
4 Вихідні дані до роботи: найбільшими споживачами електричної енергії є термічні печі, апарати зварювання, електродвигунне навантаження верстатів, освітлення та вентиляція.
Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1) Дослідження перспектив реалізації енергоощадних заходів на тов «ЗТМК»2) Розроблення та впровадження заходів з підвищення ефективності електроспоживання цеху № 11 ТОВ «ЗТМК» 3) Техніко-економічне обґрунтування впровадження енергозберігаючих заходів.
5 Перелік графічного матеріалу _1) Аналіз електроспоживання цеху 2) Схема однолінійна 3) План розміщення обладнання цеху 4) Техніко-економічні показники підвищення ефективності електроспоживання цеху.

6 Консультанти розділів роботи

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата | |
|---|---|---|---|
| | | завдання видав | завдання прийняв |
| Розділ 1 | Биковський О.Г. д.т.н. проф | | |
| Розділ 2 | Биковський О.Г. д.т.н. проф | | |
| Розділ 3 | Биковський О.Г. д.т.н. проф | | |

7 Дата видачі завдання 01.02.2026 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів кваліфікаційної роботи | Строк виконання етапів роботи | Примітка |
|---|---|---|---|
| 1 | Дослідження перспектив реалізації енергоощадних заходів на тов «ЗТМК» | 01.03.2026 | |
| 2 | Розроблення та впровадження заходів з підвищення ефективності електроспоживання цеху № 11 ТОВ «ЗТМК» | 01.04.2026 | |
| 3 | Техніко-економічне обґрунтування впровадження енергозберігаючих заходів. | 10.05.2026 | |

*Студент* _____ М. О. Шпигун
(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник роботи _____ О.Г.Биковський
(підпис) (ініціали та прізвище)

**Нормоконтроль пройдено**

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

# РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка містить 112 сторінок, 2 рисунки, 22 таблиці, 20 джерел.

Темою дипломного проекту є «Підвищення енергоефективності роботи нагрівального обладнання»

Об’єктом дослідження є ТОВ «ЗТМК» — промислове підприємство, виробнича діяльність якого характеризується значним споживанням енергетичних ресурсів. Предмет дослідження охоплює напрями підвищення енергоефективності підприємства, а також оцінювання технічної та економічної доцільності впровадження сучасних енергозберігаючих технологій. Метою дипломного проєкту є підвищення ефективності електроспоживання цеху № 11 ТОВ «ЗТМК» шляхом розроблення та обґрунтування комплексу технічних заходів, спрямованих на раціональне використання електричної енергії та скорочення її втрат.

У загальній частині роботи виконано розрахунок втрат потужності й електроенергії в системі електропостачання цеху. На підставі отриманих результатів запропоновано заміну недовантажених асинхронних двигунів електродвигунами меншої номінальної потужності, перехід на більш ефективні джерела освітлення та компенсацію реактивної потужності. Крім того, обґрунтовано доцільність упровадження автоматизованої системи контролю й обліку енергоспоживання на основі багатотарифних лічильників, а також реконструкції трансформаторної підстанції з оптимізацією режимів роботи силових трансформаторів.

В економічній частині проведено оцінювання ефективності запропонованих енергозберігаючих заходів. Для кожного проєкту визначено основні фінансово-економічні показники, зокрема чисту теперішню вартість, внутрішню норму рентабельності та строк окупності. Результати розрахунків дають змогу оцінити інвестиційну привабливість запропонованих рішень і підтвердити доцільність їх практичного впровадження.

ЕЛЕКТРОУСТАНОВКА, ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, АСИНХРОННИЙ ДВИГУН, КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ, ТЕРМІН ОКУПНОСТІ

ЗМІСТ

Вступ…… 6

1. ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРСПЕКТИВ РЕАЛІЗАЦІЇ ЕНЕРГООЩАДНИХ ЗАХОДІВ НА ТОВ «ЗТМК»……..…13

1.1 Загальна характеристика підприємства як об’єкта дослідження……..13

1.2 Огляд споживачів електроенергії підприємства ……...23

1.3 Аналіз електроспоживання підприємства……..28

1.3.1. Характеристика встановлених електроприймачів та електроустановок цеху №11 ТОВ «ЗТМК»……28

1.3.2. Динаміка споживання електричної енергії у 2024–2025 роках……32

1.4 Можливості енергозбереження в цеху №11…….36

1.4.1. Використання енергозберігаючих електродвигунів ….....37

1.4.2. Обґрунтування доцільності застосування компенсації реактивної потужності ……41

1.4.3 Перехід на більш ефективні джерела світла ……...48

1.4.4 Обґрунтування доцільності застосування АСКОЕ на підприємстві…….…..50

1.4.5 Обґрунтування доцільності заміни індукційної плавильної печі на дугову постійного струму ……..…….54

2 РОЗРОБЛЕННЯ ТА ВПРОВАДЖЕННЯ ЗАХОДІВ З ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ ЦЕХУ № 11 ТОВ «ЗТМК»…58

2.1 Модернізація плавильного обладнання шляхом заміни індукційної печі дуговою піччю постійного струму…….58

2.1.1 Розрахунок параметрів системи електропостачання дугової печі постійного струму…….58

2.1.2 Вибір дугової печі постійного струму ……63

2.2 Впровадження системи керування швидкості обертання шпинделів металорізальних верстатів…….....66
2.3 Модернізація системи вентиляції з переходом від загальнообмінної до локальної ……70
2.4 Узгодження заходів з існуючим обладнанням цеху ……...71
2.5 Автоматизована система контролю та обліку енергоспоживання…….81
2.5.1 Вибір засобів вимірювання споживання електричної енергії……..87
3 Техніко-економічне обґрунтування впровадження енергозберігаючих заходів…….....97
3.1 Розрахунок фонду заробітної плати спеціалістів ……97
3.2 Техніко-економічна оцінка ефективності енергозберігаючих заходів……..……..99
3.2.1 Економічна ефективність заміни індукційної плавильної печі на дугову піч постійного струму ……..…99
3.2.2 Впровадження системи керування швидкості обертання шпинделів металорізальних верстатів ……..……...……101
3.2.3 Модернізація системи вентиляції з переходом від загальнообмінної до локальної ……....102
3.3 Загальні техніко-економічні показники впровадження енергозберігаючих заходів ……104
Висновки…….……..….....108
Перелік посилань……..……109

# ВСТУП

Проблема раціонального використання паливно-енергетичних ресурсів є однією з найбільш актуальних для сучасного суспільства. Зростання обсягів виробництва, розвиток промисловості, підвищення рівня автоматизації технологічних процесів і збільшення кількості електротехнічного обладнання зумовлюють постійне підвищення потреби в електричній і тепловій енергії. Водночас запаси традиційних енергетичних ресурсів поступово скорочуються, а їх видобування, транспортування та перероблення стають складнішими, дорожчими й небезпечнішими для навколишнього середовища.

Для України питання енергозбереження має особливе стратегічне значення. Обмеженість власної ресурсної бази, висока енергоємність промислового виробництва, зношеність основних фондів і залежність окремих галузей економіки від постачання енергоносіїв посилюють необхідність підвищення ефективності використання енергетичних ресурсів. Відновлювані та альтернативні джерела енергії поступово набувають поширення, однак на сучасному етапі вони ще не можуть повною мірою забезпечити потреби промислових підприємств. За таких умов одним із найважливіших напрямів розвитку економіки стає скорочення непродуктивних витрат енергії та впровадження сучасних енергоощадних технологій.

У світовій енергетиці простежується стійка тенденція до збільшення обсягів виробництва і споживання енергії, передусім електричної. Навіть за умов структурної перебудови промисловості, модернізації технологічного обладнання та переходу до менш енергоємних виробничих процесів потреба в електричній і тепловій енергії в найближчій перспективі залишатиметься значною. У зв’язку із цим у більшості держав енергозбереження та підвищення

енергоефективності визначені як пріоритетні напрями державної енергетичної політики.

Підвищення ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів у промисловості дає змогу не лише скоротити обсяги енергоспоживання, а й знизити собівартість продукції, підвищити конкурентоспроможність підприємств, зменшити навантаження на енергетичну систему та скоротити негативний вплив виробництва на довкілля. Тому одним із ключових завдань державної політики України є забезпечення належного рівня енергоефективності національної економіки як важливої передумови енергетичної безпеки, економічної стабільності та незалежності держави.

Важливе значення у розв'язанні цієї проблеми має збереження та ефективне використання інтелектуального, наукового й інженерного потенціалу країни. Розроблення сучасних технічних рішень, упровадження автоматизованих систем контролю і керування енергоспоживанням, модернізація електротехнічного обладнання та застосування енергоощадних технологій потребують залучення кваліфікованих фахівців. Водночас необхідним є формування економічних умов, за яких інноваційні розробки будуть затребуваними промисловими підприємствами та матимуть практичне застосування.

У процесі впровадження енергозберігаючих заходів на промисловому підприємстві головною стратегічною метою є підвищення енергетичної ефективності виробництва. Потенціал енергозбереження підприємства можна розглядати як сукупність взаємопов'язаних поточних і перспективних можливостей щодо скорочення енергетичних витрат. Він охоплює технічні, організаційні, економічні, інформаційні та кадрові ресурси, а також здатність керівництва й персоналу підприємства ефективно використовувати наявні можливості для зниження питомого енергоспоживання.

Реалізація потенціалу енергозбереження передбачає проведення систематичного аналізу структури енергоспоживання, визначення найбільш енергоємного обладнання, виявлення непродуктивних втрат і розроблення обґрунтованих заходів щодо їх скорочення. Важливими складовими цього процесу є енергетичний аудит, облік і контроль споживання енергоресурсів, нормування витрат енергії, оптимізація режимів роботи обладнання, модернізація систем електропостачання та впровадження автоматизованих систем енергетичного менеджменту.

Сучасний розвиток техніки й технологій створює широкі можливості для раціонального використання енергетичних ресурсів. Проте на рівні окремих підприємств питанням енергозбереження не завжди приділяється достатня увага. Реалізація енергоефективних проєктів часто ускладнюється недостатністю фінансових ресурсів, високою вартістю нового обладнання, нестабільністю тарифів на енергоносії, дефіцитом кваліфікованих працівників і відсутністю належної мотивації персоналу.

Крім того, істотною проблемою залишається недостатня ефективність організаційно-економічних механізмів управління енергоспоживанням. На багатьох підприємствах відсутня комплексна система планування, контролю та оцінювання результативності енергозберігаючих заходів. Тому управління інноваційним розвитком систем енергозбереження має ґрунтуватися на поєднанні технічних рішень, економічного стимулювання, належного фінансового забезпечення та організаційної відповідальності працівників за ефективне використання енергетичних ресурсів.

Основний потенціал енергозбереження промислового підприємства зосереджений безпосередньо у процесах споживання та перетворення енергії. Особливо це стосується електричної енергії, оскільки значна її частина використовується електричними двигунами, трансформаторами,

нагрівальними установками, вентиляційними системами, насосами, компресорами та іншим технологічним обладнанням. Неефективні режими роботи таких споживачів, їх недовантаження або перевантаження, низький коефіцієнт потужності, незадовільна якість електроенергії та зношеність обладнання призводять до збільшення втрат і погіршення техніко-економічних показників підприємства.

Вагомим напрямом енергозбереження є скорочення втрат у системах електропостачання, проміжних перетворювальних ланках і безпосередньо в електроприймачах. Зменшення таких втрат може бути досягнуте шляхом оптимізації завантаження трансформаторів, компенсації реактивної потужності, вирівнювання графіків навантаження, застосування частотно-регульованих електроприводів, заміни застарілого обладнання, автоматизації керування технологічними процесами та вдосконалення систем обліку електроенергії.

Важливим є не лише скорочення загального обсягу споживання енергії, а й забезпечення раціонального режиму її використання. Для цього необхідно враховувати особливості технологічного процесу, режим роботи підприємства, характер навантаження, технічний стан електрообладнання та можливість регулювання його продуктивності. Комплексний підхід до енергозбереження дає змогу узгодити виробничі потреби підприємства з необхідністю мінімізації витрат енергетичних ресурсів.

У роботі проводиться аналіз структури та режимів електроспоживання ТОВ «ЗТМК», визначаються основні споживачі електричної енергії та оцінюються можливі джерела її непродуктивних витрат. На підставі отриманих результатів розробляються технічні й організаційні заходи, спрямовані на підвищення енергоефективності підприємства, скорочення

втрат електроенергії та оптимізацію режимів роботи електротехнічного обладнання.

Окрему увагу в роботі приділено техніко-економічному обґрунтуванню запропонованих рішень. Оцінювання ефективності енергозберігаючих заходів має здійснюватися не лише за обсягом очікуваної економії електроенергії, а й за величиною необхідних капітальних вкладень, експлуатаційних витрат, строком окупності та можливим впливом на собівартість продукції. Такий підхід дає змогу визначити найбільш доцільні заходи та встановити послідовність їх реалізації.

Важливою складовою роботи також є розгляд питань охорони праці та безпеки персоналу. Модернізація електрообладнання і впровадження нових систем керування повинні здійснюватися з дотриманням вимог електробезпеки, пожежної безпеки, виробничої санітарії та нормативних вимог щодо експлуатації електроустановок. Підвищення енергоефективності не повинно погіршувати умови праці або створювати додаткові ризики для працівників.

Практичне впровадження розглянутих у роботі заходів є реальною перспективою для ТОВ «ЗТМК». За попередніми оцінками, їх реалізація дасть змогу скоротити щорічне споживання електричної енергії, зменшити експлуатаційні витрати, підвищити надійність роботи електротехнічного обладнання та знизити собівартість продукції. Додатковим результатом може стати скорочення аварійних простоїв, збільшення строку служби обладнання та покращення загальних економічних показників діяльності підприємства.

У межах реалізації політики енергозбереження важливим напрямом є вдосконалення механізмів фінансування енергоефективних проєктів. Особливе значення має стимулювання самофінансування заходів підприємствами, залучення кредитних ресурсів, використання

енергосервісних механізмів і створення внутрішніх фондів енергозбереження. Наповнення таких фондів може здійснюватися за рахунок частини коштів, отриманих у результаті фактичного скорочення витрат на енергетичні ресурси.

Отже, впровадження заходів з енергозбереження має комплексний позитивний ефект. Воно забезпечує зменшення обсягів споживання електричної енергії, скорочення виробничих витрат, підвищення надійності обладнання, зниження собівартості продукції та покращення конкурентоспроможності підприємства. Саме тому дослідження електроспоживання ТОВ «ЗТМК» і розроблення практичних рекомендацій щодо підвищення його енергетичної ефективності є актуальним науково-технічним і прикладним завданням.

# 1 ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРСПЕКТИВ РЕАЛІЗАЦІЇ ЕНЕРГООЩАДНИХ ЗАХОДІВ НА ТОВ «ЗТМК»

## 1.1 Загальна характеристика підприємства як об’єкта дослідження

Історія Запорізького титано-магнієвого комбінату розпочалася 23 грудня 1935 року із заснування Дніпровського магнієвого заводу. Уже в перші роки діяльності підприємство досягло значних виробничих результатів, за що у квітні 1939 року було нагороджене орденом Трудового Червоного Прапора.

Під час Другої світової війни виробниче обладнання заводу було евакуйовано на Урал. У 1954 році було прийнято рішення щодо спорудження в Запоріжжі підприємства, спеціалізованого на виробництві губчастого титану. 29 червня 1956 року новий завод було введено в експлуатацію, унаслідок чого отримано першу партію промислового титану вітчизняного виробництва.

Подальший розвиток підприємства супроводжувався освоєнням нових технологічних процесів і розширенням асортименту продукції. У 1958 році було започатковано виробництво германієвої продукції, а 20 лютого 1960 року введено в експлуатацію електролізний цех, у якому отримано першу партію запорізького магнію післявоєнного періоду. У березні 1964 року підприємство розпочало виробництво напівпровідникового кремнію, а в 1968 році — трихлорсилану.

У квітні 1970 року до складу підприємства було приєднано Сєвєродонецький хіміко-металургійний завод. Унаслідок розширення виробничої структури Дніпровський магнієвий завод набув статусу комбінату. За успішне виконання виробничих завдань, удосконалення технології випуску титану й магнію та освоєння нових видів продукції 4 січня 1971 року комбінат було нагороджено орденом Леніна.

Упродовж наступних років підприємство продовжувало нарощувати виробничий потенціал і відігравало важливу роль у розвитку титано-магнієвої та напівпровідникової промисловості. За значні виробничі досягнення 16 грудня 1985 року комбінат було нагороджено орденом Жовтневої Революції.

На початку 1990-х років унаслідок економічних і конверсійних процесів різко скоротився попит на продукцію підприємства. Низька конкурентоспроможність продукції за нових економічних умов спричинила необхідність зупинення титано-магнієвого виробництва 23 грудня 1993 року.

Відновлення діяльності підприємства здійснювалося відповідно до Державної програми «Титан України». На комбінаті було проведено комплекс ремонтно-відновлювальних робіт, після завершення яких у жовтні 1998 року відновлено випуск товарної продукції.

У грудні 1999 року комбінат отримав статус казенного підприємства. За вагомий внесок у розвиток металургійної промисловості України, відновлення виробництва губчастого титану та зміцнення міжнародного співробітництва у 2000 році підприємство було нагороджено орденом Пошани.

Для підвищення ефективності виробничої діяльності на комбінаті систематично виконувалися роботи з модернізації та технічного переоснащення обладнання, удосконалення технологічних процесів, інтенсифікації виробництва губчастого титану та підвищення частки продукції вищих сортів. Значна увага приділялася також підвищенню якості готової продукції та скороченню виробничих витрат.

29 грудня 2008 року на підприємстві було успішно проведено гарячі випробування електронно-променевої установки та отримано перший титановий злиток. Ця подія стала важливим етапом у розширенні технологічних можливостей комбінату та переході до виробництва продукції з вищою доданою вартістю.

На підставі наказу Міністерства промислової політики України від 4 січня 2011 року казенне підприємство «ЗТМК» було реорганізовано в державне підприємство. Запорізький титано-магнієвий комбінат став унікальним для України підприємством, основним напрямом діяльності якого є виробництво губчастого титану — стратегічно важливого металу, що широко застосовується у високотехнологічних галузях промисловості.

20 січня 2012 року на підприємстві було виготовлено ювілейну стотисячну тонну губчастого титану з моменту відновлення титанового виробництва у 1998 році. Це стало підтвердженням значного виробничого потенціалу комбінату та його важливого місця в титановій промисловості.

У червні 2013 року представники ЗТМК взяли участь в XI Міжнародній конференції «Ті — 2013 СНД». У межах конференції було досягнуто домовленостей щодо розвитку науково-технічного співробітництва з провідними науково-дослідними та проєктними установами титанової галузі й кольорової металургії. Таке співробітництво було спрямоване на реалізацію планів реконструкції, технічного оновлення та розвитку виробництва.

У 2014 році підприємство продовжило розширювати асортимент товарної продукції. У промислових масштабах було освоєно технологію виготовлення титанових злитків і слябів марок Grade 1 та Grade 2, а також високолегованих титанових сплавів.

У травні 2014 року на ділянці виробництва титанових злитків було введено в експлуатацію стрічкопильний верстат. Його застосування дало змогу забезпечити точне різання металу з мінімальним обсягом відходів. Отримана після різання поверхня характеризувалася достатньою рівністю та не потребувала додаткового шліфування. Унаслідок цього на ділянці механічного оброблення титанових злитків було сформовано послідовний апаратно-

технологічний ланцюг, який відповідав сучасним вимогам до виробництва металопродукції.

У червні 2015 року фахівці Bureau Veritas Certification провели діагностичний аудит готовності підприємства до сертифікації відповідно до вимог міжнародного стандарту EN 9100, який регламентує функціонування систем менеджменту якості підприємств авіаційної, космічної та оборонної промисловості. За результатами аудиту було підтверджено, що система менеджменту якості комбінату загалом відповідає встановленим вимогам. Отримання такого сертифіката мало сприяти розширенню присутності підприємства на ринку титанової продукції для авіаційно-космічної галузі.

Основу технологічного процесу отримання губчастого титану на підприємстві становить магнієтермічний метод, відомий як процес Кролла. Його сутність полягає у відновленні тетрахлориду титану металевим магнієм із подальшим очищенням отриманої реакційної маси методом вакуумної сепарації. Особливістю цього процесу є необхідність охолодження продукту, отриманого після відновлення, перед його повторним нагріванням для проведення вакуумної сепарації.

