

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ім. Ю.М. ПОТЕБНИ

Електричної інженерії та кіберфізичних систем

(повна назва кафедри)

**Кваліфікаційна робота**

другий (магістерський) рівень

(рівень вищої освіти)

на тему «Аналіз шляхів зниження енерговикористання промисловими агрегатами»

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1412  
спеціальності 141 Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка

(код і назва спеціальності)

спеціалізації \_\_\_\_\_

(код і назва спеціалізації)

освітньої програми Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка

(назва освітньої програми)

Перепеліцин Є.Є.

(ініціали та прізвище)

Керівник: к.т.н., доц. Єрофєєва А.А.

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

Рецензент д.т.н., проф. Артемчук В.В.

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


Запоріжжя  
2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні  
Кафедра Електричної інженерії та кіберфізичних систем  
Рівень вищої освіти другий (магістерський) рівень  
Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка  
(код та назва)  
Спеціалізація \_\_\_\_\_  
(код та назва)  
Освітня програма Електросенергетика, електротехніка та електромеханіка

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри

д.т.н., доц.  В.Л. Коваленко  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 року

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

Перепеліцин Євген Євгенович  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи «Аналіз шляхів зниження енерговикористання промисловими агрегатами»

керівник роботи Єрофеева Аліна Анатоліївна, к.т.н., доцент  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затвержені наказом ЗНУ від « 01 » гравня 2023 року № 639 - с

2 Строк подання студентом роботи 01 грудня 2023 р.

3 Вихідні дані до роботи : технічні характеристики трансформаторів  
добовий графік споживання активної потужності, споживання активної  
електроенергії за розрахунковий період -1818000 кВт·год, 449446 кВт·год/рік  
спожита з мережі електроенергія; 399564 кВт·год/рік - енергія, затрачена на  
використання корисної роботи, технічні характеристики електродвигунів.

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1) Аналіз енерговикористання промисловими агрегатами 2) Впровадження заходів щодо підвищення ефективності електроспоживання промисловими агрегатами. 3) Управління вентиляцією виробничих цехів підприємства.

5 Перелік графічного матеріалу 1) Аналіз електроспоживання обладнання підприємства 2) Характеристики встановлених трансформаторів 3) Добовий графік споживання активної потужності 4) Добовий графік навантаження

освітлювальних установок 5) Загальний вигляд та характеристики електродвигуна 6) Характеристика установки компенсації реактивно потужності. 7) Характеристика пристрою автоматичного регулювання та керування вентиляторними установками. 8) Математична модель САЕ температури повітря.

### 5 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	Єрофєєва А.А. к.т.н., доцент	<i>Єрофєєва</i>	<i>Єрофєєва</i>
Розділ 2	Єрофєєва А.А. к.т.н., доцент	<i>Єрофєєва</i>	<i>Єрофєєва</i>
Розділ 3	Єрофєєва А.А. к.т.н., доцент	<i>Єрофєєва</i>	<i>Єрофєєва</i>

6 Дата видачі завдання 01.09.2023 р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз енерговикористання промисловими агрегатами	29.09.2023	
2	Впровадження заходів щодо підвищення ефективності електроспоживання промисловими агрегатами	16.10.2023	
3	Управління вентиляцією виробничих цехів підприємства	25.11.2023	

Студент *Алея*  
(підпис)

Перепеліцин Є.Є.  
(ініціали та прізвище)

Керівник роботи *Єрофєєва*  
(підпис)

Єрофєєва А.А.  
(ініціали та прізвище)

**Нормоконтроль пройдено**

Нормоконтролер *Башлій*  
(підпис)

С.В. Башлій  
(ініціали та прізвище)

## АНОТАЦІЯ

Є.Є Перепеліцин. Аналіз шляхів зниження енерговикористання промисловими агрегатами.

Кваліфікаційна випускна робота на здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, науковий керівник Єрофєєва А.А. Запорізький національний університет. Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні. Кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем, 2023.

Кваліфікаційна робота магістра присвячена розробці заходів для зниження енерговикористання промисловими агрегатами.

В кваліфікаційній роботі розраховано втрати потужності та електроенергії, що і дозволило запропонувати декілька заходів з енергозбереження: заміна недовантажених асинхронних двигунів двигунами меншої потужності, перехід на більш ефективні джерела світла, компенсація реактивної потужності. Запропоновано використання енергозберігаючих електродвигунів, заміну вентиляторів старих типів на нові та впровадження автоматичного керування вентиляторними установками.

Ключові слова: електроприймач, компенсація, енерговикористання, потужність, асинхронний двигун, реактивна потужність, вентилятор, автоматичне керування, вентиляторні установки.

## ABSTRACTS

E.E. Perepelitsyn. Analysis of ways to reduce energy consumption by industrial units.

Qualifying final work for the degree of master's degree in specialty 141 - Electric power engineering, electrical engineering and electromechanics,

supervisor Yerofieieva A.A. Zaporizhzhia National University. Engineering Educational and Research Institute named after Y.M. Potebnyi. Department of Electrical Engineering and Cyberphysical Systems, 2023.

The master's thesis is devoted to the development of measures to reduce energy consumption by industrial units.

The qualification work calculated the power and electricity losses, which made it possible to propose several energy saving measures: replacing underloaded induction motors with lower power motors, switching to more efficient light sources, and compensating for reactive power. The use of energy-saving electric motors, replacement of old fans with new ones, and introduction of automatic control of fan installations are proposed.

Keywords: electrical receiver, compensation, energy consumption, power, induction motor, reactive power, fan, automatic control, fan units

# ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 АНАЛІЗ ЕНЕРГОВИКОРИСТАННЯ ПРОМИСЛОВИМИ АГРЕГАТАМИ	9
1.1 Огляд споживачів електроенергії промислових підприємств	9
1.2 Загальна характеристика підприємства	11
1.3 Аналіз електроспоживання підприємства	17
1.4 Аналіз шляхів зниження енерговикористання промисловими агрегатами	22
2 ВПРОВАДЖЕННЯ ЗАХОДІВ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ ПРОМИСЛОВИМИ АГРЕГАТАМИ	28
2.1 Розрахунок втрат потужності в трансформаторах	28
2.2 Розрахунок втрат потужності в лініях	32
2.3 Електробаланс	36
2.4 Заміна асинхронних двигунів двигунами меншої потужності	37
2.5 Перехід на більш ефективні джерела світла	41
2.6 Впровадження системи енергоменеджменту	50
2.7 Компенсація реактивної потужності	51
2.8 Виключення зі складу системи електроприводу проміжних передач	54
2.9 Заміна вентиляторів старих типів на нові	55
3 УПРАВЛІННЯ ВЕНТИЛЯЦІЄЮ ВИРОБНИЧИХ ЦЕХІВ ПІДПРИЄМСТВА	58
3.1 Аналіз наявних схем автоматики вентиляції виробничих цехів	58
3.2 Калориферна установка	65
3.3 Впровадження автоматичного керування вентиляторними установками	69
ВИСНОВКИ	71
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ	72

## ВСТУП

*Актуальність роботи.* Питання економії енергетичних ресурсів на сьогоднішній день є актуальним і виникає перед кожним представником сучасного суспільства. Запасів енергоресурсів на Україні залишається все менше, а процес їх видобутку стає дуже складним і небезпечним. Використання нетрадиційної енергетики ще не знайшло широкого розповсюдження в Україні. Єдиний вихід - це економія енергоресурсів. В даний час у світовій енергетиці простежується стійка тенденція до збільшення виробництва і споживання енергії, особливо електричної. Навіть з урахуванням значних структурних змін в промисловості та переходу на енергозберігаючі технології, потреби в тепло-і електроенергії в найближчі десятиліття будуть тільки збільшуватися.

*Мета роботи* - розробка заходів для зниження енерговикористання промисловими агрегатами, визначення технічної доцільності впровадження енергоефективних заходів.

*Задачі дослідження.* Для досягнення зазначеної мети дослідження в магістерській роботі вирішуються такі задачі:

- огляд споживачів електроенергії промислових підприємств;
- аналіз шляхів зниження енерговикористання промисловими агрегатами;
- розрахунок втрат потужності в трансформаторах;
- розрахунок втрат потужності в лініях;
- аналіз наявних схем автоматики вентиляції виробничих цехів;
- аналіз впровадження автоматичного керування вентиляторними установками.

В процесі впровадження енергозберігаючих заходів на промисловому підприємстві основною стратегічною метою є підвищення енергоефективності, отже поняття потенціалу енергозбереження підприємства можливо визначити як систему взаємопов'язаних поточних та

перспективних, внутрішніх та зовнішніх можливостей, мобілізаційних здатностей керівників та персоналу підприємства до перетворення доступних вхідних ресурсів з метою підвищення енергоефективності виробництва.

Сучасний стан економіки надає багато можливостей щодо раціонального використання енергоресурсів. Однак, на мікрорівні ще недостатньо приділяють уваги питанню впровадження енергозберігаючих технологій. Процес впровадження енергозберігаючих заходів на підприємстві ускладнюються недостатністю фінансових ресурсів, зростанням тарифів на енергетичні ресурси, дефіцитом кваліфікованого персоналу та відсутністю мотивації промислових підприємств у ході реалізації заходів щодо зниження витрат на електроенергію. Отже, управління інноваційним розвитком систем енергозбереження та впровадження енергозберігаючих заходів стає можливим лише за умов створення ефективного економіко-організаційного механізму господарювання, що базується на використанні інноваційного потенціалу енергозбереження промислового підприємства.



# 1 АНАЛІЗ ЕНЕРГОВИКОРИСТАННЯ ПРОМИСЛОВИМИ АГРЕГАТАМИ

## 1.1 Огляд споживачів електроенергії промислових підприємств

Споживачів можна класифікувати за принципом перетворення електричної енергії в інші види, за такими групами:

1. Загальнопромисловий електропривод, де відбувається перетворення електричної енергії в механічну. Такий вид приймачів зустрічається на всіх промислових підприємствах, де для електропривода на сучасних верстатах застосовуються всі види двигунів. Потужність двигунів надзвичайно різноманітна і коливається від часток до сотень кіловат і більше.

### 2. Група електротехнологічних установок:

а) електротермічні - перетворення електричної енергії в теплову (до них відносяться: печі опору, індукційні печі і установки, дугові електричні печі, печі електрошлакового переплаву, установки електронно-променевого нагріву, контактне і дугове зварювання);

б) електрохімічні - перетворення електричної енергії в хімічну (до них відносяться: установки електролізу, гальваніка, електрохімічна обробка, анодування);

в) електрофізичні - перетворення електричної енергії в різні види механічної енергії, яка використовується для обробки виробів (до них відносяться: ультразвукова обробка, магнітоімпульсна обробка, електростатичні фільтри).

3. Освітлювальні установки (перетворення електричної енергії в світлову): лампи розжарювання, люмінесцентні, газорозрядні, світлодіодні.

Окремим видом навантаження є установки для вентиляції виробничих приміщень. Вентиляцією називається сукупність заходів і пристроїв, що використовуються при організації повітрообміну для забезпечення заданого стану повітряного середовища в приміщеннях і на робочих місцях. Системи

вентиляції забезпечують підтримку допустимих кліматичних параметрів в приміщеннях різного призначення.

Класифікація систем вентиляції:

При всьому різноманітті систем вентиляції, обумовленому призначенням приміщень, характером технологічного процесу, видом шкідливих виділень і т. ін., їх можна класифікувати за наступними характерними ознаками :

1. За способом створення тиску для переміщення повітря:
  - з природним;
  - з штучним (механічним).
2. За призначенням:
  - приточна;
  - витяжна.
3. За зоною обслуговування:
  - місцева;
  - загально обмінна.
4. За конструктивним виконанням:
  - канална;
  - безканална.

Для аналізу розподілу енергії в системі вентиляції розглянемо енергетичну діаграму, яка зображена на рисунку 1.1.

На основі енергетичної діаграми, можна зробити висновок про основні втрати в системі вентиляції.

Втрати в двигуні виникають під час перетворення електричної енергії в механічну, втрати в передаточному механізмі – під час передачі механічної енергії від двигуна до вентилятора, втрати в вентиляторі – під час перетворення механічної енергії в аеродинамічну, а втрати в магістралі виникають під час передачі аеродинамічної енергії.

Отже, при розробці заходів з енергозбереження в системах вентиляції, необхідно звернути увагу на втрати на кожній ділянці перетворення енергії.

