

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ

Електротехніка та енергоефективність

(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота

другий (магістрський) рівень

(рівень вищої освіти)

на тему Підвищення ефективності енергоспоживання Запорізького  
заводу кольорових металів

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1419  
спеціальності 141 Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка

(код і назва спеціальності)

спеціалізації

(код і назва спеціалізації)

освітньої програми 141.00.11 Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка

(назва освітньої програми)

О.С. Пащенко

(ініціали та прізвище)

Керівник проф., доц., д.т.н. Артемчук В.В.

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

Рецензент

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

Запоріжжя  
2020



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерний навчально-науковий інститут \_\_\_\_\_  
Кафедра електротехніки та енергоефективності  
Рівень вищої освіти другий (магістрський) рівень  
Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка  
(код та назва)  
Спеціалізація \_\_\_\_\_  
(код та назва)  
Освітня програма 141.00.11 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

« 09 » \_\_\_\_\_ 2020 року

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

Пащенко Олександр Сергійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема роботи (проекту) Підвищення ефективності енергоспоживання  
Запорізького заводу кольорових металів

керівник роботи Артемчук Віктор Васильович, д.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЗНУ від « 14 » вересня 20 року № 1306-с

1 Строк подання студентом роботи 01 грудня 2020 р.

2 Вихідні дані до роботи Мережі внутрішньозаводського електропостачання  
напругою 6 - 10 кВ; цехові мережі електропостачання, що включають у себе  
трансформатори КТП і живильні й розподільні мережі 0,4 кВ й електроприймачі  
з напругою 6 - 10 кВ та напругою 380/220 В.

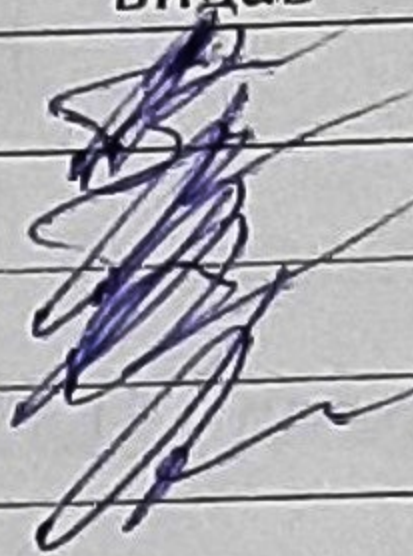

3 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно  
розробити) Заходи підвищення ефективності електропостачання промислових  
підприємств; заходи щодо зниження технічних втрат в системі  
електропостачання заводу; визначення економічної ефективності від  
застосування енергозберігаючих заходів

4 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)  
Потужність електроспоживачів у цехах підприємства; втрати активної енергії у  
мережах підприємства; заходи зниження технічних втрат електричної енергії у



системах електропостачання; структурні втрати електричної енергії у системі електропостачання заводу кольорових сплавів

### 5 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	Артемчук В.В., професор		
Розділ 2	Артемчук В.В., професор		
Розділ 3	Артемчук В.В., професор		
Розділ 4	Артемчук В.В., професор		

6 Дата видачі завдання 02.09.2020

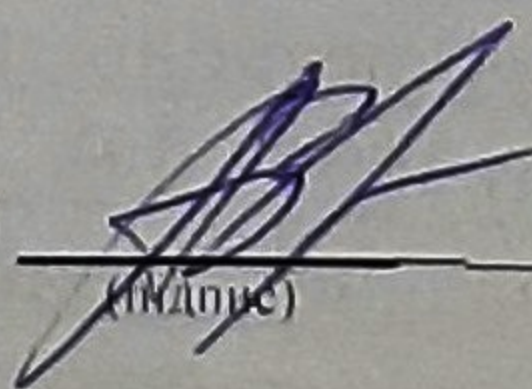
### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Заходи підвищення ефективності електропостачання промислових підприємств	20.09.2020	
2	Заходи щодо зниження технічних втрат в системі електропостачання заводу	15.10.2020	
3	Визначення економічної ефективності від застосування енергозберігаючих заходів	15.11.2020	
4	Охорона праці	01.12.2020	

Студент   
(підпис)

О.С. Пащенко  
(ініціали та прізвище)

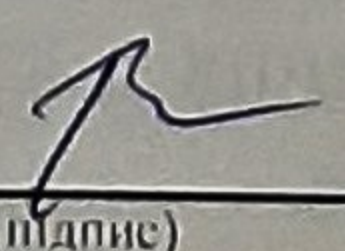
Керівник роботи (проекту)

  
(підпис)

В.В. Артемчук  
(ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер

  
(підпис)

С.В. Башлій

(ініціали та прізвище)



## РЕФЕРАТ

Пащенко О.С. Підвищення ефективності енергоспоживання Запорізького заводу кольорових металів.

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, науковий керівник Артемчук В.В. Запорізький національний університет. Інженерний навчально-науковий інститут. Кафедра електротехніки та енергоефективності, 2020.

Пояснювальна записка містить 106 стор., 12 рисунків, 11 таблиць, 21 джерело.

Анотація. Виконано аналіз ефективності енергозберігаючих заходів у системі енергопостачання підприємств і розробка енергозберігаючих заходів для системи електропостачання заводу кольорових металів. Запропоновано заходи щодо зниження технічних втрат в системі електропостачання заводу. Проведено оцінку зниження втрат електроенергії в елементах мережі підприємства за рахунок регулювання графіка навантаження.