### Технологічна схема виробництва губчастого титану

Технологічний процес виробництва губчастого титану є складною багатостадійною системою, до складу якої входять такі основні виробничі переділи:

- отримання титанового шлаку шляхом плавлення ільменітового концентрату в рудно-термічній печі;
- підготовка титановмісної шихти;
- одержання технічного тетрахлориду титану;
- ректифікаційне очищення технічного тетрахлориду титану;
- отримання магнію методом електролізу хлористого магнію;

- відновлення титану з тетрахлориду титану металевим магнієм;
- вакуумна сепарація реакційної маси;
- перероблення блоків губчастого титану;
- сортування, пакування та підготовка готової продукції до відвантаження.

### Отримання титанового шлаку

Першим етапом технологічного процесу є отримання титанового шлаку методом відновлювальної рудно-термічної електроплавки ільменітового концентрату. Вихідний концентрат повинен містити не менше ніж 63 % діоксиду титану.

Ільменітовий концентрат плавлять спільно з вуглецевим відновником, як який можуть використовуватися вугілля, кокс або антрацит. Перед подаванням у рудно-термічну піч вихідні матеріали подрібнюють до розміру частинок не більше ніж 10 мм.

Процес плавлення здійснюється в рудно-термічній печі за температури приблизно 1650–1800 °С. Під впливом високої температури та вуглецевого відновника відбувається відновлення оксидів заліза й концентрування сполук титану в шлаковій фазі.

Після завершення плавки утворений титановий шлак випускають із печі, охолоджують і направляють на подальшу підготовку титановмісної шихти. Попутний метал, що утворюється під час плавлення, транспортують на склад для подальшої реалізації споживачам.

Рудно-термічна плавка належить до найбільш енергоємних технологічних процесів підприємства. Значні витрати електроенергії зумовлені необхідністю підтримання високої температури розплаву, компенсації теплових втрат і забезпечення необхідної швидкості перебігу відновних реакцій.

### Підготовка титановмісної шихти

Титановмісну шихту отримують шляхом змішування титанового шлаку, вуглецевого відновника та хлориду натрію. Перед змішуванням титановий шлак і вуглецевий матеріал проходять стадії дроблення та подрібнення.

Підготовка компонентів до заданого гранулометричного складу необхідна для забезпечення їх рівномірного змішування та ефективного проходження подальшого процесу хлорування. Отриману титановмісну шихту транспортують на ділянку хлорування, де з неї виробляють технічний тетрахлорид титану.

На цій стадії електроенергія витрачається переважно електроприводами дробарок, млинів, змішувачів, конвеєрів, живильників, вентиляційних і аспіраційних установок.

### Отримання технічного тетрахлориду титану

Технічний тетрахлорид титану утворюється внаслідок хлорування титановмісної шихти в сольовому розплаві. Процес проводиться в сольовому хлораторі з подальшим очищенням та охолодженням утвореної парогазової суміші.

Сольовий хлоратор є технологічним апаратом безперервної дії. Його корпус має циліндричну форму, плоске днище та сферичне склепіння. Підготовлена титановмісна шихта безперервно подається на поверхню сольового розплаву за допомогою шнекового живильника витратного бункера.

У нижній частині хлоратора розміщені бічні фурми, через які в розплав подається газоподібний хлор. Унаслідок взаємодії хлору з компонентами шихти утворюється парогазова суміш продуктів хлорування.

Із хлоратора виводяться два основні потоки: парогазова суміш і відпрацьований сольовий розплав. Відпрацьований розплав видаляється з

апарата періодично, після чого охолоджується та направляється на подальше поводження з виробничими відходами.

Парогазова суміш безперервно надходить до системи очищення та конденсації. Для видалення пилу та інших твердих домішок використовуються пилова камера і зрошувальний скрубер. Після очищення газовий потік надходить до двох послідовно встановлених зрошувальних конденсаторів.

У конденсаторах відбувається охолодження парогазової суміші та конденсація тетрахлориду титану. Отриманий технічний тетрахлорид титану після відстоювання направляють на ділянку ректифікації для подальшого очищення.

### Ректифікаційне очищення технічного тетрахлориду титану

Технічний тетрахлорид титану містить ванадієві, низькокиплячі та висококиплячі домішки, які необхідно видалити перед використанням продукту в процесі магнієтермічного відновлення.

Очищення тетрахлориду титану від сполук ванадію здійснюється за допомогою нижчих хлоридів титану в кубі колони першої дистиляції. Ректифікаційне очищення складається з двох основних стадій.

Під час першої ректифікації з тетрахлориду титану видаляються низькокиплячі домішки, а на другій стадії — висококиплячі компоненти. Процес проводиться в ректифікаційних колонах за температури приблизно 120–142 °C.

У кубах-випарниках ректифікаційних колон поступово накопичуються кубові залишки. Їх періодично виводять із технологічного обладнання, піддають гідролізу, після чого отриману пульпу випарюють в електричній печі.

У результаті випарювання утворюється кек, який може використовуватися як сировина для отримання ванадієвого концентрату.

Таким чином, забезпечується часткове комплексне використання компонентів вихідної сировини та скорочується кількість виробничих відходів.

### Отримання магнію електролізом хлористого магнію

Металевий магній, необхідний для відновлення титану, отримують методом електролітичного розкладання розплавленого хлористого магнію та безводного карналіту в бездіафрагмових електролізерах.

До складу робочого електроліту входять дихлорид магнію, безводний карналітовий концентрат і хлорид натрію. Під дією постійного електричного струму відбувається розкладання хлориду магнію з утворенням металевого магнію та газоподібного хлору.

Отриманий магній проходить додаткове очищення, після чого направляється на ділянку відновлення титану. Хлор-газ повертається до технологічного процесу та використовується в сольовому хлораторі. Шлам та інші побічні продукти електролізу виводяться з технологічного циклу й направляються на подальше перероблення, реалізацію або розміщення.

Електролітичне виробництво магнію є одним із найбільших споживачів електричної енергії на підприємстві. Тому ефективність електролізерів, стан струмопідвідної системи, якість електроенергії та режими роботи перетворювального обладнання істотно впливають на загальні показники електроспоживання комбінату.

### Відновлення титану металевим магнієм

Відновлення титану з очищеного тетрахлориду титану здійснюється в герметичних апаратах відновлення. Перед початком процесу в підготовлений апарат заливають необхідну кількість рідкого магнію.

Після цього апарат установлюють у піч відновлення та розігрівають до заданої технологічної температури. У реакційний простір поступово подається очищений тетрахлорид титану.

Під час взаємодії тетрахлориду титану з магнієм утворюються металевий титан і дихлорид магнію. Титан формується у вигляді пористої маси, яка надалі перетворюється на блок губчастого титану.

Дихлорид магнію періодично зливають з апарата в спеціальний ківш і направляють на електроліз для повторного отримання металевого магнію. Така організація технологічного процесу забезпечує часткове повернення магнію до виробничого циклу.

Після завершення відновлення апарат із реакційною масою переміщують до холодильника. Тривалість охолодження становить щонайменше 12 годин. Після зниження температури апарат передають на стадію вакуумної сепарації.

### Вакуумна сепарація реакційної маси

Метою вакуумної сепарації є видалення з реакційної маси залишків магнію та дихлориду магнію. Для цього апарат із реакційною масою встановлюють у піч сепарації та вмикають електричні нагрівачі.

На початковому етапі здійснюється поступове нагрівання апарата. Після досягнення температури приблизно 850 °C проводиться п’ятигодинна температурна витримка.

У процесі розігрівання розпочинається випаровування та сублімація залишкового магнію і дихлориду магнію. Після завершення початкового періоду розігрівання температуру підвищують приблизно до 980–1020 °C і проводять високотемпературну витримку.

Тривалість вакуумної сепарації визначається складом і властивостями реакційної маси, її сортом, температурним режимом і величиною залишкового тиску в апараті.

Після завершення процесу електричні нагрівачі печі вимикають, а в апарат подають аргон. Охолодження здійснюється спочатку безпосередньо в печі сепарації, а потім у спеціальному холодильнику.

Після повного охолодження апарат демонтують, а реторту з очищеним блоком губчастого титану направляють на подальше механічне перероблення.

Вакуумна сепарація характеризується значними витратами електричної енергії, що пов’язано з необхідністю тривалого нагрівання масивного обладнання та підтримання високої температури. Тому вдосконалення теплоізоляції печей, скорочення непродуктивних періодів нагрівання та оптимізація температурних режимів є перспективними напрямами енергозбереження.

### Перероблення блоків губчастого титану

Перероблення блоків губчастого титану передбачає виконання комплексу послідовних технологічних операцій. Після доставки реторти на відповідну виробничу ділянку блок губчастого титану вилучають з апарата.

Далі проводять оцінювання його якості та визначають відповідну категорію. Блок поділяють на основні складові частини, зокрема крицю та гарнісаж. Після вилучення продукції реторту очищують від залишків губчастого титану та підготовляють до повторного використання.

З поверхні блока видаляють забруднення та відокремлюють низькоякісні ділянки. Після цього складові частини повторно оцінюють за якістю та розподіляють за категоріями для подальшого роздільного перероблення.

Підготовлений губчастий титан дроблять на пресах і дробарках. Отриманий матеріал розсіюють із виділенням товарних фракцій установленого гранулометричного складу.

Товарні фракції проходять додаткове сортування, під час якого видаляються шматки з видимими дефектами або сторонніми включеннями. Після завершення сортування здійснюють відбір проб для контролю якості продукції.

Готовий губчастий титан упаковують у попередньо підготовлену тару — контейнери або металеві бочки. Заповнену тару зважують, маркують і пломбують відповідно до встановлених вимог.

Упаковану продукцію об’єднують у товарні партії відповідно до умов укладених контрактів і направляють споживачам.

Отже, виробництво губчастого титану на ТОВ «ЗТМК» являє собою складний багатостадійний технологічний процес, який поєднує рудно-термічну плавку, подрібнення та змішування матеріалів, хлорування, ректифікацію, електроліз, магнієтермічне відновлення, вакуумну сепарацію і механічне перероблення готової продукції.

Більшість зазначених процесів характеризується значною енергоємністю. Основними споживачами електричної енергії є рудно-термічні й електричні печі, електролізери, випрямні агрегати, електроприводи насосів, компресорів, вентиляторів, дробарок, конвеєрів та іншого допоміжного обладнання.

У зв’язку із цим підвищення ефективності електроспоживання підприємства потребує комплексного аналізу режимів роботи технологічного обладнання, структури електричних навантажень, рівня втрат у системі електропостачання та можливостей упровадження сучасних енергоощадних технологій.

## 1.2 Огляд основних споживачів електричної енергії підприємства

Електрична енергія на промисловому підприємстві використовується для забезпечення роботи технологічного, допоміжного та

загальновиробничого обладнання. Залежно від характеру перетворення електричної енергії всі електроприймачі підприємства можна умовно поділити на кілька основних груп.

Найбільш поширеною групою споживачів є загальнопромисловий електропривод, у якому електрична енергія перетворюється на механічну. Електроприводи застосовуються практично в усіх виробничих підрозділах підприємства та забезпечують роботу верстатів, насосів, вентиляторів, компресорів, конвеєрів, дробарок, підйомно-транспортних механізмів та іншого технологічного обладнання. Для їх роботи використовуються електричні двигуни різних типів і потужностей. Потужність таких двигунів може змінюватися від часток кіловата для малопотужних допоміжних механізмів до сотень і навіть тисяч кіловат для потужного виробничого обладнання.

Електропривод є одним із головних споживачів електричної енергії на промисловому підприємстві. Обсяг його енергоспоживання залежить від потужності встановлених двигунів, тривалості їх роботи, рівня завантаження, технічного стану та способу регулювання продуктивності робочих механізмів. Робота двигунів у режимі недовантаження, часті пуски, тривалі простої під напругою та застосування неефективних способів регулювання можуть призводити до значних непродуктивних витрат електроенергії.

Наступну велику групу споживачів становлять електротехнологічні установки. Вони безпосередньо використовують електричну енергію для здійснення технологічних процесів і залежно від виду її перетворення поділяються на електротермічні, електрохімічні та електрофізичні установки.

В електротермічному обладнанні електрична енергія перетворюється на теплову. До цієї категорії належать печі опору, індукційні та дугові електричні печі, установки електрошлакового переплаву, обладнання електронно-

променевого нагрівання, а також установки контактного і дугового зварювання. Такі споживачі, як правило, характеризуються значною встановленою потужністю та тривалими періодами роботи. Рівень їх енергоефективності значною мірою залежить від стану теплоізоляції, режиму завантаження, тривалості нагрівання, точності регулювання температури та величини теплових втрат у навколишнє середовище.

Електрохімічні установки забезпечують перетворення електричної енергії на хімічну. До них належать електролізні установки, гальванічні ванни, обладнання для електрохімічної обробки матеріалів та анодування. Такі процеси широко використовуються в металургійній і хімічній промисловості. Їх характерною особливістю є значне споживання постійного струму, унаслідок чого в системах електропостачання застосовуються потужні випрямні агрегати та перетворювальні установки. Ефективність електрохімічних процесів залежить від величини струму, напруги, стану електродів, складу електроліту та якості роботи перетворювального обладнання.

До електрофізичних споживачів належать установки, у яких електрична енергія використовується для створення механічних, електромагнітних або інших фізичних впливів на матеріал. До цієї групи можна віднести обладнання для ультразвукової та магнітоімпульсної обробки, а також електростатичні фільтри. Такі установки застосовуються для очищення газів, зміни властивостей матеріалів, обробки поверхонь і виконання спеціальних технологічних операцій.

Окрему групу електроприймачів становлять освітлювальні установки, у яких електрична енергія перетворюється на світлову. Вони забезпечують необхідний рівень освітленості у виробничих, адміністративних, складських і побутових приміщеннях, а також на території підприємства. Для освітлення

можуть використовуватися лампи розжарювання, люмінесцентні, газорозрядні та світлодіодні джерела світла.

Рівень електроспоживання освітлювальних установок визначається кількістю світильників, їх потужністю, тривалістю роботи та ефективністю джерел світла. Заміна застарілих ламп на сучасні світлодіодні світильники, застосування автоматичного керування та зонального освітлення дають змогу істотно скоротити витрати електроенергії без погіршення умов праці.

Важливим видом електричного навантаження підприємства є вентиляційні установки. Вентиляція являє собою комплекс технічних засобів і організаційних заходів, призначених для забезпечення необхідного повітрообміну та підтримання нормативного стану повітряного середовища у виробничих приміщеннях і на робочих місцях.

Системи вентиляції використовуються для видалення надлишкового тепла, пилу, газів, парів, вологи та інших шкідливих речовин, що утворюються під час виробничих процесів. Одночасно вони забезпечують подавання чистого повітря і підтримання допустимих параметрів температури, вологості та швидкості руху повітря.

Через різноманітність технологічних процесів і виробничих приміщень вентиляційні системи можуть відрізнятися за призначенням, принципом дії та конструктивним виконанням. За способом створення тиску, необхідного для переміщення повітря, розрізняють природну та механічну вентиляцію.

Природний повітрообмін відбувається внаслідок різниці температур і тиску повітря всередині та зовні приміщення, а також під впливом вітру. Такий спосіб не потребує використання електричних двигунів, однак його ефективність залежить від погодних умов, конструкції будівлі та розташування вентиляційних отворів.

У механічних вентиляційних системах переміщення повітря здійснюється за допомогою вентиляторів з електричним приводом. Вони дають змогу регулювати продуктивність, напрямок і швидкість повітряного потоку незалежно від зовнішніх умов. Водночас такі системи можуть споживати значну кількість електричної енергії, особливо за цілодобового режиму роботи або використання вентиляторів великої потужності.

За функціональним призначенням вентиляційні системи поділяють на припливні та витяжні. Припливна вентиляція забезпечує подавання очищеного або підготовленого повітря до приміщення. Витяжна вентиляція призначена для видалення забрудненого, нагрітого або надмірно вологого повітря. На промислових підприємствах часто використовують комбіновані припливно-витяжні системи, які забезпечують організований повітрообмін.

За зоною обслуговування вентиляція може бути місцевою або загальнообмінною. Місцева система діє безпосередньо в зоні утворення шкідливих виділень або на окремому робочому місці. Її застосування дає змогу локалізувати забруднення та запобігти їх поширенню по всьому приміщенню. Загальнообмінна вентиляція забезпечує рівномірне оновлення повітря в усьому об’ємі виробничого приміщення.

За конструктивним виконанням вентиляційні системи поділяють на канальні та безканальні. У канальних системах переміщення повітря здійснюється через мережу повітроводів. Безканальні системи не мають розгалуженої мережі повітроводів, а переміщення повітря забезпечується вентиляторами, установленими безпосередньо в огороджувальних конструкціях або технологічному обладнанні.

Електроспоживання вентиляційних систем залежить від потужності вентиляторів, тривалості їх роботи, опору повітроводів, стану фільтрів і способу регулювання продуктивності. Застосування дроселювання або

постійна робота вентилятора з максимальною частотою обертання за неповного навантаження призводять до перевитрати електроенергії. Перспективним способом підвищення енергоефективності є використання частотно-регульованого електропривода, який дає змогу змінювати продуктивність вентилятора відповідно до фактичної потреби в повітрообміні.

Таким чином, основними споживачами електричної енергії на промисловому підприємстві є електроприводи технологічного та допоміжного обладнання, електротермічні, електрохімічні й електрофізичні установки, системи освітлення та вентиляції. Аналіз режимів їх роботи дає змогу визначити найбільш енергоємні ділянки, оцінити рівень непродуктивних витрат і сформувати перелік технічних та організаційних заходів, спрямованих на зниження електроспоживання підприємства.

## 1.3 Аналіз електроспоживання підприємства

### 1.3.1 Характеристика встановлених електроприймачів та електроустановок цеху №11 ТОВ «ЗТМК»

Основними споживачами електричної енергії в цеху №11 ТОВ «ЗТМК» є технологічне та зварювальне обладнання, а також допоміжні й освітлювальні системи. Живлення силових електроприймачів здійснюється від трифазної мережі змінного струму частотою 50 Гц із номінальною напругою 0,38 кВ. Для забезпечення належних умов праці та безпеки виробничого процесу проектом передбачено системи загального робочого й аварійного освітлення з номінальною напругою 220 В.

Структура електроспоживання обладнання цеху за функціональним призначенням наведена в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Структура електроспоживання обладнання ТОВ «ЗТМК» за категоріями

| № з/п | Категорія споживачів | Частка у загальному споживанні, % |
|---|---|---|
| 1 | Електроприводи (силове обладнання) | 62 |
| 2 | Освітлення та інші допоміжні споживачі | 21 |
| 3 | Електрифікований транспорт | 9 |
| 4 | Електротермія та електротехнологічні установки | 8 |
| Всього | 100 | |

Структура парку електрообладнання цеху №11 ТОВ «ЗТМК» відрізняється високим різноманіттям і включає декілька основних груп споживачів:

Технологічне обладнання (близько 180 одиниць): металообробні верстати різного призначення, преси, електричні нагрівальні печі та 4 компресорні установки стисненого повітря.

Зварювальне обладнання (близько 100 одиниць): спеціалізоване та універсальне зварювальне обладнання для забезпечення технологічних процесів монтажу й ремонту (деталізовано в таблиці 1.2).

Вантажопідйомне обладнання: кран-балки для забезпечення внутрішньоцехового транспортування сировини та готової продукції.

Вентиляційне обладнання: 20 припливно-витяжних вентиляційних установок одиничною потужністю від 3 до 20 кВт.

Освітлювальні установки: система штучного освітлення виробничих, адміністративних та допоміжних приміщень, а також периметру території.