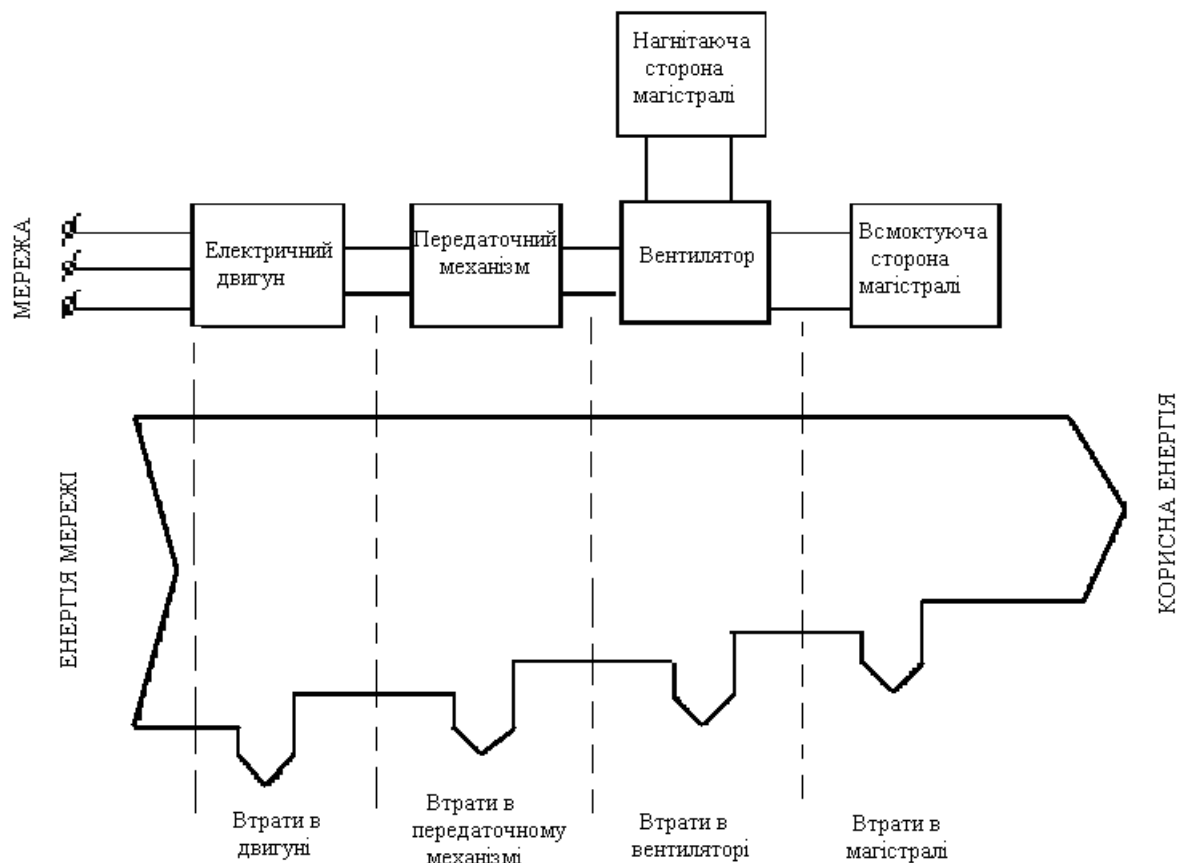


Рисунок 1.1 – Енергетична діаграма для системи вентиляції

## 1.2 Загальна характеристика підприємства

ПрАТ «Запоріжтрансформатор» - один з лідерів світового трансформаторобудування.

Бурхливе переродження компанії відбувається завдяки гнучкості в задоволенні найскладніших вимог замовників, освоєння інвестицій, модернізації існуючих бізнес-процесів і обладнання, безперервному професійному зростанню персоналу, вдосконалення корпоративної культури. На рубежі нового етапу історії заводу ЗТР - як і раніше одне з найвідоміших підприємств у світі, яке користується високою репутацією у замовників і партнерів.

На ПрАТ «Запоріжтрансформатор» сьогодні відбувається комплексне реформування всіх сфер діяльності для того, щоб відповідати зростаючим потребам ринку. На заводі ведеться масштабна робота зі збільшення власних виробничих потужностей, підвищення ефективності роботи. На підприємстві підготували серію проектів, які дозволять вийти на рівень виробництва не менше 60 ГВА. За рахунок заходів з оптимізації виробництва і застосування сучасних підходів до управління, за останні кілька років виробничий цикл скоротився в середньому в півтора рази, підвищилася продуктивність праці.

Крім виробництва трансформаторного устаткування, ПрАТ «Запоріжтрансформатор» освоює інноваційні види продукції, успішно поставляючи керовані шунтуючі ректори, призначені для компенсації реактивної потужності в мережах змінного струму.

Асортимент продукції та її поділ за видами виробництва.

Магнітопровідне виробництво.

Одне з основних вимог, що пред'являються споживачами до силових трансформаторів на сучасному етапі - якомога нижчий рівень втрат холостого ходу, призводить до необхідності постійно удосконалювати технологію виробництва магнітних систем трансформаторів і реакторів.

Для виготовлення магнітних систем заводом застосовується кремениста тонколистова анізотропна електротехнічна сталь з низькими і особливо низькими питомими втратами (менше 1 Вт/кг при  $P_{1,7/50}$ ), у тому числі з лазерною обробкою. Збірка магнітних систем кістяків проводиться на спеціальних стендах-кантувачах, що забезпечують можливість виготовляти магнітні системи масою до 350 т.

Обмотувально-ізоляційне виробництво.

Обмотувальне і ізоляційне виробництво - найбільш складне і відповідальне у всіх виробників силового трансформаторного обладнання.

Намотування обмоток різних типів і конструкцій: гвинтових, безперервних, переплетених, - у тому числі з зміцненого транспонованого проводу, здійснюється на цілій гамі горизонтальних і вертикальних

намотувальних верстатів, що дозволяють виконувати намотування обмоток масою від кількох кілограмів до 20 т з регулюванням натягу проводу.

Висока якість обмоток забезпечується застосуванням спеціальних універсальних розтискних оправок, комплексної технології з стабілізації осьових розмірів з використанням дистанційних прокладок з жорсткого електрокартону, жорсткого електрокартону циліндрів, вакуумної сушки обмоток під постійним заданим тиском, циклічним пресуванням тощо.

Ізоляційне виробництво забезпечує виготовлення всієї номенклатури ізоляційних деталей і складальних одиниць, що застосовуються для виробництва трансформаторів і реакторів. Наявна база сучасного технологічного обладнання дозволяє виробляти пресуючі та ємнісні кільця, рейки, дистанційні прокладки, циліндри, кутові шайби, ярмову ізоляцію і т.п. Деталі складної конфігурації виготовляються методом «формування»: труби, коліна, муфти, фланці. Є виробництво деревинно-стружкового пластика і деталей з нього, а також паперово-бакелітових виробів.

Впровадження технологій, пов'язаних із застосуванням каліброваних за товщиною елементів обмоток і жорстких циліндрів з електроізоляційного картону, дозволяє забезпечувати стабільний осьовий розмір обмоток. Розробляється технологія виготовлення і застосування нових конструктивних елементів обмоток для створення спрямованої циркуляції масла між котушками і забезпечення поліпшених умов охолодження обмоток.

Термовакуумне виробництво.

Термовакуумна обробка активних частин трансформаторів та ізоляційних компонентів здійснюється із застосуванням близько 150 одиниць обладнання, включаючи вакуум-сушильні шафи, установки дегазації масла, котли сушіння масла, фільтрпреси, установки вакуумної заливки і т.д.

Застосовуваний на заводі процес сушіння ізоляції забезпечує видалення вологи з ізоляції до залишкового вмісту вологи менше 0,2 %, що дає великий запас електричної міцності ізоляції. Сушка здійснюється в установках фірми "Мікафіл" (Швейцарія) за прогресивною технологією сушіння в парах

нафтопродуктів. В якості теплоносія застосовується нафтопродукт європейського виробника фірми «Арал». Німеччина. Процес повністю автоматизований, температурний і вакуумний режими реєструються на діаграмах. Вимірювальні прилади дозволяють в реальному режимі часу оцінювати залишкове вологовміст ізоляції

Трансформатори заливаються сучасними високоякісними маслами, що відповідають вимогам МЕК 60296. При заливанні в трансформатори масло додатково очищається, підсушується і дегазується масло очисними установками власного виробництва та фірми "Макс" (Франція).

Складальне виробництво.

Збірка трансформаторів, враховуючи індивідуальний тип їх виробництва, здійснюється на стендах, оснащених механізованими підйомними стелажми, паяльно-зварювальним устаткуванням, гідрообладнанням для пресування обмоток, комплектом вантажопідйомного і спеціального оснащення.

Вантажно-розвантажувальні роботи здійснюються за допомогою електромостових і консольних кранів вантажопідйомністю до 500 тонн. Використання технології переміщення трансформаторів на повітряній подушці на наливних підлогах забезпечує мобільність і оперативність виконання складальних процедур.

Зварювальне виробництво.

Завод має власне зварювальне виробництво з повним циклом і повністю забезпечує власні потреби в баках та інших металоконструкціях будь-якого габариту і типовиконання. Заготівельні операції з розкромом листового і профільного металопрокату виконуються газорізальними автоматами, а також газоплазморіжучими машинами з ЧПУ виробництва ESAB.

Механічна обробка деталей проводиться верстатним парком обладнання, що забезпечує виконання свердління, нарізки різьб, токарної,

фрезерної, стругальної, карусельної, штампувальної, згинальної і вальцювальної операцій.

Усі зварювальні роботи виконуються напівавтоматичним дуговим зварюванням в середовищі захисного газу (вуглекислота + аргон) зварювальним устаткуванням виробництва EWM (Німеччина). Герметичність зварних швів в обов'язковому порядку піддається контролю. Точність виготовлення складальних одиниць забезпечується застосуванням різного роду обладнання, а також виконанням монтажних робіт з контролю збирання складальних одиниць одна з одною.

Забарвлення виконується високотехнологічним обладнанням безповітряного й пневматичного розпилення. Для нанесення антикорозійного захисного покриття використовуються високоякісні матеріали Європейського виробника - фірми "Novatic", Німеччина, якість яких підтверджується стандартом ISO 9001.

Випробування продукції.

Завод має власну випробувальну базу, що дозволяє виконувати комплекс випробувань всієї номенклатури виробів в обсязі, передбаченому національними, міждержавними і міжнародними стандартами, а також спеціальними вимогами Замовників.

В процесі виготовлення трансформатора виробляється велика кількість випробувань і перевірок матеріалів, комплектуючих виробів, окремих деталей, вузлів і складальних одиниць. Обсяг і методи цих випробувань і перевірок встановлені діючою на заводі системою контролю якості. До повного складання окремо випробовуються обмотки, магнітні системи, в процесі складання проводяться операційні випробування, при необхідності, визначається характер розподілу імпульсних напруг між обмотками і його частинами, проводяться випробування активних частин на механічну міцність і ін.

В зібраному вигляді кожен трансформатор піддається приймально-здавальним і спеціальним випробуванням, головні і контрольні зразки

піддаються приймальним, типовим та періодичним випробуванням. Одночасно проводяться вимірювання деяких параметрів, необхідних для оцінки стану трансформатора на стадії монтажу та введення в експлуатацію. Випробувальні станції та лабораторії заводу укомплектовані випробувальним і вимірювальним обладнанням та приладами, що забезпечують виконання всіх необхідних випробувань:

- грозовими і комутаційними імпульсами;
- однохвилинною і тривалою напругою промислової частоти з виміром часткових розрядів;
- випробування на нагрівання;
- вимірювання рівня звуку;
- механічні випробування;
- випробування трансформаторних масел.

Знаходиться в експлуатації і впроваджується сучасне дослідне та вимірювальне обладнання та прилади фірм HAEFELY TEST AG, Швейцарія, HIGHVOLT, Німеччина, OMICRON, EPRO, Австрія та ін. Відповідно до вимог контракту проводяться й інші види випробувань.

#### Апаратне виробництво.

Апаратне виробництво включає в себе виготовлення великої номенклатури вузлів і виробів: перемикаючих пристроїв (ПП) для трансформаторів серій РНТА, РНОА, ПТР, ВТЛ, ПЛ, П6; ручних приводів, приводів ПДП для вищевказаних ПП; шаф управління трансформаторів, в тому числі з системами моніторингу; клапанів відсічних і запобіжних; дискових затворів Ду50 ... Ду200; вентиляторів для систем охолодження та іншу високотехнологічну продукцію.

Високоточне механічне виробництво деталей приводів перемикаючих пристроїв забезпечує парк сучасних верстатів з ЧПУ, близько 50 одиниць виробництва Німеччини, Чехії, Південної Кореї, Тайваню, України:

- токарно-револьверні верстати, у тому числі з приводним інструментом;



- пруткові токарні автомати,
- токарно-карусельні;
- вертикально-фрезерні;
- свердлильні;
- розточувальні обробні центри.

Таблички трансформаторного устаткування виготовляються методом лазерного гравіювання на нержавіючій сталі, гравіюванням на латуні з подальшим нікель-хромовим покриттям або фотохімічним способом. Є також достатня кількість універсального обладнання для виконання всіх видів металообробки, в тому числі, заготівельних, гибочно-штампувальних, холодно-висадочних, шліфувальних, токарних, фрезерних та інших видів обробки.

Підприємство має виробничі потужності з виготовлення виливків з чорних і кольорових металів у кокіль, під тиском, по моделях, що виплавляються, відцентрове лиття. Є ковальська ділянка гальванічних покриттів з можливістю нанесення покриттів: цинкових і кадмієвих з хроматуванням, нікелевих, хромових, олов'яних і срібних.

### 1.3 Аналіз електроспоживання

Основними споживачами електричної енергії на підприємстві є технологічне та зварювальне обладнання. Вони живляться від трифазної мережі з частотою 50 Гц напругою 0,38 кВ., загальне робоче та аварійне освітлення напругою 220В.