Ключові слова: система електропостачання, промислове підприємство, розрахункове навантаження, коефіцієнт попиту, компенсація реактивної потужності

## ЗМІСТ

Вступ.....	7
1 Заходи підвищення ефективності електропостачання промислових підприємств .....	10
2 Заходи щодо зниження технічних втрат в системі електропостачання заводу.....	16
2.1 Компенсація реактивної потужності як один з заходів підвищення ефективності електропостачання.....	16
2.1.1 Характеристика джерел реактивної потужності і принцип її компенсації.....	16
2.1.2 Аналіз електричних навантажень заводу кольорових сплавів .....	30
2.1.3 Пропозиції щодо удосконалення схеми й елементів мережі електропостачання заводу кольорових сплавів .....	36
2.1.4 Вибір потужності компенсуючих пристроїв.....	39
2.1.5 Оцінка зниження втрат електроенергії в елементах мережі при застосуванні компенсації реактивної потужності.....	43
2.2 Вибір економічного режиму роботи трансформаторів.....	47
2.2.1 Поняття економічного режиму роботи трансформаторів.....	47
2.2.2 Визначення економії електроенергії від застосування обраного режиму роботи трансформатора.....	52
2.3 Регулювання графіка навантаження.....	55
2.3.1 Основні принципи регулювання графіка навантаження.....	55
2.3.2 Регулювання графіка навантаження підприємства на основі автоматизованої системи обліку й керування електроспоживанням.....	65
2.3.3 Оцінка зниження втрат електроенергії в елементах мережі підприємства за рахунок регулювання графіка навантаження.....	69

3	Визначення економічної ефективності від застосування енергозберігаючих заходів .....	71
3.1	Оцінка економічної ефективності компенсації реактивної потужності.....	71
3.2	Оцінка економічної ефективності застосування запропонованого режиму роботи трансформаторів.....	75
4	Охорона праці.....	79
4.1	Аналіз небезпечних і шкідливих факторів відділення мідно-цинкових сплавів ТОВ «ЗЗКС».....	79
4.2	Технічні рішення по виробничій санітарії відділення мідно-цинкових сплавів.....	82
4.3	Заходу щодо ТБ.....	87
4.4	Заходи пожежної безпеки.....	89
4.5	Розрахунок аерації.....	90
	Висновки.....	92
	Перелік посилань .....	94

## ВСТУП

*Актуальність.* На даний час в умовах підвищення енергооснащеності підприємств, використання високопродуктивних енергоємних технологічних процесів, значну актуальність здобуває проблема підвищення ефективності використання електричної енергії. Ця проблема вирішується за рахунок зниження втрат електроенергії в елементах електричних мереж при її виробленні, передачі, розподілі й споживанні, підвищенні надійності електропостачання й забезпечення нормативних показників якості електроенергії в споживачів. Особливу актуальність в умовах дефіциту енергоресурсів на Україні й постійному підвищенні тарифів на електроенергію здобуває проблема енергозбереження. Тому в Україні розроблений і прийнятий закон про енергозбереження, у якому передбачені обов'язкові заходи щодо енергозбереження на всіх стадіях виробництва, передачі й розподіли, і споживання електроенергії.

Енергозберігаючі заходи в системах електропостачання умовно розділяються на заходи, які застосовуються при проектуванні й при експлуатації, крім того, енергозберігаючі заходи розділяються залежно від ступеня залучення капітальних витрат на менш витратні й заходи зв'язані зі значними капітальними вкладеннями.

Аналіз ефективності енергозберігаючих заходів проводиться на основі техніко-економічного розрахунку, у якому визначається економічний ефект від застосування відповідного заходу й строк його окупності.

Стимулювання застосування енергозберігаючих заходів забезпечується за рахунок державного економічного регулювання відносин між енергопостачальною організацією й промисловим підприємством з метою енергозбереження, підвищення якості електроенергії й надійності електропостачання. Таке стимулювання забезпечується при використанні обліку електроенергії диференційованого по зонах добового графіка навантаження й використанні розробленої міністерством палива й енергетики

України методики розрахунку оплати за спожиту реактивну електроенергію, що передбачає гнучку систему знижок і надбавок до тарифів на електроенергію.

У даній магістерській роботі проводиться вибір і оцінка енергозберігаючих заходів для системи електропостачання «Запорізького заводу кольорових сплавів».

«Запорізький завод кольорових сплавів» - одне з провідних підприємств в Україні по виробництву кабельно-провідникової продукції, а також вторинних алюмінієвих і мідних сплавів. Площа промислового майданчика – 5,5 гектар. Виробничі площі оснащені будівлями по виготовленню продукції, енергетичними та інженерними комунікаціями.

Основні види продукції, що випускаються заводом: сплави алюмінієві ливарні; бронза олов'яна і без олова; сплави мідно-цинкові (латунь); відливки відцентрованого лиття; мідні злитки вогневого рафінування; мідна катанка; електротехнічна мідна проволока; багатодротяні гнучкі мідні й алюмінієві жили; неізолювані дроти; дроти для електричного обладнання; кабелі силові марки ВВГ, АВВГ, ПвВГ, ВВГнг, АВВГнг; кабелі контрольні; мідні катоди.

Підприємство складається з таких виробництв:

- металургійне виробництво;
- виробництво кабелю, дроту й жил;
- загальнозаводське виробництво.

По вказаних виробництвах роботу підприємства забезпечують наступні дільниці й споживачі: плавильна, лиття (для металургійного виробництва); мідної катанки, грубого й тонкого волочіння, скручування жил, кабелю й дроту (для виробництва кабелю, дроту й жил); автотранспортний цех, інструментальний цех, адміністративний корпус, котельня, енергосиловий цех, очисних споруд, лабораторія якості та метрології (для загальнозаводського виробництва).

*Об'єкт досліджень* – система енергопостачання Запорізького заводу кольорових металів.



*Предмет досліджень* – втрати електричної енергії в системі енергопостачання Запорізького заводу кольорових металів.

*Метою* роботи є аналіз ефективності енергозберігаючих заходів у системі енергопостачання Запорізького заводу кольорових металів та розробка енергозберігаючих заходів.