Деталізована характеристика парку зварювального обладнання та систем освітлення наведена в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Характеристика зварювального та освітлювального обладнання цеху №11

| Категорія | Тип / марка обладнання або джерела світла | Кількість, шт. |
|---|---|---|
| Зварювальне обладнання | Зварювальний випрямляч ВДУ-506У | 14 |
| | Зварювальний випрямляч ВС-600 | 9 |
| | Зварювальний випрямляч КИУ-501 | 8 |
| | Зварювальний випрямляч ВДМ-1001 | 6 |
| | Зварювальний випрямляч ВДУ-504 | 4 |
| | Зварювальний випрямляч ВДУЧ-350 | 3 |
| | Зварювальний випрямляч ВДУ-1201 | 2 |
| | Зварювальний випрямляч ВДУ-1202 | 2 |
| | Обладнання для MIG/MAG зварювання ВАРИО СТАР 457/2 | 2 |
| | Газоплазморізальна машина ППлКП | 2 |
| | Зварювальний випрямляч ВКСМ-1000 | 1 |
| | Зварювальний апарат «КЕМРІ» | 1 |
| | Установка дугового зварювання УДГУ-251 АС/DC | 1 |
| | Установка дугового зварювання УДГУ-301 | 1 |
| Освітлювальне обладнання | Світильники з лампами ДРЛ-1000 та ДРЛ-700 (виробничі цехи) | 70 |
| | Світильники з лампами ДРЛ-400 (40 шт.) та ДРЛ-250 (10 шт.) (цехи) | 50 |
| | Світильники з лампами ДРЛ-250 (30 шт.) та ДРЛ-125 (30 шт.) (периметр) | 60 |
| | Світильники з люмінесцентними лампами ЛБ-36 (АКП) | 50 |
| | Світильники з лампами розжарювання (туалети, КНС, побутові) | 50 |

Розподіл встановленої потужності між основними групами електроустановок цеху наведено в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Структура встановленої потужності споживачів ТОВ «ЗТМК»

| № з/п | Найменування груп споживачів та тип обладнання | Встановлена потужність, кВт | Частка від відповідної групи, % | Частка від загальної потужності, % |
|---|---|---|---|---|

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Загальна встановлена потужність електрообладнання | 1261 | — | 100,00 |
| 2 | Електроапарати для технологічних процесів, у тому числі: | 472 | 100,00 | 37,43 |
| | – електрозварювальне обладнання | 223 | 47,25 | 17,68 |
| | – електричні печі | 136 | 28,81 | 10,79 |
| | – нагрівальні пристрої та термообробка | 113 | 23,94 | 8,96 |
| 3 | Загальна потужність електродвигунів, у тому числі: | 871 | 100,00 | 69,07 |
| | – металообробка різанням | 410 | 47,07 | 32,51 |
| | – вентиляція та кондиціювання | 239 | 27,44 | 18,95 |
| | – електрифікований транспорт | 222 | 25,49 | 17,61 |
| 4 | Загальна потужність систем освітлення, у тому числі: | 170 | 100,00 | 13,48 |
| | – внутрішнє освітлення | 139 | 81,76 | 11,02 |
| | – зовнішнє освітлення | 31 | 18,24 | 2,46 |

Електрична енергія на промисловому підприємстві є основним видом енергоносія та використовується для забезпечення роботи силових приводів технологічних механізмів, функціонування внутрішнього й зовнішнього освітлення, а також для живлення електротехнологічних установок (електротермічних, електрозварювальних, електролізних тощо).

Аналіз даних таблиці 1.3 свідчить про те, що найбільша частка встановленої потужності підприємства припадає на електродвигуни (близько 69% від загальної потужності), переважну більшість з яких складають трифазні асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором. Це вказує на потенційну доцільність впровадження енергозберігаючих заходів, зокрема застосування частотно-регульованих приводів для вентиляційних систем та вирівнювання графіків навантаження силового обладнання.

### 1.3.2 Динаміка споживання електричної енергії у 2024–2025 роках

Для оцінювання тенденцій зміни електричного навантаження було розглянуто помісячну динаміку споживання електроенергії протягом 2024 та 2025 років. Розрахункові показники наведено в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 – Помісячне споживання електричної енергії у 2024–2025 роках

| Місяць | 2024 рік, млн кВт·год | 2025 рік, млн кВт·год | Зміна, млн кВт·год |
|---|---|---|---|
| Січень | 6,65 | 6,92 | +0,27 |
| Лютий | 6,48 | 6,81 | +0,33 |
| Березень | 6,72 | 7,05 | +0,33 |
| Квітень | 6,55 | 6,88 | +0,33 |
| Травень | 6,88 | 7,16 | +0,28 |
| Червень | 6,74 | 7,04 | +0,30 |
| Липень | 6,91 | 7,18 | +0,27 |
| Серпень | 7,02 | 7,29 | +0,27 |
| Вересень | 7,11 | 7,36 | +0,25 |
| Жовтень | 7,19 | 7,47 | +0,28 |
| Листопад | 7,10 | 7,42 | +0,32 |
| Грудень | 7,05 | 7,52 | +0,47 |
| *Усього* | *82,40* | *86,10* | *+3,70* |

У 2024 році загальне споживання електричної енергії становило 82,4 млн кВт·год. Найменше місячне споживання було зафіксоване в лютому — 6,48 млн кВт·год, а найбільше — у жовтні, коли його величина досягла 7,19 млн кВт·год.

У 2025 році річне електроспоживання збільшилося до 86,1 млн кВт·год. Мінімальне значення також припало на лютий і становило 6,81 млн кВт·год. Максимальний рівень споживання спостерігався у грудні — 7,52 млн кВт·год.

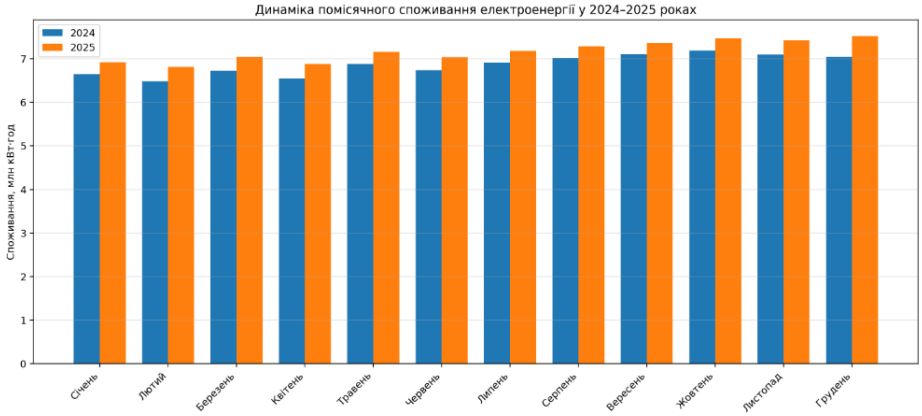



Рисунок 1.1 – Динаміка помісячного споживання електроенергії у 2024–2025 роках

Аналіз помісячних показників свідчить про відносно рівномірне електроспоживання протягом року. Разом із тим у другій половині кожного року простежується поступове збільшення навантаження. Це може бути пов’язано зі зростанням обсягів виробництва, збільшенням тривалості роботи технологічного обладнання та додатковим використанням систем вентиляції, освітлення й обігріву. Різниця між річними показниками 2024 і 2025 років становить 3,7 млн кВт·год. Відносне збільшення електроспоживання визначається за співвідношенням річних обсягів і становить приблизно 4,5 %.

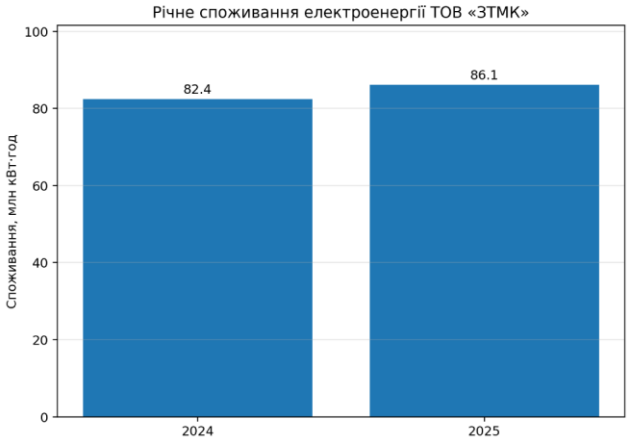



Рисунок 1.2 – Річне споживання електроенергії ТОВ «ЗТМК» у 2024–2025 роках

Збільшення абсолютного обсягу електроспоживання не обов’язково свідчить про погіршення енергетичної ефективності. Для об’єктивного оцінювання необхідно порівнювати спожиту електроенергію з обсягом виготовленої продукції та визначати питомі витрати електроенергії на одиницю продукції.

За умови зростання обсягів виробництва швидшими темпами, ніж електроспоживання, питомі енергетичні витрати можуть зменшуватися. Якщо ж споживання електроенергії збільшується без відповідного зростання випуску продукції, це може вказувати на неефективні режими роботи обладнання, збільшення технологічних втрат або погіршення технічного стану електроустановок.

Орієнтовний розподіл річного електроспоживання між основними групами обладнання наведено в таблиці 1.5.

Таблиця 1.5 – Розрахунковий розподіл електроспоживання за групами обладнання

| Група споживачів | Частка, % | 2024 рік, млн кВт·год | 2025 рік, млн кВт·год |
|---|---|---|---|
| Електроприводи | 62 | 51,09 | 53,38 |
| Електричний транспорт | 9 | 7,42 | 7,75 |
| Електротермія та електротехнології | 8 | 6,59 | 6,89 |
| Освітлення та інші споживачі | 21 | 17,30 | 18,08 |
| *Усього* | *100* | *82,40* | *86,10* |

Найбільший обсяг електричної енергії витрачається електроприводами. У 2024 році їх розрахункове споживання становило 51,09 млн кВт·год, а у 2025 році — 53,38 млн кВт·год.

На освітлення та інші допоміжні потреби припадає відповідно 17,30 і 18,08 млн кВт·год. Електричний транспорт споживає близько 7,42–7,75 млн кВт·год на рік, а електротермічні й електротехнологічні установки — 6,59–6,89 млн кВт·год.

Для орієнтовного економічного оцінювання можна використати середню розрахункову вартість електричної енергії. За умовної середньої ціни 5,20 грн/кВт·год у 2024 році та 6,15 грн/кВт·год у 2025 році витрати підприємства матимуть вигляд, наведений у таблиці 1.6.

Таблиця 1.6 – Орієнтовні витрати на придбання електричної енергії

| Показник | 2024 рік | 2025 рік | Зміна |
|---|---|---|---|
| Споживання електроенергії, млн кВт·год | 82,40 | 86,10 | +3,70 |
| Середня розрахункова ціна, грн/кВт·год | 5,20 | 6,15 | +0,95 |
| Орієнтовні витрати, млн грн | 428,48 | 529,52 | +101,04 |
| Зміна споживання, % | — | +4,49 | — |
| Зміна витрат, % | — | +23,58 | — |

Наведені результати показують, що витрати на електроенергію можуть збільшуватися значно швидше, ніж фізичний обсяг її споживання. За розглянутого сценарію електроспоживання збільшилося на 4,49 %, тоді як орієнтовні фінансові витрати зросли на 23,58 %. Основною причиною такого випереджального зростання є підвищення середньої вартості електричної енергії.

Отже, структура електроспоживання ТОВ «ЗТМК» характеризується переважанням електричних приводів, вентиляційних установок, металообробного та зварювального обладнання. Збільшення споживання електричної енергії у 2025 році порівняно з 2024 роком обумовлює необхідність детальнішого контролю режимів роботи найбільш потужних електроприймачів.

Основними напрямами скорочення електроспоживання можуть бути впровадження частотно-регульованих приводів насосів і вентиляторів, заміна застарілих електродвигунів, оптимізація завантаження обладнання,

компенсація реактивної потужності, модернізація системи освітлення та впровадження автоматизованого обліку електроенергії.

Проведений аналіз створює основу для подальшого технічного та економічного обґрунтування заходів, спрямованих на підвищення енергетичної ефективності цеху № 11 і підприємства загалом.

## 1.4 Перспективні напрями підвищення енергоефективності цеху № 11

Проведений аналіз структури електроспоживання цеху № 11 ТОВ «ЗТМК» показав, що значна частина електричної енергії витрачається електричними двигунами, вентиляційними установками, металообробним, зварювальним і допоміжним технологічним обладнанням. У зв’язку з підвищенням вартості енергетичних ресурсів у 2024–2025 роках особливої актуальності набуває впровадження технічних та організаційних заходів, спрямованих на зменшення непродуктивних витрат електроенергії.

Підвищення енергетичної ефективності цеху доцільно здійснювати комплексно. Воно повинно передбачати модернізацію електроприводів, оптимізацію завантаження електродвигунів, регулювання продуктивності насосів і вентиляторів, скорочення тривалості неробочого ходу обладнання, компенсацію реактивної потужності, удосконалення технічного обслуговування та організацію постійного контролю за фактичним споживанням електричної енергії.

Найбільш перспективними напрямами енергозбереження для цеху № 11 є застосування енергоефективних електродвигунів, упровадження частотно-

регульованого електропривода та встановлення автоматизованих конденсаторних установок.

### 1.4.1 Застосування енергоефективних електродвигунів

Електричні двигуни широко використовуються в усіх основних і допоміжних виробничих процесах цеху № 11. Вони забезпечують роботу металообробних верстатів, компресорів, вентиляторів, насосів, транспортних механізмів, кран-балок та іншого технологічного обладнання. Через значну кількість і тривалість роботи електродвигуни формують основну частину електричного навантаження цеху, тому саме електропривод має найбільший потенціал енергозбереження.

Початковим етапом підвищення ефективності використання електродвигунів у 2024–2025 роках повинно стати створення та систематичне оновлення інформаційної бази встановленого обладнання. Особливу увагу доцільно приділяти двигунам, які експлуатуються понад 2000 годин на рік, оскільки навіть незначне підвищення їх коефіцієнта корисної дії може забезпечити помітне скорочення річного споживання електроенергії.

Для кожного двигуна необхідно фіксувати місце встановлення, технологічне призначення, номінальну потужність, частоту обертання, фактичне завантаження, тривалість роботи, кількість пусків, технічний стан і паспортні характеристики. Такі відомості дають змогу визначити двигуни, які працюють у нераціональних режимах, мають завищену потужність або потребують модернізації.

Однією з поширених причин перевитрати електричної енергії є неправильний вибір номінальної потужності двигуна. На промислових підприємствах електродвигуни нерідко встановлюють зі значним запасом потужності, щоб забезпечити можливість короткочасного перевантаження. Проте під час тривалої роботи з низьким навантаженням зменшуються коефіцієнт корисної дії та коефіцієнт потужності двигуна, а частка непродуктивних втрат збільшується.

Найбільш ефективним вважається режим, за якого фактичне навантаження становить приблизно 75–90 % номінальної потужності двигуна. За таких умов електрична машина працює в зоні високого коефіцієнта корисної дії, а втрати електричної енергії залишаються порівняно невеликими.

Якщо двигун упродовж тривалого часу працює з навантаженням, суттєво нижчим за номінальне, доцільно розглянути можливість його заміни двигуном меншої потужності. Остаточне рішення повинно прийматися після перевірки максимального навантаження, пускових умов і можливих короткочасних перевантажень технологічного механізму.

Важливим напрямом енергозбереження є застосування частотно-регульованого електропривода. Частотний перетворювач дає змогу плавно змінювати частоту обертання двигуна відповідно до фактичного навантаження та необхідної продуктивності обладнання.

Найбільший ефект від частотного регулювання може бути отриманий на насосних і вентиляційних установках. У традиційних системах продуктивність таких механізмів часто регулюється за допомогою засувок, клапанів або напрямних апаратів. При цьому двигун продовжує працювати з майже номінальною частотою обертання, а частина спожитої електричної енергії витрачається на подолання додаткового опору.

Застосування частотного перетворювача дає змогу зменшувати швидкість обертання двигуна та приводити його продуктивність у відповідність із фактичною потребою технологічного процесу. Унаслідок цього скорочується споживання електроенергії, зменшуються пускові струми, механічні навантаження та зношування обладнання.

Для оцінювання доцільності встановлення частотного перетворювача необхідно попередньо визначити графік навантаження електродвигуна. Він повинен відображати тривалість роботи механізму за різних значень продуктивності. Найбільш доцільним частотне регулювання є для двигунів, які працюють значну частину року та мають змінне навантаження.

Крім безпосереднього скорочення електроспоживання, використання частотно-регульованого електропривода покращує керованість технологічного процесу. Плавна зміна швидкості дає змогу точніше підтримувати необхідний тиск, витрату повітря, подавання рідини або швидкість переміщення механізму. Це може позитивно впливати на якість продукції, надійність обладнання та витрати на його технічне обслуговування.

Додатковим резервом підвищення енергоефективності є підтримання належного технічного стану механічних передач. Особливу увагу необхідно приділяти пасовим приводам, які застосовуються у вентиляторах, верстатах, компресорах та іншому обладнанні.

Недостатнє натягнення ременів спричиняє їх проковзування, збільшення механічних втрат і нагрівання. Надмірне натягнення створює додаткове навантаження на підшипники двигуна та робочого механізму. Тому перевірка стану пасових передач, регулювання натягнення, центрування шківів і своєчасна заміна зношених ременів повинні бути включені до плану технічного обслуговування.

За можливості стандартні клинові ремені доцільно замінювати високоефективними зубчастими або синхронними ременями. Така модернізація потребує менших капітальних вкладень порівняно із заміною електродвигуна, але дає змогу зменшити механічні втрати в системі електропривода.

Важливим напрямом модернізації є поступова заміна застарілих електродвигунів сучасними енергоефективними моделями з підвищеним коефіцієнтом корисної дії. Енергозберігаючі двигуни відрізняються вдосконаленою конструкцією магнітопроводу, збільшеним перерізом обмотувальних провідників, використанням якіснішої електротехнічної сталі та зменшеними вентиляційними й механічними втратами.

Зниження магнітних втрат досягається за рахунок застосування тонких ізольованих листів електротехнічної сталі з покращеними характеристиками. Зменшення електричних втрат забезпечується більш повним використанням пазів статора і ротора та збільшенням поперечного перерізу провідників.

Енергоефективні двигуни під час роботи виділяють менше тепла. Це дає змогу зменшити навантаження на систему охолодження та втрати, пов’язані з роботою вентилятора двигуна. Нижча робоча температура також позитивно впливає на стан ізоляції обмоток і тривалість експлуатації електричної машини.

Повна заміна всіх установлених електродвигунів не завжди є економічно обґрунтованою, оскільки потребує значних капітальних витрат. Тому модернізацію доцільно здійснювати поступово. Нові енергоефективні двигуни насамперед необхідно встановлювати замість фізично та морально застарілих машин, які підлягають плановій заміні або капітальному ремонту.

Першочергової заміни потребують двигуни, які мають значну річну тривалість роботи, високу встановлену потужність, незадовільний технічний

стан або підвищені втрати. У кожному випадку необхідно порівнювати вартість нового обладнання з очікуваною річною економією електроенергії та визначати строк окупності інвестицій.

За розрахунковими оцінками, застосування енергоефективних електродвигунів може забезпечити скорочення споживання електричної енергії електроприводами приблизно на 3–8 %. Фактичний результат залежатиме від потужності двигуна, тривалості його роботи, характеру навантаження та ефективності обладнання, яке замінюється.

Окреме значення має підвищення кваліфікації персоналу, відповідального за експлуатацію електроприводів. Працівники повинні своєчасно виявляти перегрівання двигунів, підвищену вібрацію, шум, порушення центрування, зношування підшипників і погіршення стану ізоляції.

У 2024–2025 роках доцільно запровадити регулярну звітність щодо реалізації енергозберігаючих заходів. Служба головного енергетика повинна фіксувати перелік виконаних робіт, фактичне скорочення споживання електроенергії, досягнуту фінансову економію, розмір капітальних вкладень і строк окупності кожного заходу.

Така система звітності дасть змогу об’єктивно оцінювати результативність модернізації та використовувати отриманий досвід під час упровадження аналогічних рішень в інших виробничих підрозділах ТОВ «ЗТМК».

### 1.4.2 Обґрунтування доцільності компенсації реактивної потужності

Значну частину електричного навантаження цеху № 11 створюють асинхронні двигуни, трансформатори, зварювальні установки та інше

обладнання індуктивного характеру. Під час роботи такі електроприймачі споживають із мережі не лише активну, а й реактивну потужність.

Активна потужність безпосередньо перетворюється на механічну, теплову або іншу корисну енергію. Реактивна потужність необхідна для створення електромагнітних полів у двигунах, трансформаторах та інших електромагнітних пристроях, але вона не виконує корисної технологічної роботи.

Циркуляція реактивної потужності між джерелом живлення та електроприймачами призводить до збільшення повного струму в мережі. Унаслідок цього зростають навантаження на трансформатори, кабельні лінії та комутаційне обладнання, а також збільшуються втрати активної потужності й падіння напруги.

За низького завантаження асинхронних двигунів фазовий зсув між струмом і напругою збільшується, а коефіцієнт потужності зменшується. Особливо несприятливим є режим неробочого ходу, за якого двигун практично не виконує корисної роботи, але продовжує споживати реактивну потужність.