Основні електроприймачі підприємства:

– технологічне обладнання (всього близько 180 шт.: станки, преси, електричні пічі, компресори стисненого повітря – 4 шт.);

– зварювальне обладнання (близько 100 од., в т.ч. зварювальні випрямлячі типу ВС-600 – 9 шт., ВДУ-506У – 14шт., КИУ-501 – 8шт., ВДУЧ-350 – 3шт., ВДМ-1001 – 6шт., «КЕМРІ» - 1ШТ., ВДУ-1201 – 2шт., ВКСМ-1000 – 1шт., ВДУ-504 – 4шт., ВДУ-1202 – 2шт., обладнання для зварювання MIG/MAG ВАРИО СТАР 457/2 – 2шт.,обладнання дугового зварювання УДГУ-251 АС/DC – 1шт., УДГУ-301, газоплазморізальна машина «Кристалл ПЛКП-М» - 2шт);

– мостові крани;

– освітлення (освітлення у виробничих цехах – світильники з люмінесцентними лампами високого тиску типу ДРЛ-1000 та ДРЛ-700 – 700 шт., освітлення галереї пучків – з люмінесцентними лампами типу ДРЛ-400 (300 шт.) і ДРЛ-250 (10 шт.), освітлення периметру заводу – з люмінесцентними лампами типу ДРЛ-250 (60 шт.) і ДРЛ-125 (60 шт.); освітлення в адміністративних і побутових приміщеннях виконано світильниками з люмінесцентними лампами типу ЛБ-36 (2000 шт.); освітлення в туалетах, КНС, побутових приміщеннях – з лампами розжарювання (500) шт.);

– вентиляція (припливних та витяжних вентиляційних установок, теплових завіс, АПВС – близько 230 од. (в т.ч. 32 од. припливних вентиляційних установок потужністю 30-50 кВт).

Структура споживачів (рис. 1.2), які споживають електроенергію представляється так: електроприводи – 62 %, електричний транспорт – 9 %, електротермія та електротехнології – 8 %, освітлення та інші споживачі – 21 %.

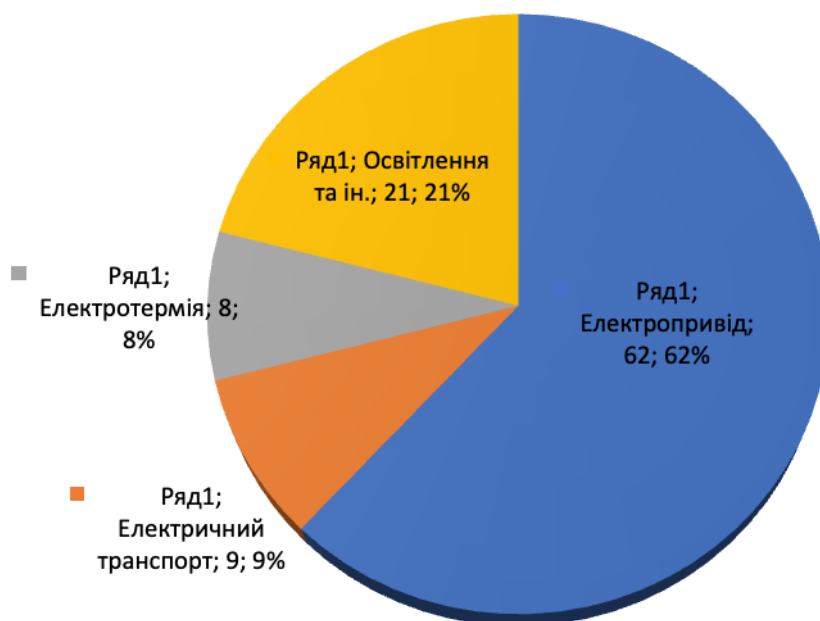


Рисунок 1.2 – Діаграма співвідношення електроспоживання обладнання  
ПрАТ «ЗТР»

Ця електроенергія на промпідприємствах широко застосовується для приводів різних механізмів, для освітлення, для різних електротехнологічних установок, в які входять: електротермічні, електрозварювальні, установки електролізу та ін.

Процентне співвідношення витрат електричної енергії на живлення споживачів підприємства наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Структура споживачів ПрАТ «Запоріжтрансформатор»

№	Назва	2021	%
1	Загальна встановлена потужність електрообладнання, кВт	12613	100
2	Електроапарати для технологічних процесів, кВт:		
	- ел.печі	1360	5,6
	сушіння, нагрівання і термообробка:		
	-нагрівальні пристрої	213	0,74
	- електрозварювання	2233	12,27
	- гальванічні процеси	991	1,14
3	Загальна потужність електродвигунів, кВт:	8716	100
	- обробка металів різанням	4108	52,4
	- упаковка та гаряче штампування	272	0,28
	- виробництво стисненого повітря	363	2,15
	- виробництво кисню	653	0,68
	- електрифікований транспорт	2228	12,26
	- вентиляція і кондиціонування	1448	8,83
	- перекачування питної води	154	0,16
	- перекачування технічної води	513	1,58
	- споруди каналізацій та очистки стоків	166	0,17
	- виробництво та транспортування теплоенергії	294	1,35
	- виробництво ацетилену	8	0,008
	- виробництво вуглекислого газу	309	0,32
4	Загальна потужність систем освітлення	1701	100
	- зовнішнє	161	5,96
	- внутрішнє	1540	94,039

З табл. 1.1 видно, що великий відсоток споживання електроенергії припадає на електродвигуни, більшу частину яких складають асинхронні двигуни.

Динаміка споживання електроенергії у 2019-2021 р. наведена у табл. 1.2.

Дані про місячне споживання електроенергії основними споживачами представлені в табл. 1.3.

Таблиця 1.2 - Динаміка споживання електроенергії в 2019-2021 р.

Роки	2019	2020	2021
Споживання електроенергії, млн. кВт·год	64,3	67,1	78,2
Витрати, млн. грн.	44,72	48,53	52,29

Таблиця 1.3 - Річне споживання електроенергії в 2021 р.

Місяць 2021 р.	Споживання електроенергії, млн. кВт·год
1	2
Січень	6,52
Лютий	6,38
Березень	6,12
Квітень	5,98
Травень	6,72
Червень	6,14
Липень	6,05
Серпень	6,76
Вересень	6,85
Жовтень	6,97
Листопад	6,51
Грудень	7,2
Усього	78,2

З вищенаведених даних видно, що протягом останніх 3 років споживання електроенергії заводом стабільно збільшується. Це пов'язано з

ростом випуску товарної продукції і розширенням її асортименту. Приріст обсягу електроспоживання в 2021 р. у порівнянні з 2019 р. склав 17 %.

#### 1.4 Аналіз шляхів зниження енерговикористання промисловими агрегатами

Шляхом підвищення економічності масового нерегульованого електроприводу розрахованого на незмінні, розрахункові режими роботи є перехід на енергозберігаючі електродвигуни, в яких за рахунок збільшення маси активних матеріалів (заліза та міді) підвищено номінальні значення ККД. Електродвигуни з підвищеним ККД забезпечують зменшення витрат на електроенергію за рахунок скорочення втрат в електродвигуні.

Загальні удосконалення асинхронних електродвигунів з підвищеним ККД полягають в:

- подовженні сердечника, що збирається з окремих пластин із більш якісної електротехнічної сталі з малими втратами. Такі сердечники зменшують магнітну індукцію і, відповідно, втрати в сталі;

- зменшенні втрат в міді за рахунок максимального використання пазів і використання провідників збільшеного поперечного розрізу в статорі та роторі;

- електродвигун з підвищеним ККД виділяє при роботі менше тепла, що дозволяє зменшити потужність та розміри охолоджуючого вентилятора, що в свою чергу приводить до зменшення вентиляторних втрат и, відповідно, до зменшення загальних втрат потужності.

Якщо термін роботи електродвигуна у режимі незмінного, номінального навантаження високий, то електродвигуни при вищевказаних умовах будуть забезпечувати самі низькі експлуатаційні витрати. Однак доцільність створення та використання енергозберігаючих двигунів має

оцінюватися із всебічним врахуванням додаткових затрат на їх монтаж та обслуговування.

Економія електроенергії при використанні енергозберігаючих електродвигунів складає приблизно 3-8 % від загального споживання.

Заміна недовантажених асинхронних двигунів двигунами меншої потужності.

При зміні технологічного процесу виникає недовантаження основних електродвигунів цехів РМЦ, ЦСМК та ін. Номінальна потужність двигунів цих станків становить 30 кВт. В ході енергоаудиту виявлено, що ці двигуни працюють з навантаженням 16 кВт. Замінімо ці двигуни новими типу 6А160 потужністю 17 кВт.

Обґрунтування доцільності застосування компенсації реактивної потужності

Більшість споживачів електроенергії становлять електричні машини (двигуни, генератори, трансформатори), в яких протікає реактивний струм, що індукує реактивну е.р.с., яка обумовлює створення фазового зсуву між напругою і струмом. Підключене навантаження не тільки споживає активну енергію, а також реактивну енергію з мережі, що приводить до збільшення повної потужності в середньому на 20-25 % по відношенню до активної. При незначному завантаженні електричної машини (холостий хід) зсув фаз між напругою і струмом, як правило, збільшується, а  $\cos\varphi$  зменшується в середньому до 0,2-0,4. Якщо не використовувати компенсацію реактивної потужності, значно збільшиться споживаний струм при тій ж споживаній потужності.

Як правило, основним засобом компенсації реактивної потужності в електричних мережах промислових підприємств є конденсаторні установки КУ. Це пояснюється їхніми значними перевагами у порівнянні з іншими засобами компенсації, а саме:

- малими, практично постійними в зоні номінальної температури довколишнього середовища, втратами активної енергії, що не перевищують

0,4 % чи 0,004 кВт/кВАр КУ (для порівняння: в синхронних компенсаторах це значення досягає 10 % номінальної потужності компенсатора, а в синхронних двигунах, що працюють в режимі перезбудження – 7 %);

- відсутністю частин, що обертаються;
- порівняно незначними капітальними вкладеннями;
- можливістю підбору будь-якої необхідної потужності конденсаторів;
- встановлення їх у будь-яких точках мережі;
- відсутністю шуму під час їхньої роботи;
- простота монтажу и експлуатації.

За допомогою КУ можливі наступні види компенсації:

1. Індивідуальна (не є регульованою) - КУ розташовуються безпосередньо у електроприймачів і комутуються одночасно з ними. При індивідуальній компенсації від реактивного навантаження розвантажуються не тільки мережі вищої напруги, а й цехові розподільчі мережі. Вона є найкращою при компенсації окремих електроспоживачів, що працюють у тривалому режимі. Недоліки даного виду КРП - залежність часу підключення КУ від часу підключення електроприймачів і необхідність узгодження ємності КУ з індуктивністю електроприймача, реактивне навантаження якого компенсує КБ, для запобігання виникнення резонансних явищ або застосування спеціальних схем підключення (перемикання з "зірки" на "трикутник", яке передбачає паралельне підключення до обмоток двигуна трьох однофазних конденсаторів).

2. Групова (також не є регульованою). Застосовується при КРП кількох індуктивних навантажень, що приєднані. КУ встановлюються в цехах і приєднуються до розподільних пунктів чи шин 0,38 кВт. Від реактивної потужності розвантажуються трансформатори на підстанції та мережі 0,38 кВ, що живлять. Недоліки - окрема комутація КУ і неповне розвантаження розподільних мереж підприємства від реактивної потужності (не розвантаженими залишаються розподільчі мережі до окремих споживачів).



3. Централізована (як правило, є регульованою). Застосовується в системах з великою кількістю споживачів, що мають великий розкид коефіцієнту потужності протягом доби, тобто для змінного навантаження. Централізована компенсація може здійснюватись на боці вищої напруги, коли КУ приєднується до шин 6-10 кВ головної знижувальної підстанції (ГЗП) або на боці нижчої напруги. Перший варіант забезпечує гарне використання конденсаторів: їх треба менше та вартість одного квар нижче, ніж при інших варіантах. Проте при компенсації за цією схемою від реактивної потужності розвантажуються тільки розташовані вище ланки розподільної мережі. Розподільні мережі 6 – 10 та 0,38 кВ при цьому не розвантажуються, отже втрати енергії в них не зменшуються, і потужності трансформаторів 6 – 10/0,38 кВ не можуть бути зменшені. При централізованій компенсації на боці нижчої напруги, коли КУ приєднується до шин 0,38 кВ трансформаторної підстанції 6 – 10/0,38, від реактивної потужності розвантажуються не тільки мережі 6 – 10 кВ, що живлять, а й трансформатори на підстанції. Не розвантаженими лишаються лише внутрішньоцехові розподільні мережі напругою 0,38 кВ. Регулювання потужності КУ може здійснюватись в функції реактивного струму навантаження, але для цього КУ повинна бути обладнана спеціальним автоматичним регулятором, а її повна компенсаційна потужність розділена на ступені, що окремо комутуються. Такі комплектні КУ називаються автоматизованими. Даний тип КУ виконує КРП відповідно до фактичного споживання реактивної потужності

При компенсації реактивної потужності споживаний струм з мережі зменшується в залежності від  $\cos\varphi$  на 30-50 %. Установки засобів компенсації реактивної потужності забезпечує підтримання близького до 1 значення  $\cos\varphi$ , чим спонукають зниження практично до 0 оплати за реактивну енергію, значне збільшення пропускної здатності трансформаторів, кабелів (наращення споживаної потужності підприємства без реконструкції енергосистеми) за рахунок відсутності втрат активної

потужності, які виникають при протіканні реактивного струму, а також ефективне розвантаження електромереж приводить до економії від 5-15% споживаної активної електроенергії.

Найбільш вигідний коефіцієнт потужності електроустановок визначається за умов досягнення найбільшої річної економії електроенергії в зв'язку із зниженням втрат електроенергії від реактивних навантажень електричної лінії або використання збільшеної пропускної спроможності електромережі (ліній і трансформаторів) у зв'язку з компенсацією реактивного навантаження.