*Задачі досліджень:*

- аналіз можливостей підвищення ефективності експлуатації систем електропостачання промислових підприємств і оцінка енергозберігаючих заходів;
- дослідження впливу пристроїв компенсації реактивної потужності на втрати електроенергії в елементах енергосистеми підприємства;
- розрахунок електричних навантажень підприємства;
- вибір виду, потужності й місця установки компенсуючих пристроїв;
- оцінка економічної ефективності від впровадження енергозберігаючих заходів.

Також розглянуті питання енергозбереження, щодо зниження втрат холостого ходу, до котрих відносяться:

- вибір економічного режиму роботи трансформатора при забезпеченні оптимального коефіцієнта навантаження трансформаторів;
- обмеження часу роботи на холостому ходу зварювальних трансформаторів й двигунів.

*Наукова новизна* полягає у тому, що теоретично обгрутовано ефективність розроблених енергозберігаючих заходів у системі енергопостачання розглядуваного підприємства.

*Практичною цінністю* є розробка енергозберігаючих заходів для системи електропостачання даного підприємства.



## 1 ЗАХОДИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

Системи електропостачання промислового підприємства містять у собі силові трансформатори головної знижувальної підстанції (ГЗП), мережі внутрішньозаводського електропостачання на напрузі 6 - 10 кВ, цехові мережі електропостачання, що включають у себе трансформатори КТП і живильні й розподільні мережі 0,4 кВ й електроприймачі з напругою 6 - 10 кВ та напругою 380/220 В.

Технічні втрати електроенергії в елементах мережі промислового підприємства обумовлені навантажувальними втратами електроенергії у внутрішньозаводських і цехових мережах, в обмотках силових трансформаторів і електродвигунах електроприймачів, а також втратами холостого ходу пов'язаними зі створенням магнітного потоку в силових трансформаторах і електродвигунах.

На рисунку 1.1 приведена діаграма встановленої потужності електроспоживачів що знаходяться у головних цехах підприємства.

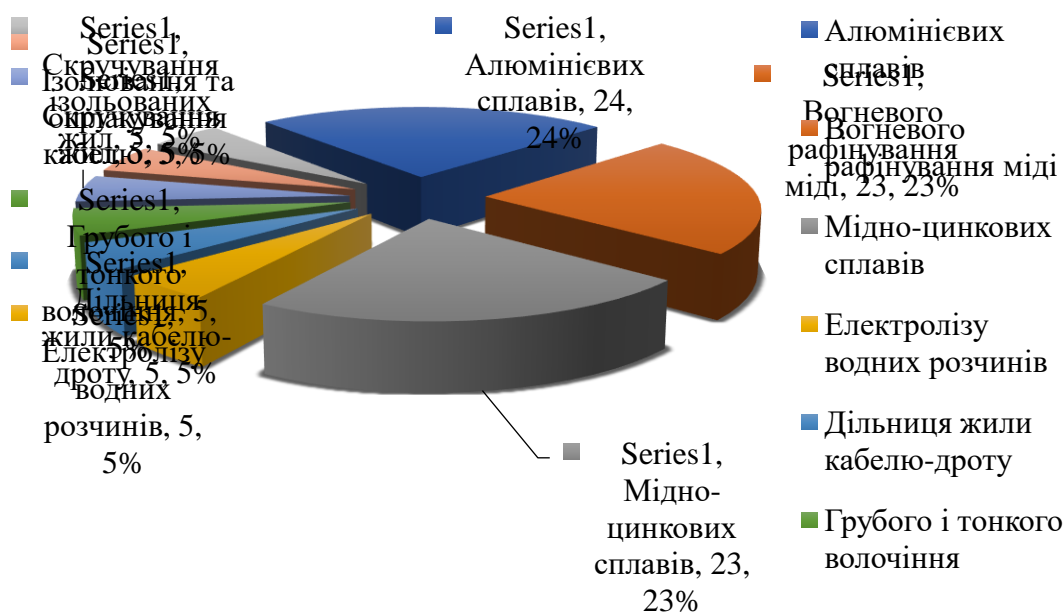


Рисунок 1.1 – Встановлена потужність електроспоживачів у цехах підприємства



Рисунок 1.2 показує втрати активної енергії у мережах підприємства.