Підвищення коефіцієнта потужності дає змогу зменшити струмове навантаження мережі за незмінної активної потужності. У результаті знижуються втрати електричної енергії, покращується рівень напруги та вивільняється частина пропускної здатності трансформаторів і кабельних ліній.

Основним технічним засобом компенсації реактивної потужності на промислових підприємствах є конденсаторні установки. Їх застосування пояснюється порівняно невеликими втратами активної енергії, відсутністю рухомих частин, простотою монтажу й експлуатації та можливістю вибору необхідної потужності.

Конденсаторні установки не створюють значного шуму та можуть розміщуватися безпосередньо біля окремих споживачів, у цехових розподільних пунктах або на трансформаторних підстанціях. Залежно від місця встановлення розрізняють індивідуальну, групову та централізовану компенсацію.

Індивідуальна компенсація передбачає встановлення конденсаторів безпосередньо біля окремого електроприймача. Конденсаторна установка вмикається і вимикається одночасно з двигуном або іншим обладнанням.

Перевагою такого способу є розвантаження від реактивного струму не лише трансформаторів і магістральних ліній, а й внутрішньоцехової мережі, що живить відповідний електроприймач. Індивідуальна компенсація найбільш ефективна для потужних двигунів, які працюють у тривалому та відносно стабільному режимі.

Разом із тим потужність конденсаторів повинна бути узгоджена з характеристиками електроприймача. Надмірна компенсація може спричинити небажане підвищення напруги або виникнення резонансних явищ, особливо в мережах із перетворювальним і зварювальним обладнанням.

Групова компенсація використовується для декількох електроприймачів, підключених до одного розподільного пункту. У цьому випадку конденсаторна установка приєднується до шин цехової мережі напругою 0,38–0,4 кВ.

Застосування групової компенсації дає змогу розвантажити трансформатор і живильну лінію від реактивної потужності. Водночас частина внутрішньоцехових мереж між розподільним пунктом і окремими споживачами продовжує передавати реактивний струм.

Централізована компенсація застосовується в системах із великою кількістю електроприймачів та істотною зміною навантаження протягом доби. Конденсаторну установку можна підключати до шин високої напруги головної

знижувальної підстанції або до шин 0,38–0,4 кВ цехової трансформаторної підстанції.

Підключення конденсаторної установки до шин 6–10 кВ забезпечує компенсацію реактивної потужності у вищих ланках системи електропостачання. Однак внутрішні мережі напругою 6–10 і 0,38 кВ та цехові трансформатори в цьому випадку повністю не розвантажуються.

Більш ефективним для цеху № 11 може бути встановлення автоматизованої конденсаторної установки на боці низької напруги трансформаторної підстанції. У такому разі від реактивної потужності розвантажуються як живильні мережі, так і силові трансформатори.

Автоматизована конденсаторна установка складається з декількох ступенів, які підключаються або відключаються залежно від фактичного значення реактивного навантаження. Керування здійснюється спеціальним регулятором коефіцієнта потужності.

Ступінчасте регулювання дає змогу підтримувати коефіцієнт потужності на заданому рівні та запобігати надмірній компенсації в періоди зниження навантаження. Для цеху з великою кількістю двигунів, вентиляційних і зварювальних установок такий варіант є найбільш гнучким.

Упровадженню конденсаторних установок повинно передувати виконання організаційно-технічних заходів, які не потребують додаткових компенсувальних пристроїв. Насамперед необхідно впорядкувати режим роботи обладнання та скоротити тривалість його неробочого ходу.

Асинхронні двигуни, які тривалий час працюють без навантаження, доцільно автоматично вимикати під час міжопераційних перерв. За умови тривалого недовантаження необхідно розглянути можливість їх заміни двигунами меншої потужності.

Доцільно також перевірити ступінь завантаження силових трансформаторів. Трансформатори, середнє навантаження яких є істотно нижчим за номінальне, можуть бути відключені, переведені в резерв або замінені обладнанням меншої потужності, якщо це не знижує надійність електропостачання.

Важливе значення має якість ремонту електродвигунів. Під час перемотування обмоток необхідно забезпечувати збереження номінальних електромагнітних характеристик машин, оскільки порушення технології ремонту може спричинити зниження коефіцієнта корисної дії та коефіцієнта потужності.

Якщо реалізація зазначених заходів не дає змоги підвищити коефіцієнт потужності до орієнтовного рівня 0,90–0,95, доцільно застосовувати конденсаторні установки. Їх потужність повинна визначатися за результатами вимірювання активної та реактивної потужності в характерних режимах роботи цеху.

Для оцінювання характеру електричного навантаження використано розрахунковий добовий графік активної потужності ділянки цеху № 11 за 12 грудня 2025 року, наведений у таблиці 1.7.

Таблиця 1.7 – Розрахунковий добовий графік активної потужності ділянки цеху № 11 за 12.12.2025 р.

| Інтервал часу | Активна потужність, кВт |
|---|---|
| 00:00–01:00 | 28 |
| 01:00–02:00 | 28 |
| 02:00–03:00 | 28 |
| 03:00–04:00 | 28 |
| 04:00–05:00 | 28 |
| 05:00–06:00 | 28 |
| 06:00–07:00 | 28 |
| 07:00–08:00 | 64 |
| 08:00–09:00 | 104 |
| 09:00–10:00 | 130 |

| | |
|---|---|
| 10:00–11:00 | 142 |
| 11:00–12:00 | 136 |
| 12:00–13:00 | 155 |
| 13:00–14:00 | 160 |
| 14:00–15:00 | 150 |
| 15:00–16:00 | 123 |
| 16:00–17:00 | 115 |
| 17:00–18:00 | 122 |
| 18:00–19:00 | 128 |
| 19:00–20:00 | 109 |
| 20:00–21:00 | Дані потребують уточнення |
| 21:00–22:00 | 96 |
| 22:00–23:00 | 38 |
| 23:00–24:00 | 28 |

Аналіз добового графіка показує, що в нічний період навантаження залишається на мінімальному рівні та становить близько 28 кВт. Починаючи із 07:00, спостерігається поступове зростання споживаної потужності, пов’язане з початком роботи основного технологічного обладнання.

Максимальне навантаження досягається в інтервалі з 13:00 до 14:00 і становить приблизно 160 кВт. Після 14:00 активна потужність поступово зменшується, хоча у вечірній період зберігається порівняно високий рівень електроспоживання.

Нерівномірний характер графіка підтверджує доцільність використання автоматизованої ступінчастої компенсації реактивної потужності. Постійна нерегульована конденсаторна установка може створювати надлишкову компенсацію в нічні години, коли більша частина технологічного обладнання не працює.

Застосування автоматичного регулятора дасть змогу змінювати кількість підключених конденсаторних ступенів відповідно до фактичного навантаження. У період максимального споживання в роботу включатиметься більша частина конденсаторної батареї, а в нічні години її потужність автоматично зменшуватиметься.

Компенсація реактивної потужності сприяє зниженню струму в електричних мережах, зменшенню втрат активної енергії та покращенню пропускної здатності трансформаторів і кабельних ліній. В окремих режимах струмове навантаження після компенсації може суттєво зменшуватися, однак фактичний результат залежить від початкового значення коефіцієнта потужності.

За попередніми оцінками, комплексне розвантаження електричних мереж від реактивних струмів може забезпечити скорочення втрат електроенергії та загальну економію в межах 5–15 %. Для визначення реального ефекту необхідно виконати вимірювання активної та реактивної потужності, коефіцієнта потужності, рівня напруги та гармонічних спотворень.

Особливо важливо враховувати наявність у цеху зварювальних випрямлячів і частотних перетворювачів, які можуть створювати вищі гармоніки струму. За значного рівня гармонічних спотворень звичайні конденсаторні установки повинні доповнюватися захисними реакторами або фільтрокомпенсувальними пристроями.

Для систематичного контролю результатів енергозберігаючих заходів необхідно складати електроенергетичний баланс цеху. Він являє собою систему взаємопов’язаних показників надходження, перетворення та використання електричної енергії.

Прибуткова частина електробалансу повинна містити загальну кількість електроенергії, отриманої підприємством від зовнішньої енергосистеми, інших споживачів або власних джерел генерування. Витратна частина повинна враховувати безпосереднє споживання електроенергії технологічним обладнанням, витрати на допоміжні потреби, втрати в трансформаторах і мережах, а також можливий відпуск електроенергії стороннім споживачам.

Складання електробалансу дає змогу оцінити ефективність використання електроенергії окремими агрегатами, ділянками та цехом загалом. Порівняння балансів за 2024 і 2025 роки дозволить визначити зміни структури електроспоживання та встановити фактичний результат реалізованих енергозберігаючих заходів.

Таким чином, найбільш перспективними напрямами підвищення енергетичної ефективності цеху № 11 є правильний вибір потужності електродвигунів, упровадження частотно-регульованих приводів, модернізація механічних передач, поступова заміна застарілих двигунів енергоефективними моделями та компенсація реактивної потужності.

Комплексне впровадження зазначених заходів у 2024–2025 роках дасть змогу скоротити втрати електричної енергії, знизити навантаження на трансформатори й кабельні мережі, покращити режими роботи електрообладнання та зменшити витрати підприємства на енергетичні ресурси.

### 1.4.3 Перехід на більш ефективні джерела світла

Система освітлення є одним із важливих напрямів, у межах якого підприємство може скоротити споживання електричної енергії. На забезпечення освітлення виробничих та допоміжних ділянок припадає близько 21 % загальних витрат підприємства на електроенергію. Тому модернізація освітлювального обладнання має суттєве значення для підвищення загального рівня енергоефективності.

Проведений аналіз показав, що для освітлення приміщень підприємства використовуються ртутні дугові лампи типу ДРЛ-400. Номінальна напруга

живлення таких ламп становить 220 В, потужність — 400 Вт, а світловий потік досягає 19 000 лм. Геометричні розміри лампи становлять 292 мм за довжиною та 122 мм у діаметрі. Лампа обладнана цоколем типу Р40, а її нормативний термін експлуатації становить приблизно 10 000 годин.

Загалом на підприємстві встановлено 48 ламп ДРЛ-400, кожна з яких має потужність 400 Вт. Як освітлювальну арматуру використовують світильники типу РСП 05-400/Г03. Вони розраховані на встановлення газорозрядних ламп ДРЛ потужністю 400 Вт. Діаметр світильника становить 490 мм, висота — 607 мм, а коефіцієнт корисної дії дорівнює 0,7.

Наявна система освітлення характеризується значним установленим навантаженням і порівняно невисокою світловою ефективністю. Крім безпосереднього споживання електроенергії лампами, необхідно враховувати втрати в пускорегулювальній апаратурі, поступове зменшення світлового потоку в процесі експлуатації та потребу в регулярній заміні джерел світла.

У зв’язку із цим доцільним напрямом енергозбереження є поетапна заміна ламп ДРЛ-400 сучасними світлодіодними світильниками. Світлодіодне обладнання забезпечує аналогічний або вищий рівень освітленості за значно меншої встановленої потужності. Крім того, воно характеризується тривалішим терміном служби, стабільним світловим потоком, відсутністю тривалого періоду розігріву та меншими витратами на технічне обслуговування.

Застосування сучасних джерел світла дозволить скоротити електроспоживання освітлювальних установок, зменшити експлуатаційні витрати та підвищити якість освітлення робочих зон. Додатковий ефект може бути отриманий завдяки впровадженню автоматичного керування освітленням, установленню датчиків руху й освітленості, а також поділу освітлювальної мережі на окремі функціональні групи.

### 1.4.4 Обґрунтування доцільності застосування АСКОЕ на підприємстві

У сучасних умовах питання точного обліку та раціонального використання енергетичних ресурсів набуває особливої актуальності. Зростання тарифів на електроенергію призвело до істотного збільшення частки енергетичних витрат у собівартості промислової продукції. Для багатьох енергоємних підприємств цей показник становить приблизно 20–30 %. За таких умов традиційні способи обліку вже не забезпечують необхідної оперативності, точності та повноти інформації.

Розв’язання цієї проблеми потребує впровадження автоматизованої системи комерційного обліку електроенергії. АСКОЕ являє собою комплекс технічних і програмних засобів, призначених для автоматичного вимірювання, збору, передавання, оброблення, накопичення та зберігання інформації про споживання активної й реактивної електричної енергії.

Залежно від призначення автоматизований облік поділяється на комерційний і технічний. Комерційний облік використовується для визначення кількості електричної енергії, отриманої підприємством від енергопостачальної організації, та проведення відповідних фінансових розрахунків. Для такого обліку застосовуються прилади підвищеного класу точності, внесені до державного реєстру засобів вимірювальної техніки.

Система комерційного обліку зазвичай охоплює відносно невелику кількість основних точок постачання електроенергії. Її обладнання підлягає обов’язковому пломбуванню, що унеможливлює несанкціоноване втручання та обмежує можливість оперативного внесення змін персоналом підприємства.

Рівень електроспоживання ТОВ «ЗТМК» визначається не лише встановленою потужністю технологічного обладнання, а й режимами його

експлуатації. Ці режими формуються працівниками підприємства відповідно до виробничих завдань, графіків роботи та фактичного завантаження агрегатів. Тому для ефективного управління енергоспоживанням необхідно мати достовірну та своєчасну інформацію про навантаження окремих об’єктів і підприємства загалом.

Упровадження АСКОЕ на ТОВ «ЗТМК» має забезпечити підвищення точності та надійності обліку електричної енергії й потужності. Система дозволить здійснювати оперативний контроль стану точок обліку, своєчасно виявляти несправності обладнання та контролювати повноту надходження даних.

Важливим результатом функціонування системи стане можливість складання балансу електроенергії як для підприємства загалом, так і для його окремих структурних підрозділів. Порівняння обсягів отриманої та фактично спожитої електроенергії дасть змогу точніше визначати технологічні й комерційні втрати, виявляти нераціональні режими роботи та встановлювати ділянки з підвищеним рівнем енергоспоживання.

Автоматизований обмін інформацією між приладами обліку, серверним обладнанням та робочими місцями персоналу підвищить оперативність отримання даних. Завдяки цьому фахівці підприємства матимуть можливість аналізувати електроспоживання практично в режимі реального часу та своєчасно приймати рішення щодо коригування режимів роботи обладнання.

Упровадження АСКОЕ спрямоване насамперед на підвищення ефективності використання енергетичних ресурсів, забезпечення раціонального споживання електроенергії та скорочення витрат підприємства на її оплату. Наявність деталізованої інформації дозволить контролювати дотримання встановлених лімітів, уникати перевищення договірної потужності та оптимізувати навантаження відповідно до тарифних зон доби.

Система має функціонувати цілодобово. Вона повинна постійно контролювати стан інформаційного зв’язку між окремими рівнями, сигналізувати про втрату зв’язку з лічильниками та вести журнал їх опитування. У журналі доцільно зберігати інформацію про назву фідера, дату й час отримання останніх показників, а також повноту даних, що надходять із кожної точки обліку.

Опитування всіх лічильників, включених до складу автоматизованої системи, необхідно здійснювати щонайменше один раз на добу. За необхідності інтервали опитування можуть бути скорочені, що забезпечить докладніше відображення графіків навантаження та дозволить оперативніше реагувати на відхилення від установлених режимів.

Архітектура АСКОЕ повинна передбачати можливість подальшої модернізації. Зокрема, система має дозволяти збільшення кількості точок обліку, підключення додаткових структурних підрозділів, розширення кількості автоматизованих робочих місць та зміну конфігурації відповідно до розвитку підприємства.

Для ефективної експлуатації системи необхідно сформувати відповідний персонал. До його складу мають входити відповідальна за АСКОЕ особа, інженер з обліку енергоресурсів та інженер-програміст. Ці працівники забезпечуватимуть контроль технічного стану обладнання, аналіз отриманих даних, адміністрування програмного забезпечення та взаємодію з енергопостачальною організацією.

До основних функцій АСКОЕ належить вимірювання активної та реактивної енергії, визначення потужності, первинне оброблення інформації, її накопичення, зберігання та відображення. Дані, отримані від окремих лічильників, можуть об’єднуватися за групами обліку, структурними підрозділами та підприємством загалом.

Система також забезпечуватиме визначення споживання електроенергії за заданими часовими інтервалами та тарифними зонами доби. На підставі отриманих відомостей можна буде встановлювати максимальні добові навантаження, формувати звітну документацію, створювати архіви та контролювати працездатність усіх елементів системи.

Вимірювальна інформація повинна бути захищена від несанкціонованого доступу, зміни або знищення. Особливе значення має забезпечення збереження метрологічних характеристик системи, оскільки від точності вимірювань залежить правильність розрахунків за спожиту електроенергію.

За своєю структурою однорівнева АСКОЕ ТОВ «ЗТМК» складається з нижнього та верхнього підрівнів. Нижній підрівень представлений багатофункціональними лічильниками та засобами передавання інформації. Він забезпечує автоматичний облік споживання активної електроенергії, а також споживання і генерації реактивної електроенергії в кожній точці обліку.

Зібрані дані проходять первинне оброблення, зберігаються в енергонезалежній пам’яті та передаються на верхній підрівень. Передавання інформації може здійснюватися через телефонні, цифрові, мобільні або інші канали зв’язку залежно від технічної конфігурації системи.

Верхній підрівень складається з автоматизованих робочих місць, об’єднаних у локальну обчислювальну мережу. На цьому рівні виконується оброблення отриманих даних та їх подання у формі, зручній для подальшого аналізу.

Програмне забезпечення верхнього підрівня дає можливість здійснювати оперативний контроль параметрів електроспоживання за окремими точками, групами обліку та підприємством загалом. У базі даних доцільно зберігати

добові значення активної й реактивної енергії, а також 30-хвилинні значення активної та реактивної потужності щонайменше протягом 365 діб.

Накопичена інформація використовуватиметься для формування балансів електроенергії, підготовки звітів, оцінювання режимів роботи обладнання та визначення резервів енергозбереження. Система також повинна забезпечувати автоматизоване передавання даних до енергопостачальної організації та взаємодію із суміжними інформаційними системами підприємства.

Таким чином, упровадження АСКОЕ на ТОВ «ЗТМК» створить необхідну інформаційну основу для ефективного управління електроспоживанням. Використання автоматизованого обліку дозволить підвищити прозорість енергетичних потоків, скоротити необґрунтовані витрати та забезпечити системний контроль за реалізацією заходів з енергозбереження.

### 1.4.5 Обґрунтування доцільності заміни індукційної плавильної печі дуговою піччю постійного струму

Одним із перспективних напрямів модернізації плавильного обладнання підприємства є заміна індукційної печі дуговою піччю постійного струму. Такі агрегати можуть використовуватися для виплавки феросплавів, високоякісних і спеціальних сталей, перероблення шлаків із низьким умістом металу, а також утилізації відпрацьованих каталізаторів.

Дугові печі постійного струму характеризуються відносно невеликими габаритами, зниженим споживанням електроенергії, підвищеною стійкістю

футерування та невисоким рівнем виробничого шуму. Важливими перевагами такого обладнання також є його вибухобезпечність і менший негативний вплив на навколишнє середовище.

Печі цього типу призначені для переплавлення чавуну, вуглецевих і легованих сталей, кольорових металів, феросплавів та дрібнодисперсних промислових відходів. Вихід придатного металу під час їх використання може досягати 95 %, тоді як втрати легуючих елементів унаслідок вигоряння залишаються порівняно невеликими.

Дугові печі постійного струму місткістю 1000 кг здатні забезпечувати виробництво до 400 т рідкого металу високої якості на місяць. Це свідчить про достатньо високу продуктивність обладнання та можливість його ефективного застосування в умовах промислового виробництва.

Електрообладнання та схеми живлення таких печей мають певні конструктивні особливості. У складі дугової електропічної установки виділяють головний і допоміжний електричні контури. Головний контур охоплює основне силове обладнання та електричну дугу, яка є безпосереднім джерелом теплової енергії. Допоміжні контури забезпечують керування, вимірювання параметрів, автоматичне регулювання та захист обладнання.

У дугових печах постійного струму можна виплавляти широкий асортимент металів і сплавів. До нього належать звичайні вуглецеві сталі, високолеговані, інструментальні, штампові та азотовмісні сталі. Технологічна гнучкість обладнання дозволяє достатньо швидко переходити від виробництва однієї марки сплаву до іншої без значних додаткових витрат.

Порівняно з індукційними агрегатами дугові печі постійного струму мають істотні переваги за продуктивністю. Тривалість плавки чавуну в них становить приблизно 30–60 хвилин, що в окремих випадках майже вдвічі

менше, ніж у традиційних індукційних печах. Завдяки цьому продуктивність плавильної ділянки може збільшитися приблизно на 100 %.