Існує два способи підвищення  $\cos \varphi$  без застосування та з застосуванням компенсаторів реактивної потужності .

До заходів, які не потребують застосування компенсуючих пристроїв, належать:

- упорядкування технологічного процесу, що створює кращий енергетичний режим роботи обладнання;
- перемикання обмоток статора асинхронних електродвигунів напругою до 1000 В із трикутника на зірку, якщо їх завантаження менше 40 %;
- ліквідація режиму роботи асинхронних двигунів без навантаження шляхом встановлення обмежувачів неробочого ходу, коли міжопераційний період більший за 10с;
- заміна або відключення трансформаторів, які завантажені у середньому менше ніж на 30 % номінальної потужності;
- заміна недовантажених електродвигунів електродвигунами меншої потужності за умови, що при цьому зменшуються загальні витрати активної енергії в енергосистемі і електродвигунах;
- заміна асинхронних електродвигунів синхронними тієї ж потужності або застосування синхронних електродвигунів для нового електрообладнання, якщо це доцільно з техніко-економічних міркувань;
- плавне регулювання напруги за допомогою тиристорних пристроїв;

– поліпшення якості ремонту електродвигунів, при якому зберігаються їх номінальні дані.

Якщо ці заходи не підвищують  $\cos \varphi$  до 0,9-0,95, то застосовуються штучні компенсуючі пристрої. Найчастіше використовують статичні конденсатори, які встановлюють у розподільних щитах або на підстанціях.

## 2 ВПРОВАДЖЕННЯ ЗАХОДІВ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ ПРОМИСЛОВИМИ АГРЕГАТАМИ

### 2.1 Розрахунок втрат потужності в трансформаторах

Електропостачання заводу забезпечується двома трансформаторами ТДНС-10000/35-У1, 10000 кВА, 35/6 кВ, загальний вигляд якого представлений на рисунку 2.1.



Рисунок – 2.1 Трансформатор ТДНС-10000/35-У1

Характеристика трансформатора ТДНС-10000/35-У1 наведена в таблиці 2.1

В таблиці 2.2 наведена кількість та потужність трансформаторів КТП, від яких живляться цехи і дільниці підприємства.

Таблиця 2.1 – Характеристика трансформатора ТДНС-10000

Потужність	кВА	10000
ВН	кВ	35; 36,75
НН	кВ	6,3 ; 11
Схема та група з'єднання		Ун/Д-11
Напруга короткого замикання	%	8
Втрати холостого ходу	кВт	12
Втрати короткого замикання	кВт	60
Струм холостого ходу	%	0,75
Повна вага	кг	26000

Таблиця 2.2 – Характеристика трансформаторів

N КТП	Найменування ділянки	Кількість та потужність, трансформаторів $S_{ном\ T}$ , кВА
КТП 1	Механічний цех	2×1000
КТП 2	Термічний цех	2×2500
КТП 3	Магнітопровідний цех	1×630
КТП 4	Зварювальний цех	2×630
КТП 5	Ділянка навантаження	2×250
КТП 6	Випробувальна ділянка	2×1000
КТП 7	Апаратний цех	2×1000

Проведемо розрахунок втрат потужності і енергії в трансформаторах КТП №1 виходячи з даних, наведених в таблиці 2.2.

Трансформатор ТМЗ, який застосовується у КТП №1, зображено на рисунку 2.2., характеристика трансформаторів ТМЗ наведена в таблиці 2.3.



Рисунок 2.2 – Трансформатор ТМЗ 1000 кВА 10/0,4 кВ

Таблиця 2.3 – Характеристика трансформаторів ТМЗ

Потужність	кВА	1000
ВН	кВ	10000
НН	кВ	0,4
Втрати холостого ходу	кВт	1,55
Втрати короткого замикання	кВт	10,8
Струм холостого ходу	%	1,2
Напруга короткого замикання	%	5,5
Габарити	мм	2000×1200×1540
Повна вага	кг	2850

Річні втрати активної енергії в трансформаторах визначаються за формулою:

$$\Delta W_{mp} = n \times \Delta P_x \times T_n + \frac{1}{n} \times k_{з.м.}^2 \times \Delta P_{кз} \times T_{роб}, \quad (2.1)$$

де  $\Delta P_x$ ,  $\Delta P_{кз}$  - втрати холостого ходу і короткого замикання трансформаторів,

кВт;  $n$  - кількість трансформаторів;

$k_{з.т.}$  - коефіцієнт завантаження трансформаторів;

$T_n$  - річний час включення трансформаторів, годин;

$T_{роб}$  - річний час роботи трансформаторів під навантаженням, годин.

Коефіцієнт завантаження трансформаторів визначаємо з формули:

$$k_{з.т.} = \frac{I_{cp}}{I_n}, \quad (2.2)$$

де  $I_{cp}$  - середній струм, А;

$I_n$  - номінальний струм нижньої сторони, А.

Знаходимо струм навантаження, А:

$$I_n = \frac{S}{\sqrt{3} \times U_{H2}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \times 0,4} = 1443.37. \quad (2.3)$$

За розрахунковий період (рік) спожито:

- активної енергії  $E_a = 1818$  тис. кВт·год;

- реактивної енергії  $E_p = 1363,5$  тис кВар·год.

Для підприємства річний час включення трансформаторів:

$T_n = 8760$  годин;

$T_{роб} = 6024$  годин.

Знаходимо середній струм, А:

$$I_{cp} = \frac{\sqrt{E_a^2 + E_p^2}}{\sqrt{3} \times U_{H2} \times T_{роб}} = \frac{\sqrt{1818000^2 + 1363500^2}}{\sqrt{3} \times 0,4 \times 6024} = 544.5, \quad (2.4)$$

$$k_{з.т.} = \frac{544}{1443.37} = 0.38.$$

Визначимо активні втрати в трансформаторі, кВт·год/рік:

$$\Delta W_{mp} = 2 \times 2.45 \times 8760 + \frac{1}{2} \times 0.38^2 \times 12.2 \times 6024 = 48230.$$

Річні втрати реактивної електроенергії, квар/рік:

$$\Delta W_{mp.p.} = \Delta Q_{xx} \times T_n + k_{3.m}^2 \times \Delta Q_{кз} \times T_p, \quad (2.5)$$

де  $\Delta Q_{xx}$  та  $\Delta Q_{кз}$  – втрати реактивної енергії,

$$\Delta Q_{xx} = S_n \times \frac{I_{xx}}{100} = 1000 \times \frac{1.4}{100} = 14 \text{квар}, \quad (2.6)$$

$$\Delta Q_{кз} = S_n \times \frac{U_{кз}}{100} = 1000 \times \frac{5.5}{100} = 55 \text{квар},$$

тоді

$$\Delta W_{mp.a.} = 14 \times 8760 + 18 \times 0.38^2 \times 6024 = 170482 \text{квар} / \text{рік}.$$

## 2.2 Розрахунок втрат потужності в лініях

Втрати активної та реактивної потужності і електроенергії за відповідний розрахунковий період визначаються за формулами відповідно[3]

$$\Delta P_l = 3 \cdot k_{\phi}^2 \cdot I_{сеп}^2 \cdot l \cdot R_e \cdot 10^{-3} \cdot T_p, \quad (2.6)$$



$$\Delta Q_n = 3 \cdot k_\phi^2 \cdot I_{сep}^2 \cdot l \cdot X_e \cdot 10^{-3} \cdot T_p, \quad (2.7)$$

де  $R_e$  – еквівалентний активний опір лінії, Ом;

$X_e$  – еквівалентний реактивний опір лінії, Ом.

$I_{сep}$  – середнє значення струму в лінії за характерну добу, А:

$$I_{сep} = \frac{W_a}{T_p \cdot \sqrt{3} U_n \cdot \cos \varphi_{св}}, \quad (2.8)$$

де  $\cos \varphi_{св}$  – середньозважений коефіцієнт потужності;

$W_a$  – споживання активної електроенергії за розрахунковий період, за 2021 рік

$$W_a = 1818000 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

$$I_{сep} = \frac{1818000}{6024 \cdot \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,8} = 5,7.$$

$K_\phi$  – коефіцієнт форми графіка навантаження лінії:

$$K_\phi = \frac{P_{сp,кв}}{P_{сp}}; \quad (2.9)$$

де  $P_{сp}$  – середня потужність,

$$P_{сp} = \frac{P_{сp\Sigma}}{t_{роб}},$$

$P_{\text{ср.кв}}$  – середньоквадратична потужність,

$$P_{\text{ср.кв}} = \sqrt{\frac{\sum (P_{\text{ср}}^2 \cdot \Delta t)}{T}}. \quad (2.10)$$

Для розрахунку коефіцієнта форми графіка навантаження лінії розглянемо добовий графік навантаження підприємства.

В таблиці 2.4 та на рисунку 2.3 наведено добовий графік споживання активної потужності.

Таблиця 2.4 Добовий графік споживання активної потужності за 12.12.2020

Години	Потужність, кВт
1	2
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
21:00-22:00	96
22:00-23:00	38
23:00-24:00	28

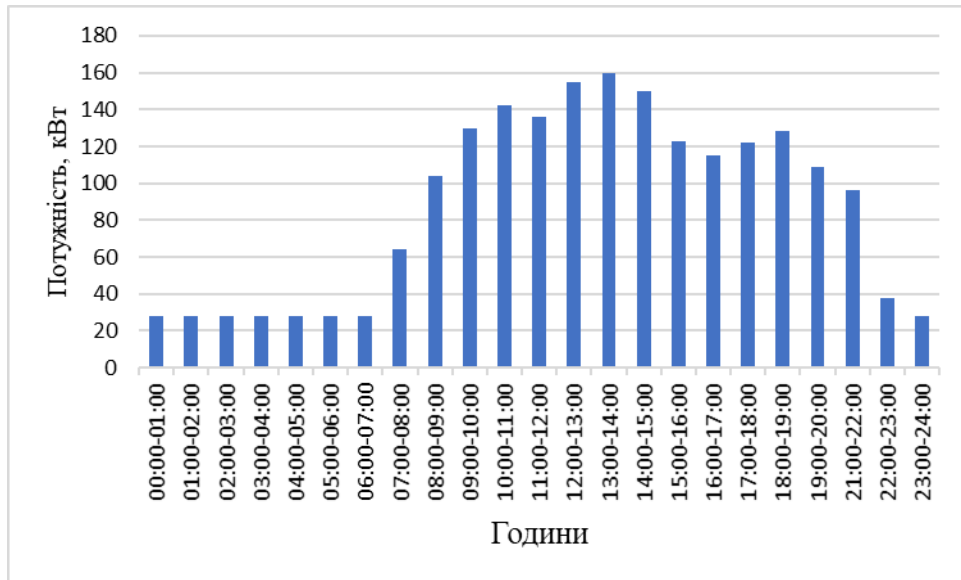


Рисунок 2.3 Добовий графік споживання активної потужності механічним цехом за 12.12.2020

$$P_{cp} = \frac{P_{cp\Sigma}}{t_{роб}} = \frac{1996}{24} = 83.16 \text{ кВт}, \quad (2.11)$$

Середньоквадратична потужність складає, кВт:

$$P_{cp.кв.} = 98.11 \quad (2.12)$$

Тоді:

$$K_{\phi} = \frac{98.11}{83.16} = 1.1.$$

Електропостачання механічного цеху здійснюється двома кабельними лініями АВВГ 3×70+1×25 довжиною 0,05 км.

Втрати активної електроенергії в лінії АВВГ 3×70+1×25, кВт/рік:

$$\Delta P_n = 3 \times 1.1^2 \times 57.32^2 \times 0.05 \times 0.46 \times 10^{-3} \times 6024 = 1652.4.$$

Втрати реактивної електроенергії в лінії АВВГ 3×70+1×25, квар/рік:

$$\Delta Q_r = 3 \times 1.1^2 \times 57.32^2 \times 0.05 \times 0.364 \times 10^{-3} \times 6024 = 1307.6 .$$

### 2.3 Електробаланс

Енергетичний баланс представляє собою систему взаємопов'язаних показників одержання і використання усіх видів ПЕР. Він дозволяє встановити необхідні обсяги і співвідношення виробництва і споживання різних видів ПЕР.

Баланс електроспоживання - частина паливно-енергетичного балансу, що складається на підприємстві. Він потрібен для аналізу ефективності використання електроенергії, розробки прогресивних норм витрат електроенергії по окремим агрегатам, цехам та підприємству в цілому, для визначення змін структури електроспоживання, а також для аналізу ефективності заходів з економії електроенергії.

Електробаланс складається з приходної та витратної частин, що визначаються по показникам лічильників.

В приходну частину включають всю електроенергію, отриману струмоприймачами підприємства від енергосистеми, з мережі інших споживачів та від власних джерел підприємства .

Витратна частина балансу електроспоживання за звичай враховує окремо:

- прямі витрати електроенергії на основний технологічний процес,
- втрати електроенергії в елементах мережі електропостачання,
- відпуск електроенергії стороннім споживачам.

Іноколи ця частина балансу може містити також непрямі втрати електроенергії на основний технологічний процес внаслідок його недосконалості,

а також витрати електроенергії на допоміжні потреби (вентиляція, транспорт), якщо їх можна визначити по лічильнику.

Визначення енергобалансу проводимо за формулою [4] :

$$W_{\text{спож}} = W_{\text{кор}} + \Delta W_{\Sigma}, \quad (2.13)$$

де  $W_{\text{спож}}$  - споживана з мережі електроенергія,

$W_{\text{кор}}$  - енергія, затрачувана на використання корисної роботи,

$\Delta W_{\Sigma}$  - втрати при споживанні, розподілі й перетворенні енергії.