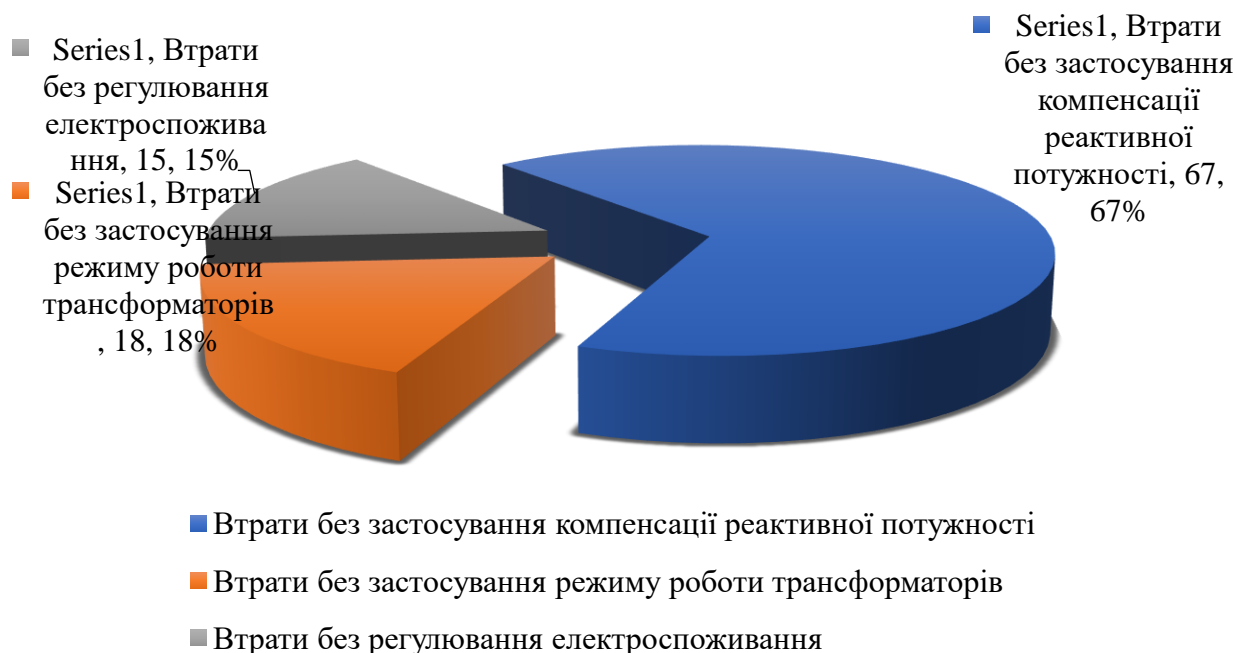


Рисунок 1.2 – Втрати активної енергії у мережах підприємства

Застосування енергозберігаючих заходів у мережах електропостачання підприємства є актуальним питанням.

Навантажувальні втрати визначаються формулою, кВт·г:

$$\Delta W_{uz} = I_{pi}^2 \cdot R_i \cdot T_p \cdot 10^{-3}, \quad (1.1)$$

де  $I_p$  - розрахунковий струм  $i$ -го елемента мережі, А;

$R_i$  - опір  $i$ -го елемента мережі, Ом;

$T_p$  - час облікового періоду, год.

Як видно з формули (1.1) величина навантажувальних втрат може бути знижена або за рахунок зменшення сили струму  $I_p$ , або за рахунок зменшення опору елемента мережі  $R_i$ .

До заходів, спрямованих на зменшення сили струму в елементах мережі ставляться:

- обмеження максимуму споживання активної потужності;
- регулювання графіка навантаження промислового підприємства;



- компенсація реактивної потужності;
- регулювання напруги джерела живлення.

Зменшити величину  $R_i$  можна за рахунок:

- збільшення перетину провідника;
- зменшення питомого опору при використанні матеріалу провідника, що має менші питомі опіри;
- спорудження додаткових розвантажувальних ліній;
- вибору оптимального місця розміщення й джерела живлення, кількості й місця розміщення вузлів навантаження;
- вибору оптимальної схеми живильної й розподільної мережі електропостачання.

До енергозберігаючих заходів, спрямованих на зниження втрат холостого ходу відносяться:

- вибір економічного режиму роботи трансформатора при забезпеченні оптимального коефіцієнта навантаження трансформаторів;
- заміна мало завантажених двигунів на двигуни меншої потужності;
- обмеження часу роботи на холостому ходу зварювальних трансформаторів й двигунів.

Для підвищення надійності електропостачання, можна рекомендувати наступні заходи:

- вибір схеми електропостачання, що забезпечує надійність живлення відповідно до вимог ПУЕ, при цьому використовуються пристрої автоматичного включення резерву, як на стороні 6 - 10 кВ, так і на стороні 0,4 кВ;
- застосування надійних електричних апаратів з високими експлуатаційними характеристиками;
- правильний вибір пристрою релейного захисту, що забезпечує селективність дії й чутливість до мінімального струму к.з., а також застосування пристроїв мережної автоматики (автоматичне повторне



включення, автоматичне частотне розвантаження), які погодяться з дією релейного захисту.

Важливу роль для підвищення ефективності електропостачання, є забезпечення нормативних показників якості електроенергії, тому що зниження якості електроенергії негативно впливає на роботу електроприймачів (знижуються їхня продуктивність, знижуються їхні експлуатаційні характеристики, збільшуються втрати електроенергії в обмотках електродвигунів, погіршується якість ізоляції обмоток при перегріві їхніми струмами вищих гармонік). При експлуатації промислових підприємств на якість напруги мережі значно впливають різкозмінні нелінійні й несиметричні навантаження, які викликають коливання напруги в мережі, несинусоїдальність та несиметрію напруги. Тому, для забезпечення показників якості електроенергії застосовують наступні заходи:

- регулювання напруги в електричній мережі (зустрічне регулювання в центрі живлення з використанням засобів місцевого регулювання напруги);
- живлення різкозмінних й "спокійних" навантажень від різних трансформаторів або від різних обмоток трансформаторів з розщепленою вторинною обмоткою;
- підключення різкозмінних, нелінійних і несиметричних навантажень до точки мережі з більшим значенням потужності короткого замикання (наближення їх до джерела живлення);
- рівномірний розподіл несиметричних навантажень по фазах з метою зменшення коефіцієнта несиметрії;
- при застосування пристроїв непрямої компенсації реактивної потужності з використанням тиристорного компенсатора реактивної потужності (ТКРН) у мережах з різкозмінними навантаженням;
- застосування фільтрокомпенсуючих пристроїв у мережах з нелінійними навантаженнями з метою зниження коефіцієнта несинусоїдальності;



- застосування фільтросиметрируючих пристроїв у мережах з несиметричними навантаженнями з метою зниження коефіцієнта несиметрії.

Слід зазначити, що перераховані вище заходи для підвищення ефективності електропостачання підприємств досить різноманітні й численні. Крім того, їхній вплив на ефективність електропостачання носить комплексний характер (як правило розглядається спільний вплив заходів на цілий ряд показників ефективності електропостачання). На рисунку 1.3 наведено структуру заходів зниження технічних втрат електричної енергії.