Питома витрата електроенергії під час плавлення та перегрівання сірого чавуну до температури близько 1400 °C становить приблизно 600–800 кВт·год на тонну. За відповідних технологічних умов це дозволяє скоротити споживання електричної енергії порівняно з індукційною плавкою.

Важливою перевагою дугової печі є можливість проведення в розплаві окиснювально-відновних реакцій. Такі процеси сприяють поліпшенню якості готового металу, зменшенню вмісту газів і відновленню металів з їхніх оксидів. Під час плавлення також забезпечуються умови для видалення розчиненого водню та запобігання надмірному насиченню металу киснем.

Дугові печі постійного струму можуть використовуватися не тільки для чорних, а й для кольорових та дорогоцінних металів. Вони дають змогу переробляти шлаки, пил, каталізатори та інші вторинні матеріали навіть за відносно низького вмісту корисного компонента. Це розширює сировинну базу підприємства та створює умови для комплексного використання промислових відходів.

Досвід експлуатації дугових печей постійного струму свідчить про те, що вони поступово займають стійкі позиції в ливарному виробництві України. При цьому їхня ефективність визначається не лише питомим споживанням електроенергії або швидкістю плавлення.

Значний економічний ефект досягається завдяки заощадженню матеріальних ресурсів, використанню дешевшої рядової шихти та отриманню з неї металу необхідної якості. Крім того, скорочуються витрати на створення й утримання основних фондів, оскільки зникає необхідність застосування частини додаткового обладнання та окремих видів хімічної енергії.

Використання вітчизняних вогнетривких матеріалів, скорочення кількості технологічних операцій та зменшення застосування шкідливих речовин також позитивно впливають на економічні й екологічні показники виробництва. Установлення сучасного газоочисного та допоміжного обладнання дозволяє істотно знизити обсяг шкідливих викидів і, відповідно, скоротити витрати підприємства на природоохоронні заходи.

Високі техніко-економічні показники дугових печей постійного струму досягаються не тільки завдяки використанню електричної дуги постійного струму. Основний ефект забезпечує комплексний підхід, за якого піч, система електропостачання, механізми керування, засоби автоматизації та технологічні режими розглядаються як єдина взаємопов’язана система.

Конструкція та принцип роботи такого обладнання ґрунтуються на теоретичних основах металургійних процесів, практичному досвіді експлуатації різних типів плавильних агрегатів і сучасних досягненнях електротехніки. Тому заміна індукційної печі дуговою піччю постійного струму може розглядатися як технічно обґрунтований захід, спрямований на підвищення продуктивності, скорочення енергетичних і матеріальних витрат, поліпшення якості металу та зменшення негативного впливу виробництва на навколишнє середовище.

# 2 РОЗРОБЛЕННЯ ТА ВПРОВАДЖЕННЯ ЗАХОДІВ З ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ ЦЕХУ № 11 ТОВ «ЗТМК»

## 2.1 Модернізація плавильного обладнання шляхом заміни індукційної печі дуговою піччю постійного струму

### 2.1.1 Розрахунок параметрів системи електропостачання дугової печі постійного струму

Розрахунок електричного навантаження освітлювальної мережі проводимо оцінюючим методом питомих площ:

$$Pp = k \cdot Pyy \cdot S \cdot 10^{-3}, \tag{2.1}$$

де *k* - коефіцієнт, що враховує потужність пускових приладів залежно від джерела світла; *Руд* - питоме навантаження загального освітлення і-того цеху, Вт/м; S - площа і-го цеху, що підлягає освітленню, м.

$$Q_{ОСВ} = P_{ОСВ} \cdot tg\varphi, \tag{2.2}$$

де $tg\varphi = 0$ для ламп розжарення; $tg\varphi = 1{,}33$ для ламп типу ДРЛ; $tg\varphi = 1{,}73$ для люмінесцентних ламп.

Розрахунок електричного навантаження силової мережі електроспоживачів зазвичай виконують, починаючи з визначення параметрів окремих приймачів електричної енергії. Середній рівень їх електроспоживання оцінюють за допомогою коефіцієнта використання, а нерівномірність навантаження групи споживачів характеризують коефіцієнтами форми, максимуму або попиту.

Такий підхід переважно ґрунтується на статистичних даних і не завжди повною мірою враховує структуру технологічного процесу та взаємозв'язок між режимами роботи виробничого обладнання і фактичним споживанням електроенергії.

На формування електричних навантажень також впливають особливості організації трудової діяльності персоналу, виробничі та соціальні чинники, змінність роботи підприємства, тижневі й добові графіки навантаження. Додатково характер електроспоживання може змінюватися залежно від сезонних умов, переходу на зимовий або літній режим часу та інших організаційних чинників.

Розрахункова активна та реактивна потужність для силової мережі розраховується за наступними формулами:

$$P_P = P_{НОМ} \cdot K_C, \tag{2.3}$$

$$Q_P = P_P \cdot tg\varphi. \tag{2.4}$$

Сумарна електрична потужність визначається, як сума потужностей освітлювальної та силової мереж, за формулою:

$$S_P = \sqrt{(P_P + P_{ОСВ})^2 + (Q_P + Q_{ОСВ})^2}, \tag{2.5}$$

де $P_p$ і $Q_p$ - активна та реактивна потужності силової мережі;

$P_{осв}$ і $Q_{осв}$ - активна та реактивна потужності освітлювальної мережі.

Розрахунковий струм визначаємо за наступною формулою:

$$I_P = \frac{S_P}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ}}, \tag{2.6}$$

де Uном - номінальна напруга для високої та низької сторін живлення мереж живлення та розподільчої мережі.

Кількість трансформаторів КТП визначають з урахуванням категорії надійності електроприймачів, режиму їх роботи та добового графіка навантаження. За переважання споживачів II категорії доцільно застосовувати двотрансформаторну підстанцію. Використання однотрансформаторної КТП допускається за наявності резервного живлення від сусідньої підстанції по мережі 0,4 кВ або резервного трансформатора на складі.

Номінальну потужність трансформаторів вибирають за максимальним розрахунковим навантаженням з урахуванням компенсації реактивної потужності. Компенсувальні установки можуть розміщуватися на стороні 0,4 кВ, 6–10 кВ або одночасно на обох рівнях напруги. Оптимальний варіант визначають на основі техніко-економічного порівняння.

Розрахунок потужності компенсуючих пристроїв на низькій стороні за формулою:

$$Qнку = Qp - \Delta Qm, \tag{2.7}$$

де - $\Delta Qm$ втрати реактивної потужності,

$$\Delta Qm = \sqrt{S^2 ном.ст - Pp^2}. \tag{2.8}$$

Розрахунок втрат на ТП проводиться по наступній формулі:

$$\Delta Pm = n \cdot Pxx + \frac{1}{n} \cdot kз^2 \cdot Pкз. \tag{2.9}$$

Коефіцієнт завантаження розраховується за формулою:

$$Кзав = Sp/Sном. \tag{2.10}$$

У мережах напругою вище 1 кВ встановлюються компенсуючі пристрої на високій стороні. Сумарна розрахункова потужність ВКП визначають з умови:

$$Qвку = Qр + \Delta Qт + \sum \Delta Qктп - Qсд - Qр' - \sum Qнку.ст.. \qquad (2.11)$$

Цехові мережі напругою до 1 кВ можуть виконуватися за радіальною, магістральною або змішаною схемою.

Радіальні схеми забезпечують вищу надійність електропостачання та менші втрати електроенергії, однак потребують більшої кількості кабельно-провідникових матеріалів, значних капітальних витрат і складнішого монтажу.

Магістральні схеми мають нижчу вартість, простіші в монтажі та зручніші в експлуатації. Вони також дозволяють легше змінювати конфігурацію мережі у разі модернізації технологічного процесу. Водночас їх недоліками є нижча надійність і більші втрати електроенергії.

Переріз кабелів вибирають за розрахунковим навантаженням, допустимим нагріванням і втратою напруги. Для кабельних ліній переважно застосовують кабелі з алюмінієвими жилами, а за підвищених механічних впливів — броньовані кабелі. Для потужних приєднань доцільно використовувати кабелі з мідними жилами, які мають більшу пропускну здатність.

Перетин КЛ вибирається з 3 умов [1]:

1) за умовою економічної щільності струму. Розрахункове значення перетину знаходиться по формулі:

$$Fэк = \frac{Ip}{Jэк}; \qquad (2.12)$$

2) по термічній стійкості та струму КЗ. Термічно стійкий перетин до струмів КЗ визначають за формулою:

$$Sm = I\infty \cdot \sqrt{tn} / Km, \qquad (2.13)$$

де - $I\infty$ стале значення струму КЗ, А;

де *tn* - приведений час КЗ, він визначається як сума аперіодічної та періодичної складової часу струму КЗ:

$$tn = tna + tnn, \tag{2.14}$$

де Кт - температурний коефіцієнт, що враховує обмеження допустимої температури нагріву жил кабелю.

3) за умовами тривало допустимого нагріву:

$$Кл \cdot Кз \cdot Ідддоп \geq Іраб.мак. \tag{2.15}$$

Після визначення необхідного перерізу кабелю за умовами допустимого нагрівання, втрати напруги та економічної доцільності приймають найближче більше стандартне значення. Переріз проводів повітряних ліній вибирають переважно за економічною щільністю струму.

Автоматичні вимикачі підбирають за номінальним струмом, напругою мережі, вимикальною здатністю та параметрами спрацьовування захисних розчіплювачів. Номінальний струм автоматичного вимикача повинен відповідати розрахунковому струму приєднання та забезпечувати надійний захист мережі від перевантажень і коротких замикань. Стандартний ряд номінальних струмів автоматичних вимикачів становить 16, 25, 63, 100, 160, 250, 400, 630, 1000, 1600, 2500 і 4000 А.

Для захисту окремих приєднань у розподільних пунктах також можуть застосовуватися плавкі запобіжники. Їх вибір передбачає визначення типу запобіжника, його номінального струму та номінального струму плавкої вставки. Плавка вставка повинна відповідати стандартному значенню для обраного апарата та забезпечувати відключення пошкодженої ділянки у разі виникнення короткого замикання. У розподільних пристроях можуть

використовуватися запобіжники типу ПН-2 на струми 100, 250 і 400 А, а також НПН-2-60 з номінальним струмом 63 А.

Для комутації електроприймачів застосовують магнітні пускачі або контактори, які встановлюють безпосередньо біля обладнання або у складі комплектних пристроїв керування. Якщо пускорегулювальна апаратура постачається разом з електроприймачем, її додатковий вибір під час проєктування системи електропостачання не здійснюють.

Для електроприводів, що потребують дистанційного керування або регулювання режиму роботи, зокрема насосів, компресорів і приводів трубопровідної арматури, використовують щити станцій управління. Такі щити комплектуються відповідними блоками керування, комутаційною та захисною апаратурою.

Шинопроводи вибирають за розрахунковим струмом навантаження. Їх номінальний струм повинен бути не меншим за розрахунковий струм приєднаних споживачів. Після вибору шинопровід додатково перевіряють за допустимим нагріванням, електродинамічною стійкістю та допустимою втратою напруги.

Вибір шинопровода. Шинопроводи вибирають за розрахунковим току, за умовою $Ідл.доп \geq Ірозр$. Шинопровід перевіряють за умовою допустимої втрати напруги.

### 2.1.2 Вибір дугової печі постійного струму

На підприємстві для виконання плавильних операцій використовується індукційна піч типу ІСТ-1/0,8. Обладнання цього типу призначене для

застосування в ливарних цехах промислових підприємств різних галузей, а також може експлуатуватися в країнах із помірними та тропічними кліматичними умовами.

Піч виготовляється у кліматичному виконанні УХЛ4 відповідно до вимог ГОСТ 15150-69. Її експлуатація передбачається у закритих виробничих приміщеннях, розташованих на висоті не більше 1000 м над рівнем моря. Допустима температура навколишнього середовища становить від +5 до +40 °С. Відносна вологість повітря за температури +20 °С не повинна перевищувати 90 %, а за температури +40 °С — 50 %.

Навколишнє середовище в місці встановлення печі має бути невибухонебезпечним і не повинно містити агресивних газів або домішок, здатних пошкоджувати ізоляційні матеріали та металеві елементи обладнання. Концентрація пилу й парів у повітрі робочої зони повинна відповідати встановленим санітарно-гігієнічним вимогам. У місці розташування електропечі також не допускається наявність значних вібрацій і ударних навантажень.

Для охолодження обладнання використовується вода з температурою від +5 до +25 °С. Вона не повинна містити домішок, здатних утворювати осад у системі охолодження. Щоб уникнути появи конденсату на поверхнях обладнання, температура води має бути нижчою за температуру повітря у приміщенні не більше ніж на 15 °С.

Індукційна піч ІСТ-1/0,8 призначена для плавлення, перегрівання та витримування чорних і кольорових металів. Упродовж тривалого часу індукційні печі мали значні переваги порівняно з іншими типами плавильних агрегатів. Водночас їх експлуатація пов’язана з низкою істотних технічних і технологічних недоліків.

Одним із найбільш серйозних недоліків індукційних печей є підвищена вибухонебезпечність. Плавлення металу відбувається всередині водоохолоджуваної конструкції, стінки якої відокремлені від розплаву відносно тонким шаром футерування. У разі його пошкодження може виникнути контакт рідкого металу з охолоджувальною водою, що створює небезпеку аварійної ситуації. У зв’язку із цим експлуатація такого обладнання потребує постійного контролю стану футерування та системи охолодження.

Іншим недоліком є обмежена технологічна гнучкість індукційної плавки. У таких печах ускладнене проведення процесів із використанням гарячих шлаків, окиснювальних операцій та інших методів металургійного оброблення розплаву. Вибір матеріалу футерування також обмежується не лише вимогами технологічного процесу, а й необхідністю забезпечення безпечної експлуатації обладнання.

До недоліків індукційних печей належить і необхідність багаторазового завантаження шихтових матеріалів у розплав. У печах промислової частоти плавлення переважно здійснюють із залишенням частини рідкого металу, так званого «болота», тому повний злив розплаву не допускається. У середньочастотних печах повний злив є можливим, однак у порожній тигель завантажують лише початкову частину шихти, а решту матеріалів додають уже після утворення розплаву.

Такий спосіб завантаження зумовлений тим, що робочий об’єм індукційної печі приблизно відповідає об’єму готового розплаву, тоді як сипкий об’єм твердої шихти є значно більшим. У результаті технологічний процес потребує кількох послідовних завантажень, що збільшує тривалість плавки та ускладнює обслуговування печі.

Загалом обладнання, яке використовується в ливарному виробництві багатьох українських підприємств, значною мірою є фізично та морально

застарілим. Його експлуатація часто характеризується значним споживанням енергетичних ресурсів, недостатньою рентабельністю, нестабільною якістю готової продукції та невідповідністю сучасним екологічним вимогам. Тому модернізація плавильного обладнання є необхідною умовою підвищення ефективності, безпечності та конкурентоспроможності виробництва.

## 2.2 Впровадження системи керування швидкості обертання шпинделів металорізальних верстатів

Сумарні втрати активної потужності двигуна визначаються за формулою:

$$\Delta P_{\text{сум}} = [Q_{xx} \cdot (1 - K_{\text{н}}^2) + K_{\text{н}}^2 \cdot Q_{\text{н}}] \cdot K_{i.n} + \Delta P_{xx} + K_{\text{н}}^2 \cdot \Delta P_{\text{в.н.}}, \qquad (2.14)$$

де $\text{Q}_{\text{хх}} = \sqrt{3} \cdot \text{U}_{\text{н}} \cdot \text{I}_{\text{n.x.}}$ реактивна потужність, яка використовується двигуном з мережі при номінальному навантаженні, квар;

$U_{\text{н}}$ - номінальна напругі, В;

$I_{n.x.}$ - струм 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;

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

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

$tg\varphi_{\text{н}}$ - виробнича від номінального коефіцієнта потужності електродвигуна;

$K_{i.n.}$коефіцієнт втрат, $K_{i.n.} = 0{,}1$кВт/квар;

$\Delta P_{xx} = P_{\text{н}} \cdot (1 - \eta_{\text{н}}) \cdot \gamma / [\eta_{\text{н}} \cdot (1 + \gamma)]$ - 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% навантажені, кВт

$\gamma = \Delta P_{xx} / [(100 - \eta_{\text{н}}) - \Delta P_{xx}]$ - розрахунковий коефіцієнт, який залежить від конструкції електродвигуна.

Характеристики однотипних двигунів різних установок, встановлених в цеху (всього 29 шт.):

$P_{\text{н}} = 30$кВт; $U_{\text{н}} = 380$В;$\eta_{\text{н}} = 0{,}89$; $\cos\varphi = 0{,}9$; $I_{xx} = 16{,}8$А;$\Delta P_{xx} = 1{,}2$кВт, тоді:

$$Q_{xx} = \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 16{,}8 \cdot 10^{-3} = 11{,}05\text{квар};$$

$$K_{\text{н}} = \frac{P_{\text{ср}}}{P_{\text{н}}} = \frac{15}{30} = 0{,}5; \qquad (2.31)$$

$$\gamma = \frac{\Delta P_{xx}}{[(100-\eta_н)\cdot\Delta P_{xx}]} = \frac{1,2}{[(100-89)-1,2]} = 0,12; \qquad (2.32)$$

$$\Delta Ð_{â.í.} = Ð_í \cdot (1-\eta_í)/[\eta_í \cdot (1+\gamma)] = 30 \cdot \frac{1-0,89}{0,89\cdot(1+0,12)} = 3,3 \text{ кВт} \qquad (2.33)$$

Характеристики електродвигуна А2-71-6:

$P_н = 17\text{кВт}; U_н = 380\text{В}; \eta_н = 0,88; \cos\varphi = 0,9; I_{xx} = 13,5A; \Delta P_{xx} = 0,9\text{кВт},$

$Q_{xx2} = \sqrt{3}\cdot 380\cdot 13,5\cdot 10^{-3} = 8,9\text{квар};$

$$K_{н2} = \frac{P_{ср}}{P_{н2}} \qquad (2.34)$$

$$\gamma_2 = \Delta P_{xx2}/[(100-\eta_{н2})\cdot\Delta P_{xx2}] \qquad (2.35)$$

$$\Delta P_{в.н.2} = P_{н2}\cdot(1-\eta_{н2})/[\eta_{н2}\cdot(1+\gamma_2)] \qquad (2.36)$$

Сумарні втрати активної потужності двигуна:

$$\Delta P_{сум} = [11,05\cdot(1-0,5^2)+0,5^2\cdot 15]\cdot 0,1+1,2+0,5^2\cdot 3,3 = 5,16 \text{ кВт}$$

Сумарні втрати активної потужності двигуна:

$$\Delta P_{сум2} = [8{,}9 \cdot (1 - 0{,}88^2) + 0{,}88^2 \cdot 5] \cdot 0{,}1 + 0{,}08 + 0{,}88^2 \cdot 2{,}14 = 1{,}98 \text{кВт}.$$

Ефективність впровадження системи керування швидкості обертання шпинделів металорізальних верстатів визначається одержаним зниженням втрат активної потужності в кожному двигуні:

$$\Delta P = \Delta P_{сум} - \Delta P_{сум2} \tag{2.37}$$

Тобто, впровадження системи керування швидкості обертання шпинделів металорізальних верстатів, дозволить додатково економити підприємству близько 0,343 млн. кВт год/рік

## 2.3 Модернізація системи вентиляції з переходом від загальнообмінної до локальної

Вентиляційні системи залежно від зони обслуговування поділяються на загальнообмінні, місцеві та комбіновані. Загальнообмінна вентиляція забезпечує оновлення повітря в усьому об’ємі приміщення та застосовується для підтримання нормативних параметрів повітряного середовища. Місцева вентиляція призначена для уловлювання і видалення шкідливих речовин безпосередньо в місцях їх утворення, що дає змогу запобігти поширенню забруднень у виробничому приміщенні. Комбінована система поєднує загальний повітрообмін із локальним видаленням шкідливих виділень від найбільш інтенсивних джерел.

За способом переміщення повітря вентиляція поділяється на природну та механічну. У природних системах повітрообмін відбувається внаслідок різниці температур і тиску всередині та зовні будівлі, а також під впливом вітру. У механічних системах рух повітря забезпечується спеціальними повітродувними машинами, переважно вентиляторами осьового або відцентрового типу.