За показниками лічильника, встановленого на розподільчій мережі цеху, були отримані значення кількості енергії:

$W_{\text{спож}} = 449446$  кВт.год/рік - спожита з мережі електроенергія;

$W_{\text{кор}} = 399564$  кВт.год/рік - енергія, затрачена на використання корисної роботи.

$$\Delta W_{\Sigma} = 49882 \text{ кВт}\cdot\text{год/рік}.$$

#### 2.4 Заміна асинхронних двигунів двигунами меншої потужності

Сумарні втрати активної потужності двигуна визначаються за формулою:[5]

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

де  $Q_{xx} = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_{n.x.}$  - реактивна потужність, яка використовується двигуном з мережі при номінальному навантаженні, квар;

$U_n$  – номінальна напруга, В;

$I_{n.x.}$  – струм електродвигуна, А;

$K_n = \frac{P_{cp}}{P_n}$  коефіцієнт завантаження електродвигуна;

$P_{cp}, P_n$  – середнє навантаження і номінальна потужність електродвигуна, кВт;

$Q_n = \frac{P_n}{\eta_n} \cdot \operatorname{tg} \varphi_n$  – реактивна потужність електродвигуна при номінальному

навантаженні, квар;

$\eta_n$  – ККД електродвигуна при номінальному навантаженні;

$\operatorname{tg} \varphi_n$  – виробнича від номінального коефіцієнта потужності електродвигуна;

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

$\Delta P_{xx} = P_n \cdot (1 - \eta_n) \cdot \gamma / [\eta_n \cdot (1 + \gamma)]$  – втрати активної потужності при неробочому ході електродвигуна, кВт; ,

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

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

Характеристики існуючих двигунів:

$$P_n = 30 \text{кВт}; U_n = 380 \text{В}; \eta_n = 0,89; \cos \varphi = 0,9; I_{xx} = 16,8 \text{А}; \Delta P_{xx} = 1,2 \text{кВт},$$

тоді:

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

$$K_n = \frac{P_{cp}}{P_n} = \frac{15}{30} = 0,5; \quad (2.15)$$

$$\gamma = \Delta P_{xx} / [(100 - \eta_n) \cdot \Delta P_{xx}] = 1,2 / [(100 - 89) - 1,2] = 0,12; \quad (2.16)$$

$$\Delta P_{в.н.} = P_n \cdot (1 - \eta_n) / [\eta_n \cdot (1 + \gamma)] = 30 \cdot \frac{1 - 0,89}{0,89 \cdot (1 + 0,12)} = 3,3 \text{ кВт}. \quad (2.17)$$

Пропонується замінити на низьковольтний електродвигун КО62-4, його проілюстровано на рисунку 2.4.



Рисунок 2.4 – Електродвигун КО62-4

В таблиці 2.4 наведена характеристика електродвигуна КО62-4.

Таблиця 2.5 – Характеристики електродвигуна КО62-4

Потужність	кВт	17
Напруга	В	380/660
Частота	Гц	50
ККД	%	0,89
Коефіцієнт потужності	%	0,88
Частота обертання	об/хв	1500
Кількість полюсів	шт	4
Режим роботи		S1 – тривалий
Ступінь захисту		IP54
Вага	кг	210

$$P_n = 17 \text{кВт}; U_n = 380 \text{В}; \eta_n = 0,88; \cos \varphi = 0,9; I_{xx} = 13,5 \text{А}; \Delta P_{xx} = 0,9 \text{кВт},$$

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

$$K_{n2} = \frac{P_{cp}}{P_{n2}} = \frac{15}{17} = 0,88; \quad (2.18)$$

$$\gamma_2 = \Delta P_{xx2} / [(100 - \eta_{n2}) \cdot \Delta P_{xx2}] = 0,9 / [(100 - 88) - 0,9] = 0,08; \quad (2.19)$$

$$\Delta P_{\text{в.н.2}} = P_{n2} \cdot (1 - \eta_{n2}) / [\eta_{n2} \cdot (1 + \gamma_2)] = 17 \cdot \frac{1 - 0,88}{0,88 \cdot (1 + 0,08)} = 2,14 \text{кВт}. \quad (2.20)$$

Сумарні втрати активної потужності малозавантаженого двигуна, кВт:

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

Сумарні втрати активної потужності нового двигуна, кВт:

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

Ефективність заміни малозавантаженого електродвигуна визначається одержаним зниженням втрат активної потужності в двигуні, кВт:

$$\Delta P = \Delta P_{\text{сум}} - \Delta P_{\text{сум2}} = 5,16 - 1,98 = 3,18. \quad (2.21)$$



## 2.5 Перехід на більш ефективні джерела світла

Для аналізу стану системи освітлення необхідна наступна інформація:

- Тип лампи ДРЛ – 400М, який відображений на рисунку 2.5.



Рисунок 2.5 – Лампа ДРЛ – 400М

В табл. 2.6 наведена характеристика ламп ДРЛ – 400М.

Таблиця 2.6 – Характеристика ламп ДРЛ – 400М

Потужність	Вт	400
Світловий потік	Лм	22000
Середня тривалість горіння	год	10000
Довжина	мм	250
Діаметр	мм	91
Тип цоколя		E40

- Кількість ламп – 48 штук.
- Потужність лампи – 400 Вт.
- Тип світильника – РСП05-400-702.

Призначені для загального освітлення виробничих, складських та інших приміщень з високими прольотами, який продемонстровано на рисунку 2.6.



Рисунок 2.6 – Світильник РСП05-400-702

В таблиці 2.7 наведена характеристика світильника РСП 05-400-702.

Таблиця 2.7 - Характеристика світильника РСП 05-400-702

Потужність	Вт	400
Напруга	В	220
Частота	Гц	50
Коефіцієнт потужності	%	0,9
ККД	%	0,7
Втрати у джерелі живлення	Вт	30
Діаметр	мм	471
Висота	мм	610
Тип цоколя		E40
Термін служби	рік	10

- Кількість світильників – 48 штук.
- Характеристика поверхні приміщення – коричневий колір.
- Кількість чисток на рік – одна.
- Розміри приміщення Ш х Д х В = 18 м х 60 м х 6,5 м.
- Є чергове освітлення.
- Висота підвісу світильника –  $h = 6,5$  м.

Приймаємо висоту приміщення  $H = 6,5$  м.

Мінімальна норма освітленості згідно [6]:  $E_n = 200$  лк при висоті розрахункової поверхні над підлогою  $h_p = 0,5$  м.

Визначаємо висоту підвісу світильників, м:

$$h = H - h_p - h_c , \quad (2.22)$$

де  $h_c$  – відстань від світильника до перекриття;

$$h_c = 1,0 \text{ м,}$$

$$h = 6,5 - 0,5 - 1,0 = 5 .$$

Визначимо необхідну кількість світильників для утворення рівномірної освітленості.

Площа приміщення складає  $S = 60 \times 18 = 1080$  м<sup>2</sup>.

Кількість рядів світильників можна визначити за формулою, рядів:

$$N_p = \frac{B}{L_a} , \quad (2.23)$$

де  $B$  – ширина цеху, яка дорівнює 18 м;

$$L_a = \lambda \cdot h , \quad (2.24)$$

де  $\lambda = 0,6$  згідно [5, ст. 106]

$$L_a = 0,6 \cdot 5 = 3,0 \text{ м,}$$

тоді :

$$N_p = \frac{18}{3} = 6 .$$

Кількість світильників в одному ряду, од.:

$$N_{ce} = \frac{A}{L_e}, \quad (2.25)$$

де  $L_e = L_a$ ;

$A$  – довжина цеху, яка дорівнює 60 м,

$$N_{ce} = \frac{60}{3} = 20 .$$

Кількість світильників в цеху, од.:

$$N = N_{ce} \cdot N_p . \quad (2.26)$$

$$N = 6 \cdot 20 = 120 .$$

Розрахунок освітлення за методом світлового потоку.

Індекс приміщення складає:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)}, \quad (2.27)$$

$$i = \frac{60 \cdot 18}{5 \cdot (60 + 18)} = 2,77 .$$

Згідно з додатка приймаємо  $\eta = 0,43$ .

Визначаємо світловий потік однієї лампи:

$$\Phi = \frac{E_n \cdot K_{зан} \cdot S \cdot Z}{N \cdot \eta}, \quad (2.28)$$

де  $K_{зан}$  – коефіцієнт запасу, що дорівнює 1,5;

$Z$  – коефіцієнт нерівномірності освітлення,  $Z = (1,15...1,2)$ . Для ДРЛ приймаємо  $Z = 1,15$ ;

$\eta$  - ККД використання світлового потоку, який являє собою відношення світлового потоку, що падає на робочі поверхні, до загального світлового потоку світильників,

$$\Phi = \frac{200 \cdot 1,5 \cdot 1080 \cdot 1,15}{120 \cdot 0,43} = 7221$$

Вибираємо світильник типу ECOLUX 6600, котрий зображено на рисунку 2.7 з двома лампами PHILIPS TL-D потужністю  $P_{н.о.і} = 58$  Вт зі світловим потоком  $\Phi_{н} = 4000$  Лм, (рис. 2.8).



Рисунок 2.7 – Корпус світильника для люмінесцентних ламп  
ECOLUX 6600

В таблиці 2.8 наведена характеристика корпусу світильника ECOLUX 6600.

Таблиця 2.8 – Характеристика ECOLUX 6600

Число ламп	шт	2
Потужність ламп	Вт	58
Електронний пусковий пристрій		2-канальний
Габарити (Д×Ш×В)		1610×165×127
Вага	кг	6,2



Рисунок 2.8 – Лампа ЛХБ PHILIPS TL-D 58W/54-765 трубчата

В таблиці 2.9 наведена характеристика ламп ЛХБ PHILIPS TL-D.

Таблиця 2.9 – Характеристика ламп ЛХБ PHILIPS TL-D

Тип		люмінесцентна
Потужність	Вт	58
Напруга	В	220
Тип цоколя		G13
Довжина	мм	1500
Цвітова температура		холодний білий
Форма колби		трубка
Температура світіння	К	6500
Світловий потік	Лм	4000
Термін служби	год	13000

Встановлена потужність освітлювальних установок, кВт:

$$P_{н.о} = P_{н.о.і} \cdot N, \quad (2.29)$$

$$P_{н.о} = 58 \cdot 120 = 6960 \text{ Вт} = 6,96 \text{ кВт.}$$

Максимальне навантаження освітлення, кВт:

$$P_{м.о.} = 1,3 \cdot P_{н.о.} \cdot K_c, \quad (2.30)$$

де  $K_c$  - коефіцієнт попиту освітлювальних навантажень в залежності від характеру приміщення.  $K_c = 0,95$ .

$$P_{м.о.} = 1,3 \cdot 6,96 \cdot 0,95 = 8,6.$$

За даними в цеху знаходяться дугові ртутні лампи ДРЛ-400М, кількість яких складає 48 одиниць.

Встановлена потужність освітлювальних установок за формулою, кВт:

$$P_{н.о} = 400 \cdot 48 = 19200 \text{ (Вт)} = 19,2 \text{ кВт.}$$

В таблиці 2.9 наведено коефіцієнт попиту освітлювального навантаження.

Таблиця 2.10 – Коефіцієнт попиту освітлювального навантаження

№	Найменування об'єктів	$K_c$
1	2	3
1	Малі виробничі будівлі і торгові приміщення	1,0

Продовження таблиці 2.9

1	2	3
2	Виробничі будівлі, що складаються з окремих приміщень	0,95
3	Виробничі будівлі, що складаються з окремих великих пролетів	0,95
4	Бібліотеки, адміністративні будівлі, підприємства громадського харчування	0,9
5	Учбові, дитячі, лікувальні заклади, конторські, побутові та лабораторні будівлі	0,8
6	Складські приміщення, електропідстанції	0,6

Максимальне навантаження освітлення, кВт:

$$P_{м.о.} = 1,12 \cdot 19,2 \cdot 0,95 = 20,42 .$$

Визначимо економію електроенергії в гривнях при заміні люмінесцентних ламп типу ДРЛ на лампи типу ЛХБ PHILIPS TL-D:

$$E_{грн} = E\phi \cdot C \cdot T , \quad (2.31)$$

де  $E\phi$  - ефективність впровадження цього заходу;

$T$  – приведена базова вартість, грн;

$T = 2,5$  грн./ кВт· год.