Одним з основних енергозберігаючих заходів у освітлювальних установках (як елементу електроприймачів) є правильне встановлення та експлуатація засобів освітлення. Для забезпечення ефективності електропостачання промислових підприємств варто виділити ті заходи, які забезпечують найбільший економічний ефект і забезпечують задані експлуатаційні характеристики електропостачання. На підставі аналізу запропонованих заходів, спрямованих на підвищення ефективності електропостачання підприємств, можна виділити найпоширеніші, які можна рекомендувати як першочергові. До таких заходів ставляться:

- компенсація реактивної потужності, що є обов'язковим заходом у системах електропостачання промислових підприємств і сприяє зменшенню втрат електроенергії в елементах мережі електропостачання й підтримці якості напруги в мережі;

- вибір економічного режиму роботи трансформаторів, тому що цей захід є режимним і не зв'язано зі значними капітальними витратами;

- регулювання графіка навантаження підприємства;

- застосування системи автоматизованого обліку й керування електроспоживанням, що забезпечує можливість оптимізації графіка навантаження підприємства й максимального використання переваг диференціального обліку по зонах добового графіка навантаження.



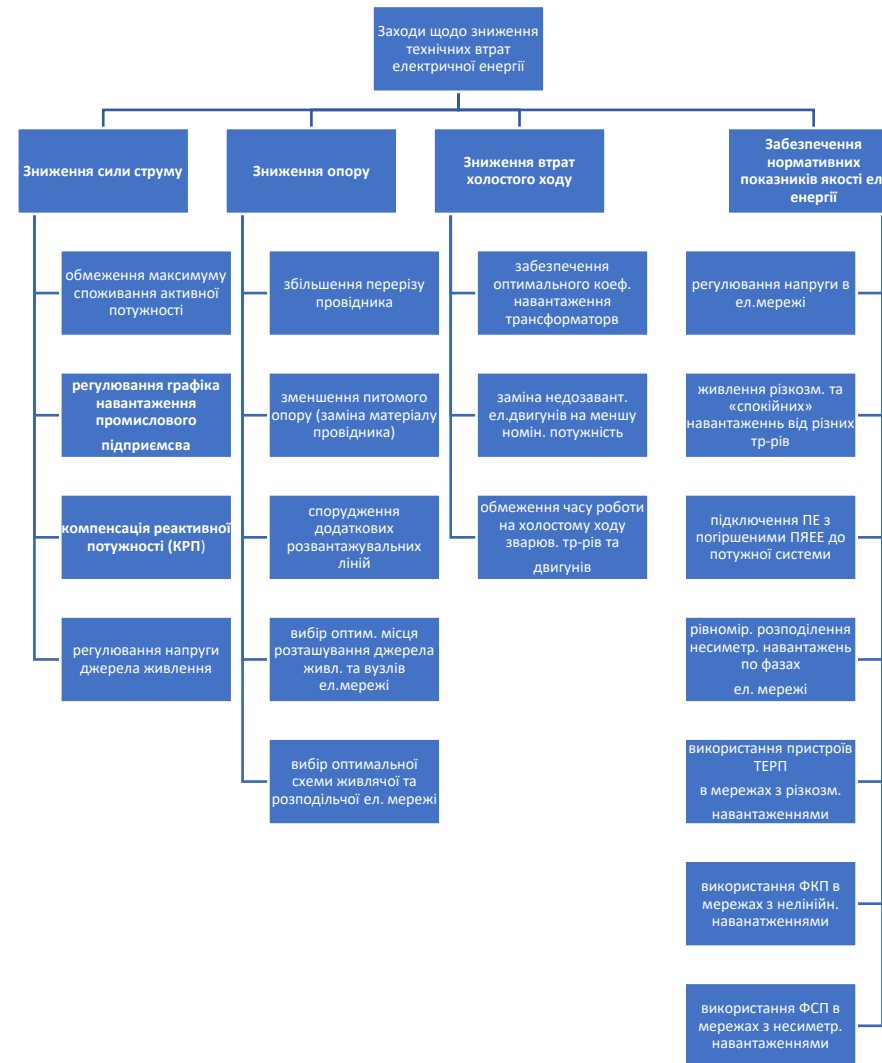


Рисунок 1.3 – Заходи зниження технічних втрат електричної енергії у системах електропостачання



## 2 ЗАХОДИ ЩОДО ЗНИЖЕННЯ ТЕХНІЧНИХ ВТРАТ В СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЗАВОДУ

2.1. Компенсація реактивної потужності як один з заходів підвищення ефективності електропостачання

2.1.1 Характеристика джерела реактивної потужності і принцип її компенсації

При підключенні до електричної мережі активно-індуктивного навантаження струм  $I_n$  відстає від напруги  $U$  на кут зрушення  $\varphi$ . Косинус цього кута ( $\cos\varphi$ ) називається коефіцієнтом потужності. Електроприймачі з таким навантаженням споживають як активну  $P$ , так і реактивну  $Q$  потужність. Реактивна потужність, мВАр:

$$Q = P \cdot \operatorname{tg} \varphi . \quad (2.1)$$

Активна енергія, споживана електроприймачами, перетворюється в інші види енергії: механічну, теплову, енергію стисненого повітря й газу й т.п. Певний відсоток активної енергії витрачається на втрати. Реактивна потужність  $Q$  не пов'язана з корисною роботою електроприймачів (ЕП) і витрачається на створення електромагнітних полів в електродвигунах, трансформаторах, лініях.

Відомо, що реактивна потужність може мати індуктивний або ємнісний характер. Умовимося вважати реактивну індуктивну потужність  $Q_L$  навантажувальною або споживаною, а реактивну ємнісну потужність  $Q_C$  – генеруючою.

Проходження в електричних мережах реактивних струмів обумовлює додаткові втрати активної потужності в лініях, трансформаторах, генераторах електростанцій, додаткові втрати напруги, вимагає збільшення номінальної потужності або числа трансформаторів, знижує пропускну здатність всієї системи електропостачання (СЕП) [12].