Осьовий вентилятор складається з лопаткового робочого колеса, розміщеного в циліндричному корпусі. Під час обертання колеса повітря, що надходить до вентилятора, переміщується вздовж його осі під дією лопаток. До основних переваг осьових вентиляторів належать порівняно проста конструкція, висока продуктивність, можливість регулювання подачі та зміни напрямку руху повітряного потоку. Водночас вони характеризуються невеликим створюваним тиском, який зазвичай перебуває в межах 30–300 Па, а також підвищеним рівнем шуму.

Відцентровий вентилятор має спіральний корпус, усередині якого розташоване лопаткове робоче колесо. Повітря надходить через вхідний отвір, потрапляє в канали між лопатками та під дією відцентрової сили переміщується від центра колеса до його периферії. Після цього повітряний потік збирається в спіральному корпусі та спрямовується до вихідного патрубка. Відцентрові вентилятори здатні створювати значно вищий тиск, який в окремих установках може перевищувати 10 000 Па, тому вони широко застосовуються в розгалужених системах повітроводів із великим аеродинамічним опором.

Конструкція та матеріал вентилятора визначаються складом і властивостями повітряного середовища, яке переміщується. Залежно від умов експлуатації використовуються вентилятори загального призначення, пилові, корозійностійкі та вибухозахищені. Під час вибору вентиляційного

обладнання необхідно враховувати потрібну продуктивність, величину створюваного тиску, аеродинамічний опір мережі, рівень шуму та особливості конструктивного виконання.

Окрім вентиляції, для забезпечення нормативного стану повітряного середовища у виробничих приміщеннях застосовуються системи кондиціонування. Вони повинні підтримувати встановлені значення температури, відносної вологості, швидкості руху та чистоти повітря як у теплий, так і в холодний періоди року відповідно до вимог ДСН 3.3.6.042-99 щодо мікроклімату виробничих приміщень і ГОСТ 12.1.005-88 щодо повітря робочої зони.

Кондиціонування повітря здійснюється за допомогою комплексу технічних засобів, об’єднаних у систему кондиціонування повітря. До її складу входять пристрої для очищення, нагрівання, охолодження, зволоження або осушення повітря, обладнання для його переміщення та розподілу, а також засоби автоматичного регулювання, дистанційного керування і контролю.

Основні елементи системи кондиціонування можуть бути повністю або частково об’єднані в одному агрегаті — кондиціонері. Застосування автоматизованого керування дає змогу підтримувати задані параметри повітряного середовища, адаптувати продуктивність обладнання до фактичного навантаження та зменшувати витрати електричної енергії на вентиляцію і кондиціонування.

## 2.4 Узгодження заходів з існуючим обладнанням цеху

Електропостачання ТОВ «ЗТМК» здійснюється на напрузі 35 кВ від вузлової підстанції 330/150/35 кВ. Наявна схема забезпечує передавання

електричної енергії до основних виробничих підрозділів підприємства, однак тривала експлуатація обладнання, зростання вимог до надійності електропостачання та необхідність зниження технологічних втрат зумовлюють потребу в її модернізації.

У межах технічного переоснащення системи електропостачання у 2024–2025 роках передбачається реконструкція наявної підстанції та встановлення комплектної двотрансформаторної блокової підстанції 35/6 кВ типу КТПБР(М) 35-4Н. До складу підстанції планується включити два силові масляні трансформатори типу ТРДНС-10000/35-У1 номінальною потужністю 10 000 кВА кожний.

Застосування двох силових трансформаторів дає змогу підвищити надійність електропостачання відповідальних споживачів. За нормального режиму роботи навантаження може розподілятися між двома агрегатами, а в разі аварійного або планового відключення одного з них живлення найбільш важливих електроприймачів забезпечуватиметься від трансформатора, що залишається в роботі.

Під час модернізації також передбачається заміна комутаційного обладнання, встановлення сучасних трансформаторів струму, роз’єднувачів, обмежувачів перенапруги та оновлення систем релейного захисту й автоматики. Реалізація зазначених заходів повинна забезпечити підвищення селективності захисту, скорочення часу локалізації аварійних режимів і покращення контролю за параметрами електричної мережі.

Для комутації електричних кіл напругою 35 кВ прийнято вакуумний вимикач зовнішнього встановлення типу ВР-35НС-35-20/1600 УХЛ1. Його конструкція не передбачає використання трансформаторного масла як дугогасного середовища. Ізоляція полюсів виконується із застосуванням кремнійорганічних матеріалів і повітряних проміжків.

Привід вимикача працює за принципом двопозиційної магнітної засувки. Таке конструктивне рішення забезпечує надійне утримання комутаційного апарата у ввімкненому або вимкненому положенні без постійного споживання електричної енергії приводом.

Основні технічні параметри вакуумного вимикача наведено в таблиці 2.1.

| Параметр | Значення |
|---|---|
| Номінальна напруга | 35 кВ |
| Найбільша робоча напруга | 40,5 кВ |
| Номінальний струм за частоти 50 Гц | 1600 А |
| Номінальний струм відключення короткого замикання | 20 кА |
| Найбільший піковий струм короткого замикання | 52 кА |
| Струм термічної стійкості протягом 3 с | 20 кА |
| Механічний ресурс | 30 000 циклів «увімкнення — вимкнення» |
| Комутаційний ресурс за номінального струму | 30 000 циклів |
| Комутаційний ресурс за номінального струму відключення | 55 циклів |
| Діапазон робочих температур | від –60 до +40 °С |

Використання вакуумного вимикача дає змогу підвищити пожежну та екологічну безпеку підстанції, зменшити обсяг експлуатаційного обслуговування та збільшити комутаційний ресурс обладнання. Відсутність масла в дугогасній камері виключає необхідність його регулярного контролю і заміни.

Для забезпечення роботи основного та резервного захисту повітряної лінії 35 кВ передбачається встановлення трансформаторів струму типу ТФЗМ-35Б-II У1 з коефіцієнтом трансформації 200/5 А. Трансформатори мають опорне конструктивне виконання, масляне наповнення та зовнішню полімерну ізоляцію.

Номінальна напруга трансформаторів струму становить 35 кВ, струм термічної стійкості — 18 кА, а струм динамічної стійкості — 48 кА. Кількість вторинних обмоток вибирається з урахуванням необхідності окремого

підключення пристроїв релейного захисту й автоматики, засобів автоматизованої системи комерційного обліку електроенергії та контрольних вимірювальних приладів.

Для підключення АСКОЕ передбачається окрема вимірювальна обмотка класу точності 0,5S. Пристрої релейного захисту приєднуються до окремих вторинних обмоток класу «Р». Такий розподіл вимірювальних і захисних кіл підвищує надійність роботи системи, забезпечує резервування та зменшує взаємний вплив підключених пристроїв.

Для захисту обладнання відкритого розподільчого пристрою 35 кВ від грозових і комутаційних перенапруг передбачається встановлення нелінійних обмежувачів перенапруги типу ОПН-П-35/40,5 УХЛ1 або сучасних сертифікованих аналогів із відповідними електричними характеристиками.

Обмежувачі перенапруги повинні мати полімерну ізоляцію, достатню енергоємність і захисний рівень, узгоджений з ізоляцією встановленого обладнання. Для контролю їх роботи передбачається застосування реєстраторів спрацьовування в захищеному полімерному корпусі.

Використання обмежувачів перенапруги дає змогу обмежити амплітуду імпульсних перенапруг до безпечного рівня та запобігти пошкодженню ізоляції трансформаторів, вимикачів, трансформаторів струму й іншого високовольтного обладнання.

Для створення видимого розриву електричного кола та безпечного проведення ремонтних робіт передбачається встановлення роз’єднувачів типу РДЗ-35/1000 УХЛ1. Вони мають горизонтально-поворотне конструктивне виконання, ручні приводи головних і заземлювальних ножів та вдосконалену контактну систему.

Підшипникові вузли роз’єднувачів розраховані на тривалу експлуатацію без необхідності регулярного розбирання. Наявність заземлювальних ножів

забезпечує безпечне заземлення відключених ділянок електроустановки перед початком технічного обслуговування.

Основні параметри роз’єднувачів становлять:

| Параметр | Значення |
|---|---|
| Номінальна напруга | 35 кВ |
| Номінальний струм | 1000 А |
| Номінальна частота | 50 Гц |
| Струм термічної стійкості | 31,5 кА |
| Струм динамічної стійкості | 80 кА |

Живлення підстанції здійснюється повітряною лінією 35 кВ. Її траса проходить переважно незаселеною пересіченою територією, де забезпечено можливість проїзду транспортних засобів і спеціальної техніки, необхідної для будівництва, огляду, ремонту та подальшої експлуатації лінії.

Уздовж усієї траси повітряної лінії формується охоронна зона. Її межі встановлюються з обох боків лінії від проєкції крайніх проводів у їх невідхиленому положенні. У межах охоронної зони повинні виконуватися встановлені обмеження щодо будівництва, складування матеріалів, висаджування високорослих дерев і проведення земляних робіт.

Для повітряної лінії 35 кВ прийнято багатодротяний сталеалюмінієвий провід марки АС-120/19. Як грозозахисний трос використовується сталевий канат марки ТК-9,1. Підвішування грозозахисного троса передбачається переважно на підходах до підстанцій, де ризик пошкодження обладнання прямими ударами блискавки є найбільшим.

Вибір перерізу проводу здійснюється з урахуванням допустимого тривалого струмового навантаження, механічної міцності, втрат напруги, умов нагрівання та можливості виникнення коронного розряду. Грозозахисний трос додатково перевіряється за умовою термічної стійкості під час проходження струмів короткого замикання.

Максимальне механічне напруження у проводі АС-120/19 приймається на рівні 13 кгс/мм². Для троса ТК-9,1 максимальне напруження становить 40 кгс/мм², а робоче напруження в прольотах приймається в межах 32–34 кгс/мм².

Розрахункове натягнення троса вибирається з урахуванням необхідної відстані між ним і фазними проводами. Такий підхід забезпечує потрібний рівень грозостійкості лінії та запобігає небезпечному зближенню проводу і троса за несприятливих погодних умов.

Для зменшення впливу вітрової вібрації на проводи передбачається встановлення гасителів вібрації. Місця їх розташування визначаються на підставі довжини прольотів, механічного натягнення проводів і характеристик застосованих опор.

Монтажні стріли провисання проводів і грозозахисного троса визначаються для різних температурних режимів. Вони повинні забезпечувати нормативні відстані до землі, будівель, споруд, автомобільних доріг та інших інженерних комунікацій.

Підвісна ізоляція вибирається з урахуванням номінальної напруги мережі, ступеня забруднення атмосфери та нормованої ефективної довжини шляху витоку. Для ділянок із першим ступенем забруднення застосовуються ізолятори типу ПСС-70А або їх сучасні аналоги.

На звичайних ділянках проводи закріплюються на опорах за допомогою підтримувальних ізолювальних підвісок. На переходах через інженерні споруди та інші повітряні лінії передбачається подвійне кріплення проводів, що підвищує механічну надійність відповідальних ділянок.

На анкерно-кутових опорах грозозахисний трос закріплюється ізольовано за допомогою натяжних підвісок. Застосування ізольованого кріплення дає змогу контролювати струми, що протікають через трос, і

забезпечувати його приєднання до заземлювального пристрою в передбачених проєктом точках.

Проміжні опори повітряної лінії виконуються на основі центрифугованих залізобетонних стійок. Анкерні та кутові опори передбачаються металевими. На ділянці перетину з повітряною лінією 150 кВ застосовуються анкерні опори, конструкція яких забезпечує необхідне взаємне розташування проводів і дотримання нормативних відстаней.

Металеві конструкції опор виготовляються з конструкційної сталі та повинні бути захищені від атмосферної корозії. Захисне покриття передбачає очищення поверхні, нанесення ґрунтувального шару та подальше фарбування атмосферостійкими лакофарбовими матеріалами.

Грозозахисний трос, металеві відтяжки й інші відкриті сталеві елементи додатково покриваються електротехнічним антикорозійним мастилом. Стан захисного покриття повинен періодично перевірятися під час планових оглядів повітряної лінії.

Установлення залізобетонних опор здійснюється в попередньо пробурені котловани з максимально можливим збереженням природної структури ґрунту. Порожнини між стійкою та стінками котловану заповнюються піщано-гравійною сумішшю з пошаровим ущільненням.

Для металевих опор застосовуються уніфіковані залізобетонні фундаменти, які встановлюються у відкриті котловани. Тип і розміри фундаментів визначаються залежно від навантажень на опору, характеристик ґрунту та глибини його промерзання.

Оскільки частина опор установлюється на ґрунтах другого ступеня просадності, під залізобетонними стійками передбачається влаштування подушки з піщано-гравійної суміші завтовшки близько 0,5 м. Навколо опори

також формується водонепроникне глиняне вимощення з ухилом від стійки, що запобігає накопиченню поверхневих вод.

Захист повітряної лінії та підстанції від прямих ударів блискавки здійснюється за допомогою грозозахисного троса, який підвішується на підходах до підстанцій. На ділянці проходження під чинною повітряною лінією 150 кВ необхідність установлення троса визначається умовами перетину та взаємного екранування.

Грозозахисний трос приєднується до заземлювальних пристроїв опор. Усі опори повітряної лінії повинні мати надійне заземлення, а опір заземлювального пристрою за нормальних умов не повинен перевищувати 10 Ом.

У процесі експлуатації передбачається регулярний контроль стану заземлювальних спусків, контактних з'єднань і величини опору заземлення. Особливу увагу необхідно приділяти опорам, розташованим на підходах до підстанцій і в місцях перетину з іншими інженерними об'єктами.

На стороні нижчої напруги передбачається встановлення комплектного розподільчого пристрою 6 кВ типу КРПЗ-6 на базі комірок із вакуумними вимикачами. Розподільчий пристрій забезпечує приймання електричної енергії від силових трансформаторів, її розподіл між цеховими підстанціями та захист приєднань від аварійних режимів.

Комплектна трансформаторна підстанція розрахована на зовнішнє встановлення та експлуатацію в кліматичних умовах виконання У1. Усі металеві шафи й блоки повинні мати належний ступінь захисту від атмосферних опадів, пилу та випадкового дотику до струмопровідних частин.

Основні технічні характеристики комплектної двотрансформаторної підстанції 35/6 кВ наведено в таблиці.

Таблиця 2.2 – Технічні характеристики КТПБР 35/6 кВ

| Найменування параметра | Одиниця вимірювання | Значення |
|---|---|---|
| Номінальна потужність силових трансформаторів | кВА | 2×10 000 |
| Номінальна напруга високої сторони | кВ | 35 |
| Номінальна напруга низької сторони | кВ | 6 |
| Найбільша робоча напруга | кВ | 40,5 |
| Номінальний струм головних кіл | А | 630 |
| Номінальний струм збірних шин | А | 1000 |
| Ударний струм короткого замикання | кА | 52 |
| Струм термічної стійкості протягом 3 с | кА | 20 |
| Номінальна напруга допоміжних кіл змінного струму | В | 380/220 |
| Номінальна напруга кіл постійного струму | В | 220 |

Схема головних електричних з’єднань підстанції виконується за принципом двох блоків «лінія — трансформатор». Кожний блок містить повітряну лінію 35 кВ, комутаційний апарат і силовий трансформатор 35/6 кВ.

Між блоками передбачається неавтоматична перемичка з боку ліній 35 кВ. Така схема дає змогу виконувати оперативні перемикання, виводити окремі елементи в ремонт і забезпечувати резервування живлення за допустимих режимів роботи мережі.

Перелік основного обладнання первинних кіл підстанції наведено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Основне електрообладнання первинних кіл КТПБР 35/6 кВ

| Найменування обладнання | Тип або характеристика |
|---|---|
| Силовий трансформатор 35/6 кВ, 10 МВА | ТРДНС-10000/35-У1 |
| Вакуумний вимикач 35 кВ | ВР-35НС-35-20/1600 УХЛ1 або сучасний аналог |
| Роз’єднувач із заземлювальним ножем | РДЗ.1-35(Б)/1000 У1 |
| Роз’єднувач із двома заземлювальними ножами | РДЗ.2-35(Б)/1000 У1 |
| Трансформатор струму 35 кВ | ТФЗМ-35Б-II У1, 200/5 А |
| Обмежувач перенапруги | ОПН-П-35/40,5 УХЛ1 або сучасний аналог |
| Комплектний розподільчий пристрій 6 кВ | КРПЗ-6 на базі комірок КУ-10Ц |
| Пристрої релейного захисту й автоматики | Мікропроцесорні термінали РЗА |
| Система обліку електроенергії | АСКОЕ з окремими вимірювальними колами |

Під час реалізації проєкту у 2024–2025 роках доцільно застосовувати мікропроцесорні пристрої релейного захисту, автоматики та реєстрації аварійних подій. Вони забезпечують виконання максимального струмового захисту, струмової відсічки, захисту від замикань на землю, контролю напруги та автоматичного введення резерву.

Мікропроцесорні термінали дають змогу передавати інформацію до автоматизованої системи диспетчерського керування, реєструвати струми й напруги під час аварійних режимів та зберігати хронологію спрацьовувань. Це спрощує аналіз пошкоджень і скорочує тривалість відновлення нормального режиму електропостачання.

Інтеграція підстанції з АСКОЕ забезпечує автоматичний збір інформації про активну та реактивну електроенергію, максимальну потужність, коефіцієнт потужності й добові графіки навантаження. Отримані дані можуть використовуватися для складання електробалансу та контролю результативності енергозберігаючих заходів.

Модернізація системи електропостачання ТОВ «ЗТМК» у 2024–2025 роках повинна забезпечити зниження технічних втрат електричної енергії, підвищення пропускної здатності мережі та покращення надійності живлення виробничих споживачів.

Застосування сучасного комутаційного обладнання, автоматизованого обліку, мікропроцесорного релейного захисту та двотрансформаторної схеми дасть змогу зменшити ризик тривалих аварійних перерв, скоротити витрати на технічне обслуговування й забезпечити можливість подальшого розвитку електричних навантажень підприємства.

Отже, реконструкція підстанції 35/6 кВ є важливим складником комплексної програми підвищення енергоефективності ТОВ «ЗТМК». Запропоновані технічні рішення спрямовані не лише на оновлення фізично

застарілого обладнання, а й на створення сучасної системи контролю, захисту та керування електропостачанням підприємства

## 2.5 Автоматизована система контролю та обліку енергоспоживання

Релейний захист чарунки 35 кВ виконано на базі мікропроцесорного термінала типу 7SJ6126-5EB62-1FB1 виробництва компанії Siemens. Пристрої керування, захисту та сигналізації обладнання, установленого на відкритому розподільчому пристрої 35 кВ, розміщуються на наявних панелях у релейному залі та приміщенні головного щита керування підстанції.

Панелі релейного захисту, керування, обліку та сигналізації інтегровані до загальнопідстанційної системи телесигналізації та автоматизованої системи комерційного обліку електроенергії. Таке технічне рішення забезпечує централізований контроль режимів роботи електрообладнання, оперативне отримання інформації про його стан і дистанційне спостереження за параметрами електроспоживання.

Підключення обладнання до систем телесигналізації та АСКОЕ дає змогу контролювати положення комутаційних апаратів із диспетчерського пункту, реєструвати активну та реактивну потужність, аналізувати режими електроспоживання та своєчасно виявляти відхилення в роботі електроустановок.

Для зменшення впливу електромагнітних завад, запобігання наведенням напруги та помилковим спрацьовуванням пристроїв релейного захисту в колах керування і сигналізації застосовуються екрановані контрольні кабелі.

Для захисту повітряної лінії 35 кВ, що відходить від живильної підстанції та забезпечує електропостачання підстанції 35/6 кВ, передбачено комплекс основних і резервних захистів та пристроїв автоматики.

Струмова відсічка забезпечує швидке відключення коротких замикань, які виникають у межах захищеної ділянки лінії. Максимальний струмовий захист виконує функцію основного або резервного захисту під час виникнення надструмів і коротких замикань, які не були усунені струмовою відсічкою.

Автоматичне частотне розвантаження призначене для відключення частини споживачів у разі небезпечного зниження частоти в енергосистемі. Його застосування сприяє відновленню балансу між виробництвом і споживанням активної потужності та запобігає подальшому розвитку системної аварії.

Автоматичне повторне ввімкнення забезпечує відновлення живлення лінії після її відключення внаслідок нестійкого пошкодження. Частотне автоматичне повторне ввімкнення використовується для повернення відключених споживачів після нормалізації частоти в електричній мережі.