Економія електроенергії в кВт· год/добу визначається за формулою:

$$\Delta W = C_{ДРЛ} - C_{ЛХБ} , \quad (2.32)$$



де  $C_{ДРЛ}$  – споживання електроенергії лампами типу ДРЛ. Добовий графік навантаження освітлювальних установок наведено на рис. 2.9;

$$C_{ДРЛ} = C_1 + C_2;$$

$C_{ЛХБ}$  - споживання електроенергії лампами типу ЛХБ ,  $C_{ЛХБ} = C_3 + C_4$ ;

$$C_{ДРЛ} = 195,36 \text{ кВт} \cdot \text{год/добу},$$

з яких  $C_1 = 8 \cdot 20,42 = 163,36 \text{ кВт} \cdot \text{год}$  - приходить на пікові години;

$$C_2 = 16 \cdot 2 = 32 \text{ кВт} \cdot \text{год} - \text{приходить на нічні години.}$$

$$C_{ЛХБ} = 100,8 \text{ кВт} \cdot \text{год/добу},$$

з яких  $C_3 = 8 \cdot 8,6 = 68,8 \text{ кВт} \cdot \text{год}$  - приходить на пікові години;

$$C_4 = 16 \cdot 2 = 32 \text{ кВт} \cdot \text{год} - \text{приходить на нічні години,}$$

$$\Delta W = 195,36 - 100,8 = 94,56 \text{ кВт} \cdot \text{год /добу.}$$

Тобто ефективність впровадження цього заходу дорівнює:

$$E\phi = \frac{E}{C_{ДРЛ}}. \quad (2.33)$$

$$E\phi = \frac{94,56}{195,36} = 0,484 \text{ або } 48,4 \%$$

$$E_{грн} = 0,484 \cdot 195,36 \cdot 2,5 = 236,4 = 236,4 \cdot 258 = 60987,5 \text{ грн/рік}$$

Рисунок 2.9 Добовий графік навантаження освітлювальних установок

## 2.6 Впровадження системи енергоменеджменту

Основним інструментом скорочення споживання енергії та підвищення ефективності її використання на підприємстві є енергетичний менеджмент.

Енергетичний менеджмент являє собою систему, основною метою котрої є систематичне підтримання ефективності енерговикористання будь-якого об'єкту на заданому рівні і періодичне зростання цієї ефективності:

- оцінка фактичного стану справ в області енергозбереження;
- визначення можливих шляхів для зростання енергоефективності;
- формування перспективних планів енергозбереження;
- управління реалізацією проектів з енергозбереження;
- систематичний контроль (моніторинг) досягнутого рівня енергоефективності.

Світовий досвід та практика підтверджують, що при впровадженні енергетичного менеджменту гарантується зниження споживання енергоносіїв на 5 %.

## 2.7 Компенсація реактивної потужності

Для механічного цеху ПрАТ «ЗТР» доцільним буде встановлення конденсаторної установки (КУ) на КТП 1. Розрахуємо необхідну потужність КУ та кількість конденсаторів.

Необхідна потужність конденсаторної установки, квар:

$$Q_{\text{ку}} = P_{\text{сп}} \cdot (tg_{\varphi_1} - tg_{\varphi_2}), \quad (2.34)$$

де  $P_{\text{сп}}$  – середньорічна активна потужність підприємства,

$tg_{\varphi_1}$  – тангенс кута  $\varphi$ , який існував до компенсації реактивної потужності;  $tg_{\varphi_1} = 0,75$ ;

$tg_{\varphi_2}$  – тангенс кута  $\varphi_2$ , який буде після компенсації і відповідає плановому,  $tg_{\varphi_2} = 0,48$ .

$$Q_{\text{ку}} = 289,85 \cdot (0,75 - 0,48) = 78,26.$$

Вибираємо конденсаторну установку типу УКРП, яка призначена для застосування в мережі 0,4 кВ для компенсації реактивної потужності споживачів електроенергії індуктивного характеру з номінальною потужністю конденсаторних батарей 10 квар, яку представлено на рисунку 2.10, характеристика УКРП наведена в таблиці 2.11.



Рисунок 2.10 – Установка компенсації реактивної потужності

Таблиця 2.11 – Характеристика УКРП

Напруга	В	400
Регулювання компенсації		ступінчаста
Кількість ступенів КУ	шт	3
Мінімальний ступінь регулювання		2,5
Потужність	кВАр	10

Кількість конденсаторів визначимо за формулою од.:

$$n = \frac{Q_{ку}}{Q_k}, \quad (2.35)$$

де  $Q_k$  – потужність одного конденсатора, квар.

$$n = \frac{78,26}{10} = 7,826 \approx 8.$$

В таблиці 2.12 представлені потенційні можливості енергозберігаючих заходів на ПрАТ «ЗТР».

Таблиця 2.12 – Потенційні можливості енергозберігаючих заходів

№	Назва можливості з енергозбереження	Річна економія електричної енергії, кВт год	Простий термін окупності, років
1	Заміна недовантажених асинхронних двигунів двигунами меншої потужності	4452	0,9
2	Перехід на більш ефективні джерела світла	17585	3,8
3	Впровадження системи енергоменеджменту	90900	0,6
4	Компенсація реактивної потужності	-	1,1
Всього		112937	

В результаті впровадження заходів з енергозбереження, економія електричної енергії склала 112,9 тис. кВт год.

## 2.8 Виключення зі складу системи електроприводу проміжних передач

Проблема зводиться до того, що електрична енергія доступна на фіксованій частоті (50 Гц), а механічна енергія потрібна в широкому спектрі частот (швидкостей) обертання. До складу загальної схеми електроприводу входять перетворювач або механічний редуктор (коробка швидкостей, муфта ковзання), муфта, редуктор і робочий орган, який є частиною робочої машини.

Орієнтовні значення ККД елементів приводу складають: перетворювач – (0,6...0,98) (менше значення для малих швидкостей обертання, більше для більш високих швидкостей); двигун – (0,7...0,95) (менше значення для мікро машин, більші - для машин підвищеної потужності); механічний редуктор – (0,9...0,95); муфта – 0,99; редуктор – 0,95; робочий механізм – 0,95.

Виключення проміжних передач з системи електроприводу дає економію електричної енергії,  $\text{кВт} \cdot \text{год} / \text{рік}$  :

$$\Delta E = P \cdot k \cdot \left( \frac{1 - \eta_{\text{сум1}}}{\eta_{\text{сум1}}} - \frac{1 - \eta}{\eta} \right) \cdot T \cdot n; \quad (2.36)$$

де  $\eta_{\text{сум1}}$  - сумарний ККД електроприводу до виключення проміжних передач,

$$\eta_{\text{сум1}} = \eta_{\text{пр}} \cdot \eta_{\text{д}} \cdot \eta_{\text{м.р.}} \cdot \eta_{\text{м}} \cdot \eta_{\text{р.м}},$$

$$\eta_{\text{сум1}} = 0,8 \cdot 0,8 \cdot 0,9 \cdot 0,99 \cdot 0,95 = 0,54 \quad (2.37)$$

де  $\eta_{\text{сум2}}$  - сумарний ККД електроприводу після виключення проміжних передач,  $\eta_{\text{сум2}} = 0,8$ ;

$T$  - час роботи вентилятора в рік,  $\text{год}$ ;

$n$  - кількість вентиляторів, од.,

$$\Delta E = 30 \cdot 0.8 \cdot \left( \frac{1-0.54}{0.54} - \frac{1-0.8}{0.8} \right) \cdot 2500 \cdot 2 = 72222 .$$

## 2.9 Заміна вентиляторів старих типів на нові

Заміна вентиляторів старого типу з низьким ККД вентиляторамі нового типу дає економію електричної енергії, [12],  $\kappa\text{Вт} \cdot \text{год}$ :

$$\Delta E = \frac{h \cdot Q \cdot (\eta_2 - \eta_1) \cdot t}{102 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_s \cdot \eta_c} , \quad (2.38)$$

де  $\eta_1, \eta_2$  - ККД старого і нового вентиляторів;

$\eta_s, \eta_c$  - ККД електродвигуна та мережі відповідно;

$h$  - тиск вентилятора,  $\text{Па}$ ;

$Q$  - подача вентилятора,  $\text{м}^3 / \text{с}$ ;

$t$  - час роботи вентилятора в рік,  $\text{год}$ .

Вентилятор Ц4-75 №3,15 з  $\eta_1=0,36$ , на рисунку 2.12, замінюємо новим вентилятором ВЦ 14-46 №5 з  $\eta_2 = 0,71$ , зображений на рисунку 2.13.

В таблиці 2.13 наведена характеристика ВЦ 4-75 №3,15 з ел.двигуном АІР 80 А2 1,5 кВт 3000 об./хв, виконання №1.

В таблиці 2.14 наведена характеристика ВЦ 14-46 №5 з ел.двигуном АІР 132 S6 5,5 кВт 1000 об./хв, виконання №1.



Рисунок 2.12 – ВЦ 4-75 №3,15

Таблиця 2.13 – Характеристика ВЦ 4-75 №3,15

Продуктивність	м <sup>3</sup> /год	2900
Тиск	Па	1090
Частота обертання дв.	об/хв	3000
ККД	%	0,36
Макс. температура переміщуваного повітря	°С	80
Межа забрудненості	мг/м <sup>3</sup>	100



Рисунок 2.13 – ВЦ 14-46 №5



Таблиця 2.14 – Характеристика ВЦ 14-46 №5

Продуктивність	м <sup>3</sup> /год	14000
Тиск	Па	1100
Частота обертання дв.	об/хв	1000
ККД	%	0,71
Макс. температура переміщуваного повітря	°С	80
Межа забрудненості	мг/м <sup>3</sup>	100

Тиск вентилятора залишається незмінним  $h = 1100$  Па ,

$$Q_2 = 3,89 \text{ м}^3/\text{с}; Q_1 = 0,806 \text{ м}^3/\text{с},$$

$$t = 2500 \text{ год}; \eta_s = 0.8; \eta_c = 0.8,$$

тоді,

$$\Delta E = \frac{1100 \cdot (3.89 - 0.806) \cdot (0.71 - 0.36) \cdot 2500}{102 \cdot 0.36 \cdot 0.71 \cdot 0.8 \cdot 0.8} = 177899,248.$$

### 3 УПРАВЛІННЯ ВЕНТИЛЯЦІЄЮ ВИРОБНИЧИХ ЦЕХІВ ПІДПРИЄМСТВА

#### 3.1 Аналіз наявних схем автоматики вентиляції виробничих цехів

Існує низка стандартних реалізацій автоматики системи припливно-втяжної вентиляції, кожна з них має низку переваг і недоліків. Незважаючи на наявність безлічі типових схем і розробок, вельми складно створити таку САУ, яка б була гнучкою щодо налаштувань відносно виробництва, на якому вона впроваджується. Таким чином, для проектування САУ ПВВ необхідний ретельний аналіз наявної структури вентиляції, аналіз технологічних процесів виробничого циклу, а також аналіз вимог з охорони праці, екології, електро- та пожежної безпеки. Найчастіше проєктована САУ ПВВ, що проєктується, є спеціалізованою щодо галузі свого застосування.

У будь-якому разі, як типові вихідні дані на початковому етапі проектування зазвичай прийнято розглядати такі групи:

1. Загальні дані: територіальне розташування об'єкта (місто, район); тип і призначення об'єкта.

2. Відомості про будівлю і приміщення: плани і розрізи із зазначенням усіх розмірів і відміток висот відносно рівня землі; зазначення категорій приміщень (на архітектурних планах) згідно з протипожежними нормами; наявність технічних площ із зазначенням їхніх розмірів; розташування і характеристики наявних систем вентиляції; характеристики енергоносіїв;

3. Відомості про технологічний процес: креслення технологічного проєкту (плани) із зазначенням розміщення технологічного обладнання; специфікація обладнання із зазначенням встановлених потужностей; характеристики технологічного режиму - кількість робочих змін, середня кількість робітників за зміну; режим роботи обладнання (одночасність роботи, коефіцієнти завантаження та ін.); кількість шкідливих виділень у

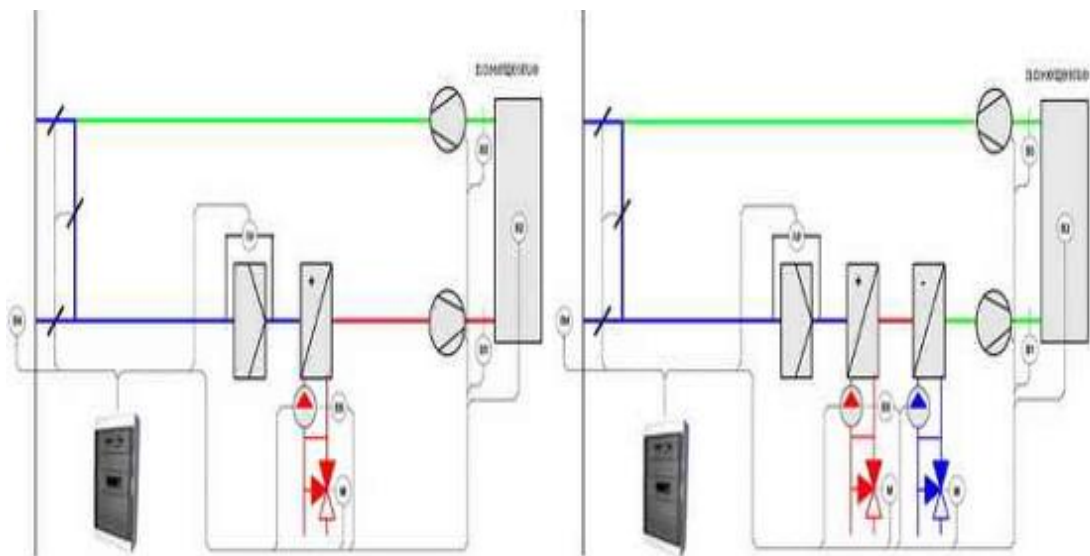
повітряне середовище (ГДК шкідливих речовин).

Як вихідні дані для розрахунку автоматичної системи ПВВ виносять:

- продуктивність наявної системи (потужність, повітрообмін);
- перелік параметрів повітря, що підлягають регулюванню;
- визначення регулювання;
- робота автоматичної системи під час надходження сигналів від інших систем.

Таким чином, виконання системи автоматичного проектується виходячи з покладених на неї завдань з урахуванням норм і правил, а також загальних вихідних даних і схем. Складання схеми і підбір апаратури системи автоматичної вентиляції виконується індивідуально.