Повна потужність,кВА:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = P / \cos \varphi ; \quad (2.2)$$

- втрати активної потужності,кВт :

$$\Delta P = (P^2 + Q^2)R / U^2_{ном}; \quad (2.3)$$

- коефіцієнт потужності :

$$\cos \varphi = P / S = P / \sqrt{P^2 + Q^2} ; \quad (2.4)$$

- втрати напруги, кВ :

$$\Delta U = (P \cdot R + Q \cdot X) / U_n . \quad (2.5)$$

де  $S$ ,  $P$ ,  $Q$ , - відповідно активна, реактивна й повна потужності, кВт, кВАр, кВА;

$R$  і  $X$  – відповідно активний і реактивний опори елементів електричної мережі, Ом;

$U_n$  – номінальна напруга мережі, кВ.

Основними споживачами реактивної потужності індуктивного характеру на промислових підприємствах є асинхронні двигуни (АД) ( 60-65 % загального її споживання), трансформатори, включаючи зварювальні (20-25 %), вентильні перетворювачі, реактори та інші ЕП.

Реактивною потужністю додатково навантажуються живильні й розподільчі мережі підприємства, відповідно збільшується загальне споживання електроенергії. Заходи щодо зниження споживання реактивної потужності: непримушена компенсація (непримушений  $\cos\varphi$ ) без застосування спеціальних компенсуючих пристроїв; штучна компенсація, яка



називається частіше просто компенсацією із застосуванням компенсуючих пристроїв (КП).

Непримушена компенсація реактивної потужності не вимагає більших матеріальних витрат і повинна проводитися на підприємствах у першу чергу. До непримушеної компенсації відносяться [3]:

- упорядкування й автоматизація технологічного процесу, що ведуть до вирівнювання графіка навантаження й поліпшенню енергетичного режиму встаткування (рівномірне розміщення навантажень по фазах, зсув часу обідніх перерв окремих цехів і ділянок, переклад енергоємних потужних споживачів електроенергії (СЕ) на роботу поза годинами максимуму енергосистеми й, навпаки, виведення у ремонт потужних СЕ у години максимуму в енергосистемі й т.п. );

- створення раціональної схеми електропостачання за рахунок зменшення кількості щаблів трансформації;

- заміна трансформаторів і іншого електроустаткування старих конструкцій на нові, більше зроблені з меншими втратами на перемагнічування;

- заміна малонавантажених трансформаторів й двигунів, трансформаторами й двигунами меншої потужності і їхнє повне завантаження;

- застосування СД замість АД, коли це припустимо за умовами технологічного процесу;

- обмеження тривалості ХХ двигунів і зварювальних трансформаторів, скорочення тривалості й розосередження в часі пуску потужних ЕП;

- поліпшення якості ремонту електродвигунів, зменшення перехідних опорів контактних з'єднань;

- відключення при малому навантаженні (наприклад, у нічний час, у вихідні й святкові дні) частини силових трансформаторів.

Основним нормативним показником, що характеризує споживану промисловим підприємством реактивну потужність, середньозважений коефіцієнт потужності  $\cos\varphi_{срвзв}$ .



Середньозважений коефіцієнт потужності за час  $t$  :

$$\cos \varphi_t = W_{at} / \sqrt{W_{at}^2 + W_{pt}^2} , \quad (2.6)$$

де  $W_{at}$  і  $W_{pt}$  – відповідно витрата активної й реактивної електроенергії за розглянутий інтервал часу, кВт·г, кВАр·г.

Наочне подання про сутність компенсації реактивної потужності дає рисунок 2.1. На рисунку 2.1а зображена схема електричного кола. Нехай до компенсації споживач мав активну потужність  $P$ , відповідно струм  $I_a$  (відрізок  $OB$  на рисунок 2.1б) і реактивну потужність від індуктивного навантаження  $Q_1$  з відповідним струмом  $I_L$  (відрізок  $BA$ ). Повної потужності  $S_1$  відповідає вектор  $I_H$ , (відрізок  $BA$ ). Коефіцієнт потужності до компенсації –  $\cos \varphi_1$ . Векторна діаграма компенсації представлена на рисунок 2.1в.

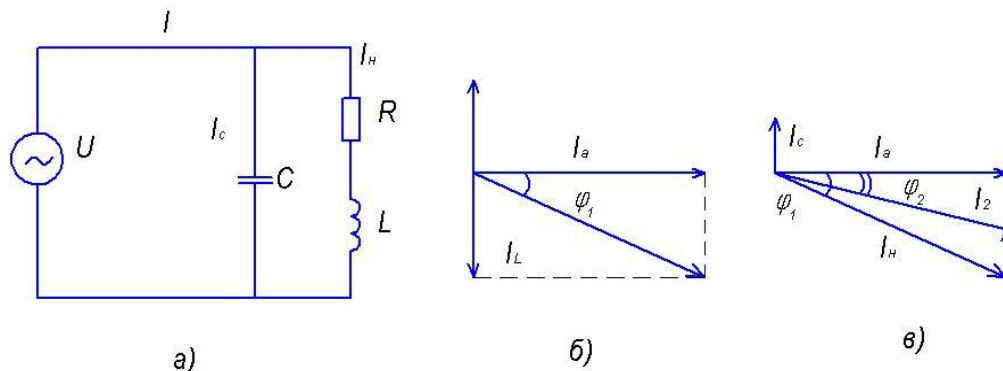


Рисунок 2.1 - Векторна діаграма компенсації реактивної потужності

Характеристика джерел реактивної потужності.

Для штучної компенсації реактивної потужності, що називається іноді «поперечною» компенсацією, застосовуються спеціальні компенсуючі пристрої, що є джерелами реактивної енергії ємнісного характеру.