У схемі захисту також передбачено контроль залишкової напруги на відключеній лінії 35 кВ під час її переведення в ремонтний режим. Такий контроль необхідний для підтвердження відсутності небезпечної напруги перед виконанням оперативних перемикань і ремонтних робіт.

Додатково здійснюється контроль положення вимикача, цілісності запобіжників у колах напруги, справності кіл керування та функціонального стану пристроїв релейного захисту й автоматики. У разі аварійного відключення вимикача або спрацювання будь-якого із захистів відповідний сигнал передається на панель керування та до системи телесигналізації.

Для запобігання помилковим операціям персоналу в чарунці 35 кВ № 347 передбачено оперативне блокування роз’єднувачів і заземлювальних ножів.

Система блокування виключає можливість виконання неприпустимих перемикань, зокрема ввімкнення заземлювального ножа за наявності напруги або оперування роз’єднувачем під навантаженням.

Проєктом також передбачено телемеханізацію чарунки № 347. До наявного пристрою телемеханіки передаються сигнали про ввімкнене або вимкнене положення вимикача, а також виміряні значення активної та реактивної потужності. Передавання аналогових параметрів здійснюється через відповідні вимірювальні перетворювачі.

Апаратура керування та захисту обладнання відкритого розподільчого пристрою 35 кВ, а також засоби загальнопідстанційної сигналізації розміщуються на панелях загальнопідстанційного пункту керування. Пристрої керування, захисту та сигналізації приєднань 6 кВ установлюються безпосередньо в релейних відсіках чарунок закритого розподільчого пристрою 6 кВ.

Для захисту силових понижувальних трансформаторів 35/6 кВ номінальною потужністю 10 МВА передбачено комплекс основних і резервних захистів, автоматики та сигналізації.

Основним швидкодійним захистом трансформатора є диференційний захист. Його дія ґрунтується на порівнянні струмів на стороні вищої та нижчої напруги. У разі внутрішнього пошкодження трансформатора виникає диференційний струм, що спричиняє швидке відключення трансформатора з обох сторін.

Максимальний струмовий захист виконує функцію резервного захисту від зовнішніх і внутрішніх коротких замикань. Захист від перевантаження контролює тривале перевищення допустимого струму та запобігає надмірному нагріванню обмоток трансформатора.

Газовий захист реагує на виділення газу та рух масла в баку трансформатора, які можуть виникати внаслідок внутрішніх пошкоджень, місцевого перегрівання або електричного пробою ізоляції. Залежно від інтенсивності процесу газовий захист може діяти на сигнал або відключення трансформатора.

Для прискореного відключення пошкоджень на шинах 6 кВ застосовується логічний захист шин. Його робота базується на аналізі пуску струмових захистів приєднань і стану вимикачів. Це дає змогу швидко визначити пошкоджену ділянку та відключити її з мінімально можливою витримкою часу.

У схемі також реалізовано контроль кіл відключення та положення вимикачів. Система сигналізації інформує персонал про спрацювання захистів, пошкодження кіл відключення, несправність пристроїв РЗА та аварійне вимкнення комутаційних апаратів.

Підтримання необхідного рівня напруги на стороні 6 кВ здійснюється за допомогою автоматичного регулювання напруги силового трансформатора під навантаженням. Регулятор керує пристроєм перемикання відгалужень обмотки трансформатора без його відключення від мережі.

Автоматичне регулювання дає змогу компенсувати зміни напруги, спричинені коливаннями навантаження, та забезпечити її підтримання в установлених межах. Це позитивно впливає на режими роботи електродвигунів, освітлювальних установок та іншого технологічного обладнання.

Для приєднань розподільчого пристрою 6 кВ передбачені струмова відсічка, максимальний струмовий захист, захист від однофазних замикань на землю, дуговий захист та пристрій резервування відмови вимикача.

Захист від замикання на землю реагує на появу струму або напруги нульової послідовності в разі пошкодження ізоляції однієї з фаз. Його застосування дає змогу визначати аварійне приєднання та запобігати переходу однофазного замикання в багатофазне.

Захист від дугових замикань призначений для швидкого відключення пошкоджень, які супроводжуються виникненням електричної дуги всередині чарунок. Принцип його роботи базується на одночасному контролі спалаху світла та збільшення струму. Висока швидкодія такого захисту зменшує масштаби пошкодження обладнання та підвищує безпеку персоналу.

Пристрій резервування відмови вимикача вводиться в дію, якщо після надходження команди на відключення пошкодженого приєднання його вимикач не розімкнув електричне коло. У такому випадку пристрій формує команду на відключення суміжних вимикачів, через які продовжується живлення місця пошкодження.

Система сигналізації приєднань 6 кВ забезпечує передавання повідомлення про замикання на землю на шинах, положення вимикачів, справність пристроїв релейного захисту, стан кіл керування та аварійні відключення.

Для підвищення надійності електропостачання на стороні 6 кВ передбачено автоматичне введення резерву. У разі зникнення напруги на одній із секцій шин АВР автоматично відключає пошкоджене або знеструмлене приєднання та подає напругу від резервного джерела.

Робота АВР здійснюється лише за умови наявності необхідної напруги на резервному вводі та відсутності блокувальних сигналів. Це запобігає ввімкненню резервного джерела на пошкоджену секцію шин.

Застосовані в проєкті мікропроцесорні пристрої керування, захисту та сигналізації відповідають сучасним вимогам до автоматизації підстанцій. Вони

поєднують у межах одного термінала функції релейного захисту, вимірювання, керування, реєстрації подій, самодіагностики та передавання інформації.

Використання цифрових терміналів підвищує наочність контролю за роботою комплектного розподільчого пристрою. Оператор отримує доступ до більшої кількості вимірюваних параметрів, аварійних повідомлень і даних про положення комутаційних апаратів.

Інформація може відображатися на динамічних екранах автоматизованого робочого місця. Це дає персоналу можливість своєчасно оцінювати зміни режиму електричної мережі та вживати заходів для запобігання розвитку аварійної ситуації.

Мікропроцесорні пристрої забезпечують дистанційне керування як функціями самого термінала релейного захисту, так і первинним обладнанням підстанції. З диспетчерського пункту можуть подаватися команди на ввімкнення або відключення вимикачів, зміну режимів автоматики та перевірку стану приєднань.

Важливою перевагою цифрових пристроїв є постійна самодіагностика. Термінал контролює стан власного програмного забезпечення, джерел живлення, вимірювальних каналів, кіл відключення та зв’язку із зовнішніми системами.

Завдяки постійній діагностиці стає можливим перехід від періодичного або післяаварійного технічного обслуговування до обслуговування за фактичним станом обладнання. Виявлення відхилень на ранній стадії дає змогу проводити профілактичні роботи до виникнення серйозного пошкодження.

Архітектура мікропроцесорної системи дає змогу поступово розширювати її функціональні можливості. У процесі реконструкції можуть додаватися нові вимірювальні канали, алгоритми захисту, функції автоматики, керування та передавання даних.

Зміна окремих характеристик захисту в багатьох випадках виконується шляхом коригування програмних параметрів без необхідності заміни апаратної частини. Це спрощує адаптацію системи до зміни конфігурації мережі або режимів роботи електрообладнання.

Мікропроцесорні термінали також забезпечують реєстрацію електричних параметрів у передаварійному та аварійному режимах. У пам’яті пристрою зберігаються значення струмів, напруг, частоти, активної та реактивної потужності, дискретні сигнали та послідовність спрацювання захистів.

Збережені осцилограми та журнали подій дають змогу виконувати детальний післяаварійний аналіз на комп’ютері. За їх допомогою можна визначити момент виникнення пошкодження, характер аварійного режиму, правильність роботи захистів і послідовність перемикань комутаційних апаратів.

У традиційних схемах на основі електромеханічних реле можливість отримання такого обсягу інформації практично відсутня. Тому впровадження мікропроцесорного захисту суттєво покращує якість експлуатації, скорочує тривалість пошуку пошкоджень і підвищує загальну надійність системи електропостачання підстанції.

### 2.5.1 Вибір засобів вимірювання споживання електричної енергії

Організація комерційного та технічного обліку електричної енергії на ТОВ «ЗТМК»

У 2024–2025 роках одним із важливих напрямів підвищення енергетичної ефективності ТОВ «ЗТМК» є вдосконалення системи обліку

електричної енергії. Наявність достовірної інформації про обсяги та режими електроспоживання дає змогу контролювати навантаження, складати електроенергетичні баланси, виявляти непродуктивні втрати та оцінювати фактичні результати реалізації енергозберігаючих заходів.

Розрахунковий комерційний облік електроенергії здійснюється на межі балансової належності електричних мереж. Вимірювальні прилади встановлюються на панелі обліку чарунки 35 кВ № 347 підстанції 330/150/35 кВ. Таке розташування забезпечує фіксацію повного обсягу електроенергії, що надходить до системи електропостачання підприємства.

Для комерційного обліку застосовуються трифазні електронні багатофункціональні лічильники типу SL 7000 Smart трансформаторного ввімкнення. Вони забезпечують вимірювання активної та реактивної електричної енергії в однотарифному або багатотарифному режимі, фіксують параметри навантаження та можуть інтегруватися до автоматизованої системи комерційного обліку електроенергії.

Технічний облік організовується не лише на вводі 35 кВ, а й на приєднаннях розподільчого пристрою 6 кВ підстанції 35/6 кВ. Це дає змогу визначати розподіл електричної енергії між окремими виробничими підрозділами та відокремлювати витрати на власні потреби підстанції.

Таблиця 2.4 – Організація обліку електричної енергії на ТОВ «ЗТМК»

| Вид обліку | Місце встановлення приладів | Основне призначення | Вимірювані параметри |
|---|---|---|---|
| Комерційний | Панель обліку чарунки 35 кВ № 347 ПС 330/150/35 кВ | Розрахунки за отриману електроенергію та контроль межі балансової належності | Активна і реактивна енергія, максимальна потужність |
| Технічний на вводі | Чарунка 35 кВ № 347 | Контроль режимів електропостачання підприємства | Напруга, струм, активна, |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | | | реактивна і повна потужність |
| Технічний на стороні 6 кВ | Приєднання ЗРУ-6 кВ підстанції 35/6 кВ | Визначення споживання окремих цехів і технологічних ділянок | Активна та реактивна енергія, графіки навантаження |
| Облік власних потреб | Приєднання власних потреб підстанції | Визначення витрат на освітлення, опалення, вентиляцію, керування та допоміжне обладнання | Активна і реактивна енергія |
| Автоматизований облік | Сервер або автоматизоване робоче місце АСКОЕ | Централізований збір, зберігання й аналіз інформації | Дані всіх підключених точок обліку |

Вимірювальні кола виконуються відповідно до вимог, установлених для вторинних кіл обліку електроенергії. Під час їх улаштування враховуються матеріал, довжина і поперечний переріз контрольних кабелів, втрати напруги у вимірювальних колах, характеристики трансформаторів струму та напруги, а також розміщення випробувальних блоків і захисних апаратів.

Для запобігання несанкціонованому втручанню передбачається пломбування лічильників, випробувальних блоків, клемних з’єднань і всіх інших елементів, зміна стану яких може вплинути на результати вимірювання. Доступ до програмування лічильників також обмежується системою паролів із різними рівнями повноважень.

Для комерційних точок обліку застосовуються вимірювальні прилади підвищеної точності. Клас точності лічильника, трансформаторів струму та трансформаторів напруги повинен відповідати призначенню точки обліку та прийнятій схемі вимірювання.

Характеристика лічильників SL 7000 Smart

Лічильник SL 7000 Smart є мікропроцесорним багатофункціональним вимірювальним пристроєм, призначеним для комерційного і технічного обліку електричної енергії у трифазних мережах змінного струму. Його використання є доцільним на великих промислових підприємствах, де необхідно не лише

визначати загальний обсяг споживання, а й аналізувати графіки електричного навантаження.

Лічильник може працювати в однотарифному та багатотарифному режимах. Кількість тарифних зон визначається програмними налаштуваннями та може досягати 16. Це дає змогу розподіляти споживання електроенергії за періодами доби та оцінювати можливість перенесення частини технологічного навантаження на години з меншою вартістю електроенергії.

Прилад вимірює фазні струми й напруги, активну, реактивну та повну потужність, коефіцієнт потужності, частоту мережі, активну і реактивну енергію в різних напрямках. Результати вимірювань відображаються на рідкокристалічному дисплеї та зберігаються в енергонезалежній пам’яті.

Таблиця 2.5 – Основні технічні характеристики лічильника SL 7000 Smart

| Найменування характеристики | Значення | Примітка |
|---|---|---|
| Клас точності обліку активної енергії | 0,5S або 1,0 | Залежить від модифікації |
| Номінальні напруги | 57/100; 63/110; 220/380; 230/400 В | Для трансформаторного або безпосереднього ввімкнення |
| Робочий діапазон напруги | приблизно ±20 % від номінального значення | Залежить від виконання |
| Номінальна частота | 50 Гц | Виконання 60 Гц може постачатися окремо |
| Допустиме відхилення частоти | ±5 % | Від номінального значення |
| Варіанти номінального і максимального струму | 1(2); 1(1,2); 1(6); 2(6); 2(10) А | Залежно від модифікації |
| Поріг чутливості | 0,1 або 0,4 % номінальної потужності | Залежно від класу та виконання |
| Кількість тарифних зон | до 16 | Програмується |
| Кількість каналів графіка навантаження | до 16 | Параметри каналів задаються програмно |
| Максимальна тривалість зберігання профілів | до 900 діб | Залежить від інтервалу усереднення |
| Оптичний інтерфейс | Оптичний порт | Для локального зчитування і програмування |

| | | |
|---|---|---|
| Цифрові інтерфейси | RS-232, RS-485 | Для інтеграції з АСКОЕ |
| Додатковий канал зв’язку | GSM-модем | Залежно від комплектації |

Вимірювальна частина лічильника містить датчики струму та напруги, аналого-цифрові перетворювачі, спеціалізований вимірювальний мікропроцесор, мікроконтролер, енергонезалежну пам’ять та комунікаційні модулі.

Сигнали струму надходять до вимірювального тракту через трансформатори струму, а сигнали напруги — через резистивні подільники. Аналого-цифрові перетворювачі формують дискретні значення вхідних сигналів, після чого мікропроцесор обчислює електричні параметри.

Результати передаються до мікроконтролера, який виконує їх накопичення, відображення на дисплеї та передавання через інтерфейси зв’язку. Прив’язка інформації до дати й часу дає змогу відновити характер зміни навантаження за будь-який доступний період.

Функціональні можливості системи обліку

Важливою перевагою SL 7000 Smart є можливість формування профілів навантаження. Лічильник накопичує значення електричної енергії та потужності за встановленими інтервалами усереднення. Після зчитування даних можуть бути побудовані добові, тижневі, місячні та річні графіки активного й реактивного навантаження.

Такі графіки дозволяють визначити максимуми споживання, тривалість пікових навантажень, рівень нічного споживання та наявність непродуктивної роботи обладнання. На підставі отриманої інформації можуть розроблятися заходи щодо вирівнювання графіка електричного навантаження.

Лічильник може формувати сигнал у разі перевищення заданої межі потужності. Цей сигнал використовується для попередження диспетчера або автоматичного обмеження частини навантаження. Після зниження споживаної потужності відключене обладнання може бути повторно введене в роботу.

Таблиця 2.6 – Основні функціональні можливості SL 7000 Smart та АСКОЕ

| Функція | Зміст функції | Практичне значення |
|---|---|---|
| Багатотарифний облік | Розподіл електроенергії за тарифними зонами | Оптимізація графіка роботи обладнання |
| Формування профілів навантаження | Зберігання даних за встановленими інтервалами часу | Аналіз піків і нерівномірності споживання |
| Вимірювання параметрів мережі | Контроль напруги, струму, потужності, частоти та коефіцієнта потужності | Виявлення ненормальних режимів |
| Контроль максимальної потужності | Фіксація найбільшого значення навантаження | Недопущення перевищення заявленої потужності |
| Управління навантаженням | Формування сигналу на реле при перевищенні встановленого порога | Автоматичне обмеження другорядних споживачів |
| Самодіагностика | Контроль функціонування внутрішніх вузлів лічильника | Підвищення достовірності обліку |
| Захист від несанкціонованого доступу | Паролі, журнали програмування, пломбування | Збереження комерційної інформації |
| Журнал перерв живлення | Фіксація кількості, тривалості, дати й часу відключень | Аналіз надійності електропостачання |
| Журнал подій | Реєстрація виходу контрольованих параметрів за встановлені межі | Визначення причин порушення режиму |
| Журнал зв’язку | Фіксація сеансів зчитування та програмування | Контроль доступу до приладу |
| Автоматичне самозчитування | Фіксація показань у задану дату | Формування місячної звітності |
| Контроль якості електроенергії | Порівняння параметрів із програмованими межами | Виявлення відхилень напруги та струму |

Система паролів передбачає декілька рівнів доступу. Нижчий рівень дозволяє лише переглядати та зчитувати інформацію, тоді як зміна параметрів, тарифного календаря або конфігурації каналів доступна тільки уповноваженим працівникам.

У журналі перерв живлення зберігаються кількість відключень, їх загальна тривалість, дата та час останнього зникнення і відновлення напруги.

Журнал подій містить інформацію про вихід напруги, струму, потужності та інших параметрів за встановлені межі.

Журнал зв’язку використовується для контролю доступу до приладу. У ньому фіксуються дата і час зчитування, програмування та останньої зміни конфігурації лічильника.

Інтеграція лічильників до АСКОЕ

Наявність цифрових інтерфейсів дає змогу інтегрувати прилади обліку в автоматизовану систему. Збір інформації може здійснюватися через оптичний порт, імпульсні канали, інтерфейси RS-232 і RS-485, телефонні модеми або GSM-зв’язок.

Для організації внутрішньопідприємницької мережі можуть застосовуватися інтерфейсні перетворювачі типу ADAM-4520. Вони забезпечують узгодження інтерфейсів RS-232 і RS-485 та дають змогу об’єднувати віддалені прилади обліку в єдину інформаційну мережу.

Інтерфейс RS-485 є доцільним для промислових умов, оскільки характеризується високою завадостійкістю та дозволяє передавати інформацію на значні відстані. До одного послідовного каналу може бути підключено декілька адресних пристроїв.

Таблиця 2.7 – Характеристики системи передавання даних АСКОЕ

| Параметр | Характеристика |
|---|---|
| Основний фізичний інтерфейс | Двопровідний RS-485 |
| Додатковий інтерфейс | RS-232 |
| Режим передавання даних | Асинхронний напівдуплексний |
| Швидкість обміну | 1200–115 200 біт/с |
| Максимальна довжина сегмента RS-485 | до 1200 м |
| Максимальна кількість пристроїв на один порт | до 256 |
| Протокол обміну | Адресний символьний протокол ASCII |
| Контроль правильності передавання | Перевірка контрольної суми |
| Формат даних | 1 стартовий біт, 8 біт даних, 1 стоповий біт |

| | |
|---|---|
| Можливість підключення пристроїв без зупинки мережі | Передбачена |
| Захист каналів | Придушення завад і імпульсних перенапруг |
| Напруга живлення комунікаційних модулів | 10–30 В постійного струму |
| Захист живлення | Захист від неправильної полярності |
| Діапазон робочої температури | від –10 до +70 °C |
| Температура зберігання | від –25 до +85 °C |
| Допустима відносна вологість | 5–95 % без утворення конденсату |
| Монтаж | На DIN-рейку або панель |

Інформація, зібрана з лічильників, передається на сервер або автоматизоване робоче місце енергетичної служби підприємства. Програмне забезпечення забезпечує формування звітів, графіків навантаження, балансів електроенергії та переліку аварійних або попереджувальних подій.

Централізований збір даних виключає необхідність регулярного ручного знімання показань і зменшує ймовірність помилок персоналу. Диспетчер отримує можливість контролювати поточне навантаження та порівнювати його із запланованими або договірними значеннями.

АСКОЕ також дозволяє визначати небаланси між вводом підприємства та цеховими точками обліку. Значний небаланс може свідчити про підвищені втрати в трансформаторах і кабельних лініях, несправність засобів обліку або наявність неврахованого споживання.

Оцінювання можливостей енергозбереження

За результатами аналізу режимів електроспоживання ТОВ «ЗТМК» визначено кілька основних напрямів скорочення витрат електричної енергії. До них належать удосконалення технології нагрівання металу, впровадження регульованих електроприводів металорізальних верстатів та модернізація вентиляційної системи.