Наведемо наявні типові схеми систем керування припливно-витяжною вентиляцією, охарактеризуємо деякі з них щодо можливості застосування для розв'язання завдань кваліфікаційної роботи (рис. 3.1, 3.2, 3.6).



а) САУ з функцією підігріву повітря

б) САУ з функцією підігріву та охолодження повітря

Рис. 3.1 – САУ прямої вентиляції

Ці системи автоматичного знайшли активне застосування на фабриках, заводах, в офісних приміщеннях. Об'єкт керування тут - це шафа автоматичної

(пульт керування), фіксувальні пристрої - датчики каналів, керівний вплив здійснюється на двигуни моторів вентиляторів, двигуни заслінок. Також присутня САР підігріву/охолодження повітря. Охолодження повітря у виробничих приміщеннях малоефективне внаслідок обсягів цих приміщень, а підігрів є обов'язковою умовою правильного функціонування САУ ПБВ.

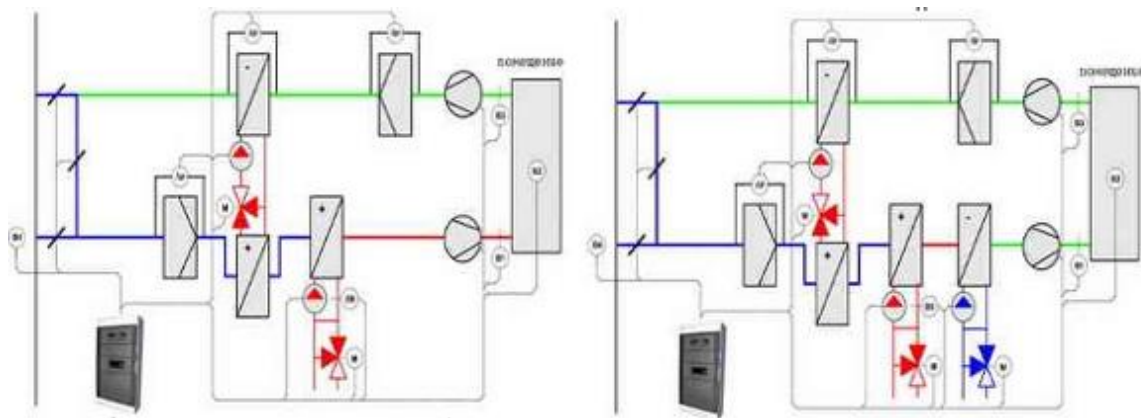


Рис. 3.2 - САУ вентиляцією з теплоутилізаторами

Побудова САУ ПБВ з використанням теплоутилізаторів (рекуператорів) дає змогу розв'язувати проблеми перевитрати електроенергії (для електрокалориферів), проблеми викидів у навколишнє середовище. Сенса рекуперації в тому, що повітря, яке видаляється безповоротно, з приміщення, що має температуру, задану в приміщенні, обмінюється енергією із зовнішнім повітрям, яке надходить і параметри якого зазвичай значно відрізняються від заданих. Тобто взимку тепле витяжне повітря, що видаляється, частково нагріває зовнішнє припливне повітря, а влітку більш холодне витяжне повітря частково охолоджує припливне повітря. У кращому разі, на рекуперації можна зменшити енерговитрати на обробку припливного повітря на 80 %.

Технічно рекуперація в припливно-витяжній вентиляції здійснюється застосуванням обертових теплоутилізаторів і систем із проміжним теплоносієм. Таким чином, отримуємо вигреш як на нагріванні повітря, так і на скороченні відкриттів заслінок (допускається більший час простою

двигунів, що керують заслінками) - все це дає загальний виграш у плані економії електроенергії.

Системи з рекуперацією тепла є перспективними і активно впроваджуються замість старих вентиляційних систем. Однак, варто зазначити, що подібні системи коштують додаткових капіталовкладень, однак і термін їхньої окупності, порівняно малий, у той час як рентабельність дуже висока. Також відсутність постійного викиду в навколишнє середовище підвищує екологічні показники подібної організації автоматики ПВВ. Спрощено роботу системи з рекуперацією тепла з повітря (рециркуляцією повітря) наведено на рис. 3.3.

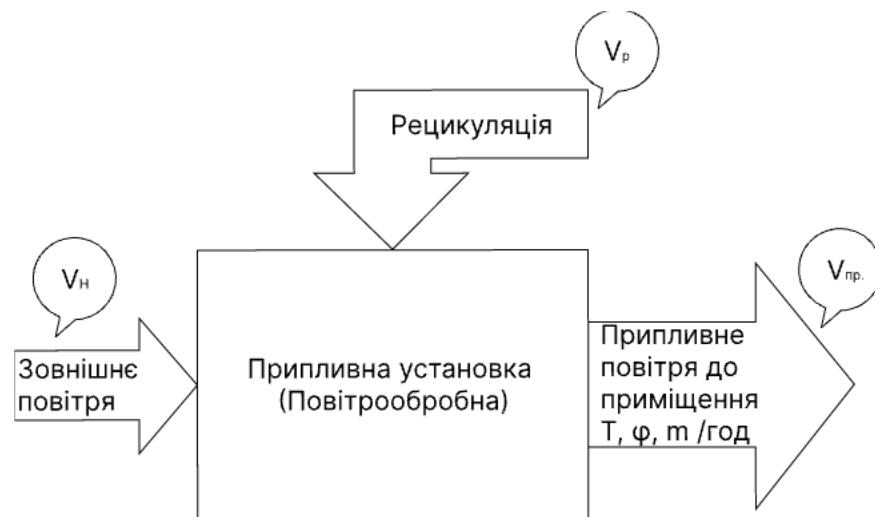


Рис. 3.3 - Робота системи повітрообміну з рециркуляцією (рекуперацією)

Перехреснострумові або пластинчасті рекуператори (рис. 3.2) складаються з пластин (алюмінієвих), що являють собою систему каналів для протікання двох потоків повітря. Стінки каналів є спільними для припливного і витяжного повітря і легко передають. Завдяки великій площі поверхні обміну і турбулентній течії повітря в каналах досягають високого ступеня теплоутилізації (теплопередачі) за відносно низького гідравлічного опору. Ефективність пластинчастих рекуператорів доходить до 70 %.

На рисунку 3.4 наведена організація повітрообміну САУ ПВВ на основі пластинчастих рекуператорів.

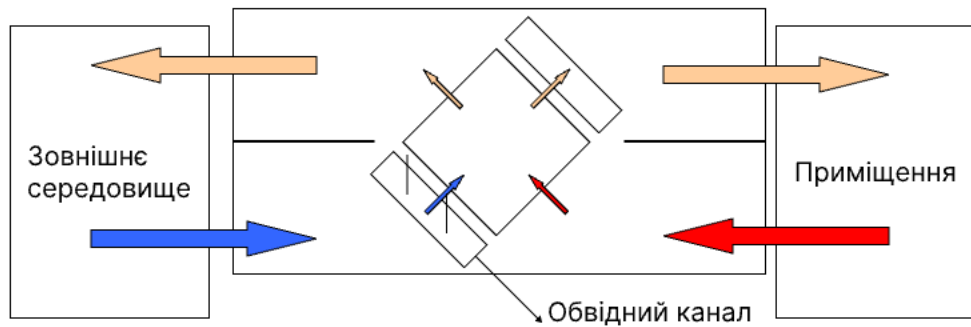


Рис. 3.4 - Організація повітрообміну САУ ПВВ на основі пластинчастих рекуператорів

Утилізується тільки явне тепло витяжного повітря, оскільки припливне і витяжне повітря якимось чином не змішуються, а конденсат, що утворюється під час охолодження витяжного повітря, затримується сепаратором і відводиться дренажною системою зі зливного піддону. Для запобігання замерзанню конденсату за низьких температур (до  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), формуються відповідні вимоги до автоматики: вона повинна забезпечувати періодичну зупинку припливного вентилятора або відведення частини зовнішнього повітря в обвідний канал в обхід каналів рекуператора. Єдине обмеження в застосуванні цього методу полягає в обов'язковому перетині припливної та витяжної гілки в одному місці, що в разі простої модернізації САУ накладає низку труднощів.

Системи рекуперації з проміжним теплоносієм (рис. 3.2 а,б) являють собою пару теплообмінників, з'єднаних замкнутим трубопроводом. Один теплообмінник розташований у витяжному каналі, а інший - у припливному. По замкнутому контуру циркулює незамерзаюча гліколева суміш, переносючи тепло від одного теплообмінника до іншого, причому в цьому випадку відстань від припливної установки до витяжної може бути досить значною.

Ефективність теплоутилізації за такого методу не перевищує 60 %.

Вартість порівняно велика, проте в деяких випадках це може бути єдиним варіантом теплоутилізації.

На рисунку 3.5 наведений принцип теплоутилізації із застосуванням проміжного теплоносія.

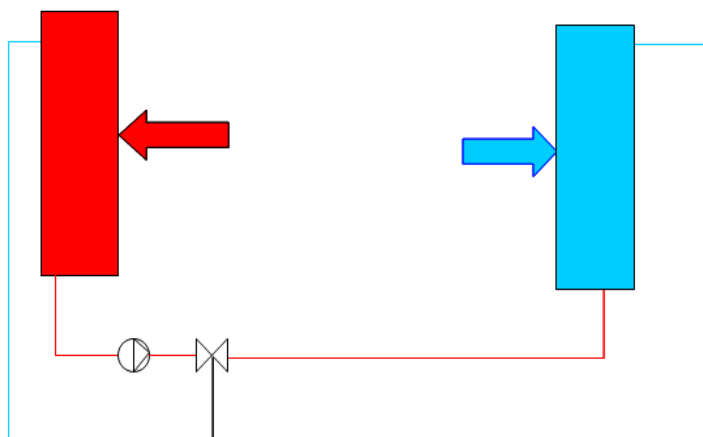


Рис. 3.5 - Принцип теплоутилізації із застосуванням проміжного теплоносія

Роторний теплоутилізатор (обертовий теплообмінник, рекуператор, рис. 3.6) - являє собою ротор із каналами для горизонтального проходу повітря. Частина ротора розташована у витяжному каналі, а частина - у припливному. Обертаючись, ротор отримує тепло витяжного повітря і передає його припливному, причому передається як явне, так і приховане тепло, а також вологість. Ефективність теплоутилізації максимальна і досягає 80 %.

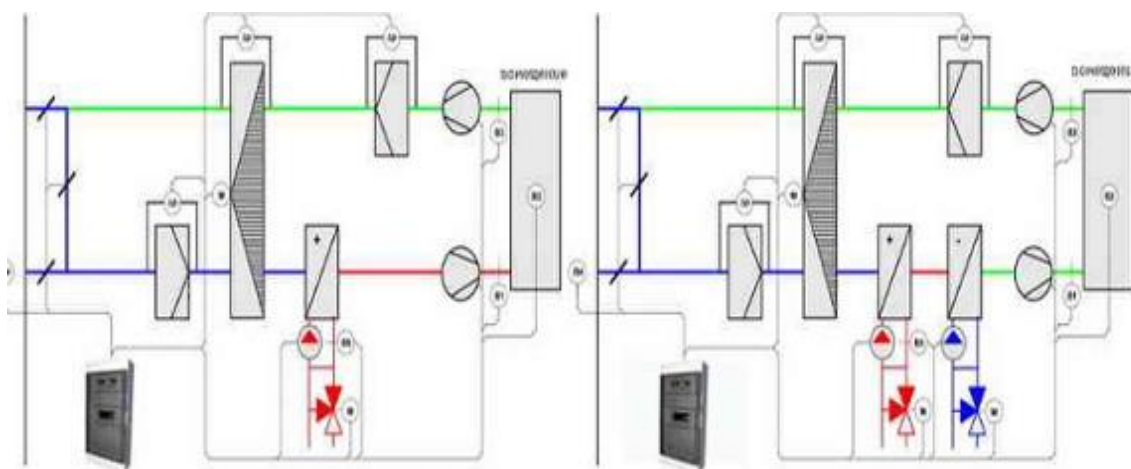


Рис. 3.6 - САУ ПВВ з роторним рекуператором

Обмеження на застосування цього методу накладає насамперед те, що до 10 % витяжного повітря змішується з припливним, а в низці випадків це неприпустимо або небажано (якщо повітря має значний рівень забруднення). Вимоги до конструкції аналогічні попередньому варіанту - витяжна і припливна машина знаходиться в одному місці. Цей спосіб дорожчий за перший і рідше знаходить застосування.

Загалом системи з рекуперацією коштують на (40...6) % дорожче за аналогічні системи без рекуперації, однак витрати на експлуатацію при цьому відрізнятимуться в рази. Навіть за сьогоднішніх цін на енергоносії час окупності системи рекуперації не перевищує двох опалювальних сезонів.

Хотілося б зазначити, що на енергозбереження впливають, зокрема, й алгоритми керування. Однак, завжди слід враховувати, що всі системи вентиляції розраховуються на деякі усереднені умови.

Наприклад, витрату зовнішнього повітря визначали на одну кількість людей, а реально в приміщенні може перебувати менше ніж 20 % від прийнятого значення, звісно, в такому разі розрахункова витрата зовнішнього повітря буде явно надлишковою, робота вентиляції в надлишковому режимі призведе до необґрунтованої втрати енергоресурсів. Логічно в такому разі розглянути кілька режимів експлуатації - наприклад, зимовий/літній. Якщо автоматика здатна встановити подібні режими - економія очевидна.