Найбільше поширення на промислових підприємствах мають конденсатори (КБ) – потужні (на відміну від конденсаторів радіотехніки) спеціальні пристрої, призначені для вироблення реактивної ємнісної потужності. Конденсатори виготовляють на напругу 220, 380, 660, 6300 і 10500



В в однофазному й трифазному виконаннях для внутрішньої й зовнішньої установки. Вони бувають масляні (КМ) і соволові (КС). Діелектрична проникність совола приблизно вдвічі більше, ніж масла. Однак припустима негативна температура становить  $-10^{\circ}\text{C}$  для соволових конденсаторів, у той час як масляні можуть працювати при температурі  $-40^{\circ}\text{C}$ . Широке застосування конденсаторів для компенсації реактивної потужності пояснюється їхніми значними перевагами в порівнянні з іншими видами КП: незначні питомі втрати активної потужності до  $0,005\text{ кВт/кВАр}$ , відсутність обертових частин, простота монтажу й експлуатації, відносно невисока вартість, мала маса, відсутність шуму під час роботи, можливість установки біля окремих груп ПЕ і т.д. Недоліки конденсаторних батарей: пожежонебезпека, наявність залишкового заряду, що підвищує небезпеку при обслуговуванні; чутливість до перенапруг і поштовхів струму; можливість тільки східчастого, а не плавного регулювання потужності [12].

Питома вартість конденсаторів високої напруги менше питомої вартості конденсаторів низької напруги, але конденсатори низької напруги простіше й надійніше в експлуатації.

За рахунок приєднання до мережі КП з потужністю  $Q_k$  зменшуються втрати потужності й напруга.

Після компенсації втрати потужності, кВт :

$$\Delta P = \frac{(P^2 + (Q - Q_k)^2) \cdot R}{U_{ном}^2} + \Delta P_{кп}, \quad (2.7)$$

де  $\Delta P_{кп}$  – втрати потужності в компенсуючому пристрої, кВт.

Втрати напруги після компенсації, В:

$$\Delta U = \frac{P \cdot R + (Q - Q_k) \cdot X}{U_{ном}}, \quad (2.8)$$



Розглянемо інший вид КП – синхронні двигуни.

Відомо, що при збільшенні струму збудження вище номінального значення синхронні двигуни (СД) можуть виробляти реактивну потужність, отже, їх можна використовувати як засіб компенсації реактивної потужності. Головною відмінністю СД від АД є те, що магнітне поле, необхідне для дії СД, створюється в основному від окремого джерела постійного струму (збудника). Внаслідок цього СД у нормальному режимі (при  $\cos\varphi = 1$ ) майже не споживає з мережі реактивної потужності, необхідної для створення головного магнітного потоку, а в режимі перезбудження, тобто при роботі з випереджальним коефіцієнтом потужності, може генерувати ємнісну потужність у мережу.

Синхронні двигуни, що випускаються вітчизняною промисловістю, розраховані на випереджальний коефіцієнт потужності  $\cos\varphi = 0,9$  і при номінальному активному навантаженні  $P_{ном}$  і напрузі  $U_{ном}$  можуть виробляти номінальну реактивну потужність, Вар:

$$Q_{ном} \approx 0,5P_{ном}.$$

При недовантаженні СД по активній потужності  $\beta = P/P_{ном} \ll 1$  можливе перевантаження по реактивній потужності  $\alpha = Q/Q_{ном} > 1$ .

Середні значення коефіцієнта навантаження по реактивній потужності  $\alpha$  залежно від зміни активного навантаження  $\beta$  і напруги мережі для СД деяких серій напругою 6 і 10 кВ наведені у таблиці 2.1 і таблиці 2.2.

Перевагою СД, використовуваним для компенсації реактивної потужності, у порівнянні із КБ є можливість плавного регулювання генерируємої реактивної потужності.

Недоліком є те, що активні втрати на генерування реактивної потужності для СД більше, ніж для КБ, тому що залежать від квадрата генерируємої потужності СД.



Додаткові активні втрати в обмотці СД, кВт, що викликані генерируємою реактивною потужністю в межах зміни  $\cos\varphi$  від 1 до 0,9 при номінальній активній потужності СД, рівної  $P_{ном}$ :

$$\Delta P_{ном} = Q_{ном}^2 r / U_{ном}^2, \quad (2.9)$$

де  $Q_{ном}$  – номінальна реактивна потужність СД, кВАр ;

$r$  – опір однієї фази обмотки СД у нагрітому стані, Ом;

$U_{ном}$  – номінальна напруга мережі, кВ.

У загальному випадку, коли  $P$ ,  $Q$  і  $U$  відрізняються від номінальних значень, втрати активної потужності, кВт, на генерування реактивної потужності :

$$\Delta P = D_1 \frac{Q'}{Q_{ном}} + D_2 \frac{(Q')^2}{Q_{ном}^2}, \quad (2.10)$$

де  $Q'$  - величина генерируємою синхронним двигуном реактивній потужності, кВАр;

$D_1$  й  $D_2$  - постійні величини , кВт (таблиця 2.2).

Реактивна потужність  $Q'$  (кВАр), генерируемая синхронним двигуном при активному навантаженні  $P < P_{ном}$  :

$$Q' = \alpha P \operatorname{tg} \varphi_{ном} / \eta_{ном}, \quad (2.11)$$

де  $\alpha$  - коефіцієнт перевантаження по реактивній потужності ;

$P$  – активне навантаження СД, кВт;

$\operatorname{tg} \varphi_{ном}$  і  $\eta_{ном}$  - відповідно тангенс кута  $\varphi$  і ККД двигуна, прийняті за каталогом (паспортом) СД [4] .

Слід зазначити, що  $D_1 + D_2 = \Delta P_{ном}$ . Отже, сума постійних коефіцієнтів  $D1$  і  $D2$  визначає активні втрати СД, викликані генеруванням реактивної потужності  $Q_{ном}$  при номінальній напрузі ( $U_{ном}$ ) і активної потужності ( $P_{ном}$ ).

Як правило, у системах електропостачання промислових підприємств КБ компенсують реактивну потужність базисної (основний) частини графіків навантажень, а СД знижують, головним чином, піки навантажень графіка.