Перехід до більш ефективного способу нагрівання металу може забезпечити скорочення тривалості технологічного циклу та зменшення питомих витрат електроенергії. Остаточний вибір між індукційним і дуговим

нагріванням повинен здійснюватися з урахуванням виду металу, необхідної якості продукції, продуктивності та техніко-економічних показників обладнання.

Упровадження регулювання швидкості обертання шпинделів металорізальних верстатів дає змогу узгоджувати потужність електропривода з фактичним технологічним навантаженням. При цьому зменшуються втрати під час роботи з неповним завантаженням, покращується якість механічного оброблення та скорочується зношування обладнання.

Модернізація вентиляції передбачає перехід від виключно загальнообмінного повітрообміну до комбінованої системи з місцевим видаленням шкідливих речовин. Локальне уловлювання забруднень безпосередньо біля джерела дає змогу зменшити необхідний обсяг повітря, що переміщується вентиляторами, і відповідно скоротити споживання електроенергії.

Таблиця 2.8 – Розрахункові можливості енергозбереження на ТОВ «ЗТМК»

| № | Запропонований захід | Очікувана річна економія, тис. кВт·год | Частка в загальній економії, % |
|---|---|---|---|
| 1 | Удосконалення технології плавлення та нагрівання металу | 95 | 12,65 |
| 2 | Упровадження регулювання швидкості обертання шпинделів металорізальних верстатів | 221 | 29,43 |
| 3 | Модернізація вентиляції з використанням місцевих витяжних систем | 435 | 57,92 |
| | **Усього** | **751** | **100,00** |

Найбільший потенціал енергозбереження пов’язаний із модернізацією вентиляційної системи. Розрахункова економія від упровадження місцевої вентиляції становить 435 тис. кВт·год на рік, або близько 57,9 % загального результату.

Регулювання швидкості шпинделів металорізальних верстатів може забезпечити економію близько 221 тис. кВт·год на рік. Частка цього заходу становить приблизно 29,4 % сумарного потенціалу.

Удосконалення технології нагрівання металу дозволяє додатково скоротити річне споживання приблизно на 95 тис. кВт·год. Загальна розрахункова економія від реалізації трьох заходів становить 751 тис. кВт·год на рік.

Упровадження АСКОЕ не лише забезпечує достовірний комерційний облік, а й створює інформаційну основу для контролю результативності зазначених заходів. Порівняння графіків навантаження до та після модернізації дасть змогу визначити фактичну економію, оцінити зміни питомого електроспоживання та своєчасно виявляти відхилення від запланованих показників.

Отже, модернізація системи обліку електричної енергії на ТОВ «ЗТМК» у 2024–2025 роках спрямована на підвищення точності вимірювань, автоматизацію збору інформації, контроль активного і реактивного навантаження та виявлення резервів енергозбереження. Інтеграція багатофункціональних лічильників до АСКОЕ забезпечує можливість оперативного керування електроспоживанням і підвищує ефективність роботи енергетичної служби підприємства.

# 3 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВПРОВАДЖЕННЯ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ЗАХОДІВ

## 3.1 Розрахунок фонду заробітної плати спеціалістів

При розрахунку цієї статті витрат штатним розкладом передбачено посаду майстра.

Заробітна плата по тарифу, грн / рік:

$$ЗП_{тар} = 3,5 \cdot 225 \cdot 8 = 6300.$$

Величина премії за виконання місячного плану, приймається в розмірі 40% від посадового окладу, грн.:

$$ЗП_{прем} = 0,4 \cdot 6300 = 2520.$$

Оплата відпусток, грн.:

$$ЗП_{відп} = (ЗП_{тар} + ЗП_{прем}) \cdot О/Т_{н,} \quad (3.1)$$

$$ЗП_{відп} = (6300+2520) \cdot 24/225 = 940,8.$$

Оплата за виконання держобов`язків, грн.:

$$ЗП_{держ} = (ЗП_{тар} + ЗП_{прем}) \cdot Г/Т_{н}, \quad (3.2)$$

$$ЗП_{держ} = 8820 \cdot 2/225 = 78,4.$$

Річний фонд заробітної плати фахівців, грн.:

$$ЗП_{сп}^{пр} = ЗП_{тар} + ЗП_{прем} + ЗП_{отп} + ЗП_{го}, \quad (3.3)$$

$$ЗП_{сп}^{пр} = 8820 + 1019,2 = 9839,2.$$

Загальний фонд заробітної плати по котельні, грн/рік:

$$ФОТ = ЗП^{нпр} + ЗП_{сп}^{пр}, \quad (3.4)$$

$$ФОТ = 146443,81 + 9839,2 = 156283,01.$$

Нарахування на фонд оплати праці, приймаємо 39,35%:

$$ЗП_{нач} = 39,35/100 \cdot ЗП, \quad (3.5)$$

$$ЗП_{нач} = 0,3935 \cdot 156283,01 = 61497,36 \text{ грн/рік.}$$

## 3.2 Техніко-економічна оцінка ефективності енергозберігаючих заходів

### 3.2.1 Економічна ефективність заміни індукційної плавильної печі на дугову піч постійного струму

Заміна індукційної печі дуговою піччю постійного струму сприяє суттєвому підвищенню техніко-економічних та екологічних показників виробництва чорних і кольорових металів. Після модернізації питомі витрати електроенергії можуть зменшитися на 15–20 %, а витрати графітованих електродів — до 1,3–1,5 кг на тонну металу. Одночасно коливання електричного навантаження скорочуються приблизно на 80 %, а тривалість плавки — у 1,5–3,5 раза.

Застосування дугової печі постійного струму також дозволяє знизити угар шихтових матеріалів до 0,5–1,5 % та скоротити витрати феросплавів на 75–95 %. Обсяг пилових викидів зменшується у 10–15 разів, практично усувається утворення агресивних газоподібних сполук, зокрема оксидів азоту, діоксинів і фуранів, а також істотно скорочуються викиди оксиду та діоксиду вуглецю.

Залежно від асортименту металу, обсягів виробництва, вартості електроенергії та шихтових матеріалів строк окупності заміни плавильного обладнання може становити від 3–4 до 12–15 місяців. Додатковим результатом модернізації є підвищення якості готової продукції. Активні металургійні

процеси, які відбуваються в дуговій печі постійного струму, дають можливість отримувати високоякісний метал із відносно дешевої сировини.

Вартість дугової печі разом із комплектом допоміжного обладнання у 2012 році становила 918 тис. грн. За орієнтовною індексацією ця сума відповідає приблизно 4,15 млн грн у цінах 2024 року та 4,48 млн грн у цінах 2025 року. Наведена вартість є розрахунковою та потребує уточнення на підставі актуальної комерційної пропозиції виробника з урахуванням комплектації, доставки, монтажу та пусконалагоджувальних робіт.

Економічний ефект від заміни індукційної плавильної печі на дугову:

$$\mathrm{E} = \Delta P \cdot C_{\text{ее}} \cdot \mathrm{T}_{\text{річ}} \tag{3.6}$$

де $\Delta P$ – різниця між споживаною потужністю індукційної плавильної печі і дугової , кВт;

$\mathrm{T}_{\text{річ}}$ – річна кількість годин роботи печі, год.;

$\mathrm{C}_{\text{ее}}$ – тариф на електричну енергію для підприємств, $\mathrm{C}_{\text{ее}} = 1{,}04$ грн/кВт · год;

$$\mathrm{E} = 203 \cdot 3200 \cdot 1{,}04 = 675 \text{ тис. грн.}$$

Термін окупності, років:

$$\mathrm{T} = \frac{\mathrm{K}_{\text{п}}}{\mathrm{E}}; \tag{3.7}$$

$$\mathrm{T} = \frac{918}{675} = 1{,}36.$$

Економічна ефективність капіталовкладень:

$$E = \frac{1}{T} \tag{3.8}$$

$$E = \frac{1}{1,36} = 0,735.$$

В результаті, Е не перевищує нормативний коефіцієнт, що свідчить про доцільність впровадження проекту.

3.2.2 Впровадження системи керування швидкості обертання шпинделів металорізальних верстатів

Ефективність впровадження системи керування швидкості обертання шпинделів металорізальних верстатів визначається одержаним зниженням втрат активної потужності в двигуні $\Delta P = 3,18 кВт$:

Економія грошових коштів при реалізації даного заходу становить:

$$E = 129 \cdot \Delta P \cdot t_{роб} \cdot в \tag{3.9}$$

$$E = 73 \cdot 3{,}18 \cdot 5200 \cdot 1{,}04 = 357689 \text{грн/рік}$$

Капітальні затрати на реалізацію даного заходу становлять 486 тис. грн – 73 двигуни за ціною 6657 грн. кожен.

Простий термін окупності становитиме, років:

$$T = \frac{K}{E} \tag{3.10}$$

$$T = \frac{486}{357{,}689} = 1{,}36$$

3.2.3 Модернізація системи вентиляції з переходом від загальнообмінної до локальної

Вирати діляться на:

- придбання пристроїв для локальної системи вентиляції;

- доставка.

Витрати на придбання пристроїв:

$$B_{ЛХБ} = Ц \cdot n, \tag{3.11}$$

де $Ц$ – вартість одного пристрою, $Ц$ = 60 тис. грн.

$n$ – кількість пристроїв, яка дорівнює 6.

$$B_{ЛХБ} = Ц \cdot 60 = 360000 \text{ грн.}$$

Витрати на доставку та монтаж:

$$B_д = 2000 \text{ грн.}$$

$$B_м = 35000 \text{ грн}$$

Сумарні витрати знайдемо за формулою:

$$B_{сум} = B_{ДРЛ} + B_д + B_м \tag{3.12}$$

$$B_{сум} = 360000 + 2000 + 35000 = 397000 \text{ грн.}$$

Тоді простий строк окупності буде дорівнювати:

$$T_{ок} = \frac{B_{сум}}{E_{грн}} \tag{3.13}$$

$$T_{ок} = \frac{397000}{148000} = 2{,}682 \text{ років.}$$

## 3.3 Загальні техніко-економічні показники впровадження енергозберігаючих заходів

Капітальні інвестиції є сукупністю матеріальних та фінансових ресурсів, необхідних для повної реалізації інвестиційного проекту.

Оцінка обсягу капітальних інвестицій здійснюється з урахуванням витрат на виконання будівельно-монтажних робіт, закупівлю основного й допоміжного обладнання, його пусконалагодження та інші супутні витрати. Сумарний обсяг капітальних інвестицій на реконструкцію об'єкта та придбання нового обладнання становить 1,427 тис. грн.

Початкова вартість основних фондів ($O_ф$) розраховується на основі зведеного кошторисного розрахунку вартості капітальних вкладень за вирахуванням витрат, які не належать до структури основних засобів.

Для розрахунку амортизаційних відрахувань основні фонди підприємства розподілено за двома ключовими групами:

1 група — будівлі, споруди та передавальні пристрої;

3 група — робоче, силове та електротехнічне обладнання.

Відповідно до положень Податкового кодексу України (із змінами від 01.01.2016 р.), для нововведених основних фондів встановлено такі річні норми амортизації:

для 1 групи — 8%;

для 3 групи — 24%.

Оцінка економічної ефективності капітальних вкладень базується на системі взаємопов'язаних показників, основними з яких є:

Рентабельність капітальних вкладень (R_кв, %) — розраховується як відношення приросту чистого прибутку до обсягу інвестицій, що зумовили цей приріст.

Питомі капітальні вкладення — характеризують обсяг інвестиційних витрат, розрахований на одиницю створеної потужності або виробленої продукції.

Строк окупності капітальних вкладень (Т_ок, років) — період, протягом якого проект повністю компенсує початково інвестований капітал. При цьому грошовий потік, який генерується проектом, формується за рахунок суми нерозподіленого прибутку та амортизаційних відрахувань (чистого грошового потоку, Net Cash Flow).

Строк окупності капітальних вкладень визначається за формулою:

$$T = \frac{\sum K}{\sum Э}$$

де $\sum K$ – сумарні капітальні вкладення в енергозберігаючий проект;

$\sum Э$ - сумарна економія, що планується, за рахунок впровадження енергозберігаючих заходів з урахуванням експлуатаційних та інших витрат.

$$T = \frac{1{,}427}{1{,}166} = 1{,}22 \text{ років}$$

Ефективність капіталовкладень:

$$\text{E} = \frac{1}{1{,}22} = 0{,}82$$

За результатами проведених розрахунків установлено, що отримане значення коефіцієнта економічної ефективності не перевищує нормативного рівня. Це підтверджує доцільність реалізації запропонованого проєкту.

У розділі виконано оцінювання економічної ефективності впровадження комплексу енергозберігаючих заходів у системі електропостачання ТОВ «ЗТМК». Для їх реалізації необхідні капітальні інвестиції в загальному обсязі близько 1,43 млн грн.

Упровадження запропонованих заходів дозволить скоротити втрати електроенергії в системі електропостачання та, відповідно, зменшити витрати підприємства на її оплату. Очікуваний річний економічний ефект становитиме приблизно 1,166 млн грн.

Крім безпосереднього зниження експлуатаційних витрат, реалізація проєкту сприятиме підвищенню надійності системи електропостачання, поліпшенню якості електричної енергії та забезпеченню більш раціонального використання енергетичних ресурсів підприємства.

Проведене техніко-економічне обґрунтування показало, що всі запропоновані заходи з підвищення ефективності електроспоживання цеху є економічно доцільними. За загального обсягу капітальних вкладень близько 1,43 млн грн очікувана річна економія перевищуватиме 1,16 млн грн, а розрахунковий строк окупності становитиме приблизно 1,22 року.

# ВИСНОВКИ

У роботі наведено загальну характеристику основних споживачів електричної енергії та проаналізовано структуру електроспоживання ТОВ «ЗТМК». Особливу увагу приділено оцінюванню можливостей зниження обсягів споживання електроенергії та підвищення загальної енергоефективності підприємства.

За результатами проведеного аналізу встановлено, що найбільший потенціал енергозбереження пов’язаний зі скороченням споживання та втрат електричної енергії. Реалізація запропонованих технічних і технологічних заходів забезпечує значний економічний ефект, який за розрахунками становить близько 1,166 млн грн на рік.

До найбільш ефективних напрямів енергозбереження належать модернізація технології плавлення металу шляхом заміни індукційного способу нагрівання дуговим, упровадження регульованого електропривода шпинделів металорізальних верстатів, а також удосконалення системи вентиляції з переходом від загальнообмінної схеми до локального видалення забрудненого повітря.

Таким чином, упровадження запропонованого комплексу енергозберігаючих заходів дозволить знизити споживання електричної енергії, скоротити експлуатаційні витрати та підвищити ефективність роботи обладнання. Отриманий економічний результат сприятиме зменшенню собівартості продукції та поліпшенню загальних техніко-економічних показників діяльності підприємства.

# ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Christodoulides P., Agathokleous R., Aresti L., Kalogirou S. A., Tassou S. A., Florides G. A. Waste Heat Recovery Technologies Revisited with Emphasis on New Solutions, Including Heat Pipes, and Case Studies. *Energies*. 2022. Vol. 15, No. 1. Article 384. DOI: 10.3390/en15010384.

2. Sun Y., Zhang Z., Liu L., Wang X. Heat Recovery from High Temperature Slags: A Review of Chemical Methods. *Energies*. 2015. Vol. 8, No. 3. P. 1917–1935. DOI: 10.3390/en8031917.

3. Lecompte S., Oyewunmi O. A., Markides C. N., Lazova M., Kaya A., Van den Broek M., De Paepe M. Case Study of an Organic Rankine Cycle for Waste Heat Recovery from an Electric Arc Furnace. *Energies*. 2017. Vol. 10, No. 5. Article 649. DOI: 10.3390/en10050649.

4. Preißinger M., Brüggemann D. Thermoeconomic Evaluation of Modular Organic Rankine Cycles for Waste Heat Recovery over a Broad Range of Heat Source Temperatures and Capacities. *Energies*. 2017. Vol. 10, No. 3. Article 269. DOI: 10.3390/en10030269.

5. Gajdzik B., Wolniak R., Grebski W. W. An Econometric Model of the Operation of the Steel Industry in Poland in the Context of Process Heat and Energy Consumption. *Energies*. 2022. Vol. 15, No. 21. Article 7909. DOI: 10.3390/en15217909.

6. Gajdzik B., Wolniak R., Grebski W. W. Electricity and Heat Demand in Steel Industry Technological Processes in Industry 4.0 Conditions. *Energies*. 2023. Vol. 16, No. 2. Article 787. DOI: 10.3390/en16020787.

7. Beck A., Unterluggauer J., Helminger F., Solís-Gallego I. Decarbonisation Pathways for the Finishing Line in a Steel Plant and Their

Implications for Heat Recovery Measures. *Energies*. 2023. Vol. 16, No. 2. Article 852. DOI: 10.3390/en16020852.

8. Ciupek B., Frąckowiak A. Review of Thermal Calculation Methods for Boilers—Perspectives on Thermal Optimization for Improving Ecological Parameters. *Energies*. 2024. Vol. 17, No. 24. Article 6380. DOI: 10.3390/en17246380.

9. Turek V., Kilkovský B., Daxner J., Babička Fialová D., Jegla Z. Industrial Waste Heat Utilization in the European Union—An Engineering-Centric Review. *Energies*. 2024. Vol. 17, No. 9. Article 2084. DOI: 10.3390/en17092084.

10. Ding Y., Guo Q., Guo W., Chu W., Wang Q. Review of Recent Applications of Heat Pipe Heat Exchanger Use for Waste Heat Recovery. *Energies*. 2024. Vol. 17, No. 11. Article 2504. DOI: 10.3390/en17112504.

11. Hasan A. S. M. M., Trianni A. A Review of Energy Management Assessment Models for Industrial Energy Efficiency. *Energies*. 2020. Vol. 13, No. 21. Article 5713. DOI: 10.3390/en13215713.

12. Sung Y., Kim S., Jang B., Oh C., Jee T., Park S., Park K., Chang S. Nitric Oxide Emission Reduction in Reheating Furnaces through Burner and Furnace Air-Staged Combustions. *Energies*. 2021. Vol. 14, No. 6. Article 1599. DOI: 10.3390/en14061599.

13. Haddouche M., Ilinca A. Energy Efficiency and Industry 4.0 in Wood Industry: A Review and Comparison to Other Industries. *Energies*. 2022. Vol. 15, No. 7. Article 2384. DOI: 10.3390/en15072384.

14. Eboh F. C., Ahlström P., Richards T. Exergy Analysis of Solid Fuel-Fired Heat and Power Plants: A Review. *Energies*. 2017. Vol. 10, No. 2. Article 165. DOI: 10.3390/en10020165.

15. Biniek-Poskart A., Sajdak M., Skrzyniarz M., Rzącki J., Skibiński A., Zajemska M. The Application of Lignocellulosic Biomass Waste in the Iron and

Steel Industry in the Context of Challenges Related to the Energy Crisis. *Energies*. 2023. Vol. 16, No. 18. Article 6662. DOI: 10.3390/en16186662.

16. Cui J., Meng G., Zhang K., Zuo Z., Song X., Zhao Y., Luo S. Research Progress on Energy-Saving Technologies and Methods for Steel Metallurgy Process Systems—A Review. *Energies*. 2025. Vol. 18, No. 10. Article 2473. DOI: 10.3390/en18102473.

17. Pepe C., Farella G., Bartucci G., Zanoli S. M. Recent Innovations in Computer and Automation Engineering for Performance Improvement in the Steel Industry Production Chain: A Review. *Energies*. 2025. Vol. 18, No. 8. Article 1981. DOI: 10.3390/en18081981.

18. Hou T., Yuan Y., Na H. A Comprehensive Systematic Review of $CO_2$ Reduction Technologies in China's Iron and Steel Industry: Advancing Towards Carbon Neutrality. *Energies*. 2024. Vol. 17, No. 23. Article 5975. DOI: 10.3390/en17235975.

19. Lan Y., Wang Z., Xu J., Yi W. The Impact of Hydrogen on Flame Characteristics and Pollutant Emissions in Natural Gas Industrial Combustion Systems. *Energies*. 2024. Vol. 17, No. 19. Article 4959. DOI: 10.3390/en17194959.

20. Li T., Wang Z., Wang J., Gao X. Dynamic Performance of Organic Rankine Cycle Driven by Fluctuant Industrial Waste Heat for Building Power Supply. *Energies*. 2023. Vol. 16, No. 2. Article 765. DOI: 10.3390/en16020765.