Ще один підхід пов'язаний із регулюванням витрати зовнішнього повітря залежно від якості газового середовища всередині приміщення, тобто система автоматики містить у собі газоаналізатори на шкідливі гази та підбирає значення витрати зовнішнього повітря так, щоб вміст шкідливих газів не перевищував гранично допустимих значень.

### 3.2 Калориферна установка

Калорифери призначені для нагріву чистого повітря в системах



кондиціонування повітря, вентиляції, повітряного опалення і в сушильних установках. Класифікувати калорифери, що застосовуються нині, можна за кількома ознаками.

Теплоносій (вода або пара) надходить через вхідний штуцер, проходить по трубках і видаляється через вихідний штуцер. Повітря, що нагрівається, обтікає зовнішні поверхні труб. По ходу руху повітря трубки в калориферах можуть розташовуватися в коридорному або шаховому порядку. В останньому випадку забезпечуються кращі умови теплопередачі, проте разом з цим зростає і опір повітря.

В одноходових калориферах доступ теплоносія з розподільних коробок відкритий в усі трубки, і теплоносій проходить ними між розподільною і збірною коробками один раз.

Коробки багатоходових калориферів мають поперечні перегородки, які створюють послідовний рух теплоносія по трубках. У таких калориферах швидкість руху теплоносія в трубках за однакової витрати порівняно з одноходовими більша, у зв'язку з чим інтенсивність теплопередачі зростає. Водночас живий переріз трубок менший, отже, більший опір рухомого теплоносія.

У ребристих калориферах зовнішня поверхня труб має ребра, завдяки чому площа теплопередавальної поверхні збільшується. Кількість трубок ребристих калориферів менша, ніж у гладкотрубчастих, але технічні показники вищі. Оребрення поверхневих трубок виконується різними способами.

У пластинчастих калориферах ребра утворені сталевими пластинами, насадженими на трубки.

У спірально-навивних калориферах ребра утворюються навивкою сталевій стрічки. При цьому завдяки великому зусиллю під час навивання забезпечується щільний контакт між трубкою і стрічкою, що покращує умови тепловіддачі. Однак за такої конструкції ребер опір руху повітря більший, ніж у пластинчастих калориферів.

Калориферна установка, яка використовується у виробничому цеху, - марки КВБ12-П (4 послідовно пов'язаних калорифера). Призначена для підігріву зовнішнього повітря, що подається в припливний канал вентиляції.

У зимовий період роботи системи вентиляції нагрівання повітря здійснюється водою в теплообміннику. Калорифер цієї марки виготовлено з металевих трубок з алюмінієвим ребрами. У разі замерзання води в цих трубках відбувається їхній розрив, що призводить до витікання води із системи, і надалі потребує ремонту або заміни теплообмінника.

Для захисту від замерзання води необхідно передбачити комплекс заходів:

- забезпечити швидкість протікання води не нижче мінімально допустимої (забезпечується вибором триходового клапана - 13,8 м<sup>3</sup>/год - пропускна здатність, сила напору води - постійна, визначається продуктивністю циркуляційного насоса котельні);

- встановити захист за температурою повітря;

- у випадку спрацьовування захисту забезпечити вимкнення вентилятора, закриття повітряного клапана і відкриття регулювального вентиля.

Для захисту по повітрю встановлюється капілярний термостат. Капіляр встановлюється за теплообмінником, перекриваючи весь перетин повітропроводу. Термостат спрацьовує за температури повітря 5°C, замикаючи релейний контакт, видає сигнал у щит керування.

Температура теплоносія дорівнює +80° - +95 °С, теплоносієм є вода, що подається в калорифер із заводської котельні. Зовнішнє повітря нагрівається, проходячи через калорифер, що нагнітається припливним відцентровим вентилятором. На виході калорифера температура повітря, що проходить через нього, становить приблизно 50 °С. Далі вже нагріте повітря проходить через мережу повітропроводів, потрапляє в заводські приміщення і змішується з повітрям, яке там знаходиться. Настільки висока температура підігріву повітря обумовлена тепловим розсіюванням на поверхню

повітропроводів.

Калориферна установка - центральний елемент розроблюваної системи автоматичного регулювання температури припливного повітря.

Математичну модель цієї САР наведено на рис. 3.7.

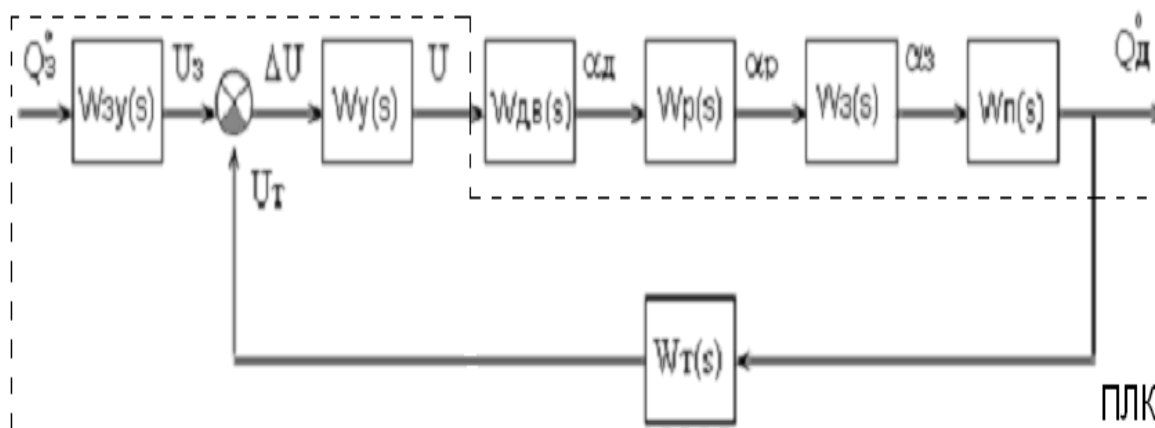


Рис. 3.7 – Математична модель САР температури повітря

В таблиці 3.1 наведені пояснення до математичної моделі САР температури повітря

Таблиця 3.1 - Пояснення до математичної моделі САР температури повітря

Позначення	Пояснення
1	2
$W_{zy}(s)$	передавальна функція задавального пристрою
$W_y(s)$	передавальна функція підсилювача
$W_{дв}(s)$	передавальна функція електродвигуна
$W_p(s)$	передавальна функція редуктора
$W_{п}(s)$	передавальна функція провідної ланки (повітропровід))
$W_z(s)$	передавальна функція заслінки
$W_t(s)$	передавальна функція датчика температури
ПЛК	програмований логічний контролер (обведені пунктиром структурні компоненти - складають частину логічного

	контролера, що працює у формі П-регулятора зі зворотним зв'язком за датчиком температури)
Координати замкнутої САР	
$\theta_3^\circ$	задане значення температури
$U_3$	напруга, що видається задавальним пристроєм (регулятор)
$\Delta U = U_3 - U_T$	напруга, що видається порівнювальним пристроєм
$U$	напруга на виході підсилювача
$\alpha_d$	кут повороту вала двигуна
$\alpha_p$	кут повороту вала редуктора
$\alpha_z$	кут повороту заслінки
$\theta_d^\circ$	дійсне значення температури пари

Передавальні функції елементів САР узяті з відповідних технічних паспортів на калорифер марки КВБ12-П і засобів автоматизації, які входять до складу системи, а також встановлені шляхом спостереження і проведення випробувань.

### 3.3 Впровадження автоматичного керування вентиляторними установками

Пристрій автоматичного регулювання та керування вентиляторними установками в залежності від температури зовнішнього повітря призводить до економії електричної енергії (10...15) %. Система керування SHTORM-V призначена для керування електродвигуном вентилятора підпору або димовидалення. Системи керування лінійки SHTORM-V передбачають можливість автоматичного регулювання витрати повітря, пристрій представлений на рисунку 3.8.



Рисунок 3.8 – SHTORM-V

В таблиці 3.2 наведена характеристика пристрою автоматичного регулювання та керування вентиляторними установками SHTORM-V

Таблиця 3.2 – Характеристика SHTORM-V

Напруга	В	400
Частота	Гц	50
Максимальна потужність навантаження	кВт	11
Максимальний струм навантаження	А	25
Кількість керованих вентиляторів	шт	44
Степінь захисту		IP54

Споживання електричної енергії вентиляторними установками,  
кВт·год / рік :

$$E = k_B \cdot P \cdot T \cdot n, \quad (3.1)$$

де  $n$  - кількість вентиляторних установок, од.;

$P$  - потужність електродвигуна вентиляторної установки, кВт;

$k_B$  - коефіцієнт використання;

$T$  - тривалість роботи вентиляторної установки, год/рік;

$$E = 0.8 \cdot 30 \cdot 2500 \cdot 2 = 120000 .$$

Економія електричної енергії, кВт·год / рік :

$$\Delta E = E \cdot (k_{ea} - 1), \quad (3.2)$$

де  $k_{ea}$  - коефіцієнт ефективності впровадження автоматичного керування,

$$k_{ea} = 1,1 - 1,5 .$$

$$\Delta E = 120000 \cdot (1.3 - 1) = 36000 .$$

## ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі був проведений аналіз енерговикористання промисловими агрегатами підприємства, дана загальна характеристика енергоспоживання.

Були проаналізовані можливості впровадження енергозберігаючих заходів в енергоспоживанні для підвищення енергоефективності підприємства в цілому.

Запропоновані заходи щодо підвищення ефективності електроспоживання:

- заміна асинхронних двигунів двигунами меншої потужності;
- компенсація реактивної потужності, пропонується встановлення установки компенсації реактивної потужності;
- заміна вентиляторів старих типів на нові;
- впровадження автоматичного керування вентиляторними установками.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Осташевський М. О., Юр'єва О. Ю. Електричні машини і трансформатори : навч. посіб. за ред. д-ра техн. Наук, професора. В І. Мілих. – Київ : Каравела, 2018. 452 с.
2. Островерхов М. Я., Сенько В.І., Чибеліс В.І. Промислова електроніка: Напівпровідникові перетворювачі змінної напруги в постійну : навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 341 с.
3. Василега П.О. Електропостачання : навч. посіб. Суми : Університетська книга, 2008. 415 с.
4. Мілих В.І., Павленко Т.П. Електропостачання промислових підприємств : підручник. Харків : ФОП Панов А. М., 2016. 272 с.
5. Рудницький В. Г. Внутрішньоцехове електропостачання : навч. посіб. Суми : ВТД Університетська книга, 2007. 280 с.
6. Рудницький, В. Г. Внутрішньозаводське електропостачання. Курсове проектування [Текст] : навчальний посібник / В. Г. Рудницький. - Суми : "Університетська книга", 2006. - 153 с.
7. Грабко В. В. Моделі і засоби регулювання напруги за допомогою трансформаторів з пристроями РПН [монографія] / В. В. Грабко. — Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. — 109 с.
8. Системи електроспоживання та електропостачання пром. підприємств.: Підручник для ВНЗ III-IV р.а. Шестеренко В. Є. (Видавництво «Нова Книга») Вінниця, 2004 – 656 с.
9. Харченко В. Ф. Електропостачання міст та промислових підприємств : конспект лекцій (для студентів усіх форм навчання галузі знань 14 – Електрична інженерія, спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, професійне спрямування «Електротехнічні системи електроспоживання») / В. Ф. Харченко, О. А.



- Якунін, В. Г. Воропай ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. – 238 с.
10. Система автоматичного керування трансформаторами з поздовжньопоперечним регулюванням напруги під навантаженням : монографія / В. В. Грабко, С. М. Левицький. — Вінниця : ВНТУ, 2010. — 120 с.
  11. ДСТУ-Н Б В.2.5-80:2015 Настанова з проектування систем електропостачання промислових підприємств. Київ : Мінрегіонбуд України, 2015. 45 с.
  12. ДСТУ EN 50160:2014 (EN 50160:2010, IDT) Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загальної призначеності. Київ : Мінекономрозвитку України, 2014. 32 с
  13. Маліновський А.А. Основи електроенергетики та електропостачання: Підручник [Текст] / А.А. Маліновський, Б.К. Хохулін. — 2-ге вид., перероб. та доп. вид. — Львів : Видавництво Національного університету Львівська політехніка, 2009. — 436 с.
  14. Перехідні процеси в системах електропостачання: підруч. для вузів / Г.Г. Півняк, В.М. Винославський, А.Я. Рибалко, Л.І. Несен. – 2-е вид., доправ. та доп. – Дніпро : Нац. гірн. ун-т, 2018. – 597 с.
  15. Грабко В. В., Розводюк М. П., Левицький С. М. Г75 Експериментальні дослідження електричних машин. Частина IV. Трансформатори. Навчальний посібник. – Вінниця: ВНТУ, 2008. – 219 с.
  16. Електропостачання промислових підприємств. Посібник до курсового та дипломного проектування / Шестерненко В. Є., Шестерненко О. В. – Київ, 2013. – 424 с.
  17. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvngu\\_2018\\_3\\_18](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvngu_2018_3_18).
  18. Василега П. О. Електропостачання : підручник /– Суми : Сумський державний університет, 2019. – 521 с.

19. Основи безпечної експлуатації електроустановок: підручник / С. В. Панченко, О. І. Акімов, М. М. Бабаєв та ін. – Харків: УкрДУЗТ, 2021. – 149 с.
20. Електропостачання промислових підприємств: підручник для студентів електромеханічних спеціальностей / В.І. Мілих, Т.П. Павленко. – Харків : ФОП Панов А. М., 2016. – 272 с.