Таблиця 2.1 – Залежності коефіцієнта перевантаження по реактивній потужності синхронних двигунів від напруги

Серія, номінальна напруга й частота обертання двигуна	Відносна напруга на затисках двигуна $U/U_{ном}$	Коефіцієнт перевантаження по реактивній потужності $\alpha$ при коефіцієнті завантаження $\beta$		
		0,9	0,8	0,7
СДН, 6 и 10 кВ (для всіх частот обертання)	0,95	1,31	1,39	1,45
	1	1,21	1,27	1,33
	1,05	1,06	1,12	1,17
СДН, 6 кВ:				
600-1000 об/мин	1,1	0,89	0,94	0,96
370-500 об/мин	1,1	0,88	0,92	0,94
187-300 об/мин	1,1	0,86	0,88	0,9
100- 167 об/мин	1,1	0,81	0,85	0,87
СДН, 10 кВ:				
1000 об/мин	1,1	0,9	0,98	1
250-750 об/мин	1,1	0,86	0,9	0,92
СТД, 6 и 10 кВ, 3000 об/мин	0,95	1,3	1,42	1,52
	1,0	1,32	1,34	1,43
	1,05	1,12	1,23	1,31
	1,1	0,9	1,08	1,16
СД и СДЗ, 380 В (для всіх частот обертання)	0,95	1,16	1,26	1,36
	1,0	1,15	1,24	1,32
	1,05	1,1	1,18	1,25
	1,1	0,9	1,06	1,15



Таблиця 2.2 – Основні технічні дані деяких синхронних двигунів на напругу 6 кВ при  $\cos\varphi = 0,9$

Тип двигуна	Номинальна потужність		КПД, %	Постійні величини, кВт	
	активна, кВт	реактивна, кВар		D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>
1	2	3	4	5	6
1000 об/хв.					
СДН-14-49-6	1000	511	95,37	5,09	3,99
СДН-14-59-6	1250	633	95,95	4,74	4,42
СДН-15-30-6	1600	812	95,75	6,65	6,8
СДН-15-49-6	2000	1010	96,06	8,06	7,53
СДН-15-64-6	2500	1260	96,5	8,13	7,74
СДН-15-76-6	3200	1610	96,75	10,3	8,91
СДН-16-69-6	4000	2000	96,48	14,1	11,8
СДН-16-84-6	5000	2500	96,9	13,8	11,5
СДН-16-104-6	6300	3150	97,22	14,6	13,1
600 об/хв					
СДН-14-44-10	630	325	93,98	5,6	4,06
СДН-14-56-10	800	410	94,65	5,76	4,63
СДН-15-39-10	1000	511	94,68	7,66	5,38
СДН-15-49-10	1250	637	95,16	7,54	6,56
СДН-15-64-10	1600	812	95,78	7,79	6,99
СДН-16-54-10	2000	1010	95,66	10,7	8,68
СДН-16-71-10	2500	1265	96,22	10,9	8,46
СДН-16-86-10	3200	1615	96,58	11,6	10,5
СДН-17-59-10	4000	2010	96,67	12,9	12,7
СДН-17-76-10	5000	2510	97,06	14,6	11,7

Різновидом СД є синхронні компенсатори (СК), які являють собою СД полегшеної конструкції без навантаження на валу. У цей час випускається СК

потужністю вище 5000 кВАр; вони мають обмежене застосування в мережах промислових підприємств і лише в ряді випадків використовуються для поліпшення показників якості напруги в потужних ПЕ з різкозмінними ударним навантаженням (дугові печі, прокатні стани й т.д) [10]. У мережах з різкозмінними ударним навантаженням на напрузі 6- 10 кВ рекомендується застосування не конденсаторних батарей, а спеціальних швидкодіючих джерел реактивної потужності (ДРМ), які повинні встановлюватися поблизу таких ПЕ.

Регулювання індуктивності здійснюється тиристорними групами VS, що управляють електроди яких приєднані до схеми керування. Достоїнствами статичних ДРМ є відсутність обертових частин, відносна плавність регулювання реактивної потужності, видаваної в мережу, можливість трьох- і чотириразового перевантаження по реактивній потужності. До недоліків ставиться поява вищих гармонік, які можуть виникнути при глибокому регулюванні реактивної потужності.

Після компенсації, тобто після підключення паралельно навантаженню КП (конденсатора) з потужністю  $Q_K$  (струм  $I_C$ ), сумарна реактивна потужність споживача буде вже  $Q_L - Q_K$  (струм  $I_L - I_C$ ) і відповідно знизиться кут зрушення фаз із  $\varphi_1$  до  $\varphi_2$  і підвищиться коефіцієнт потужності з  $\cos \varphi_1$  до  $\cos \varphi_2$ . Повна споживана потужність при тій же споживаній активній потужності  $P$  (струмі  $I_a$ ) знизиться с  $S_1$  (струм  $I_n$ ) до  $S_2$  (струм  $I_2$ ) (відрізок ОА'). Отже, у результаті компенсації можна при тій же перетині проводів підвищити пропускну здатність мережі по активній потужності.

До технічних засобів компенсації реактивної потужності ставляться наступні види компенсуючих пристроїв: конденсаторні батареї (КБ), синхронні двигуни.

До специфічних навантажень ставляться нелінійні, несиметричні й різкозмінні навантаження. На сучасних промислових підприємствах такими навантаженнями є потужні стани гарячої й холодної прокатки з вентиляними



перетворювачами, дугові сталеплавильні печі, потужні зварювальні навантаження, навантаження деяких спеціальних установок [2].

Навантаження з регульованими вентильними перетворювачами характеризуються більшим споживанням реактивної потужності, а отже, низьким  $\cos\varphi$ . Наприклад, для вентильних перетворювачів прокатних станів  $\cos\varphi = 0,3 - 0,6$ .

Різкозмінний характер споживання реактивної потужності викликає коливання напруги живильної мережі. Наброси реактивної потужності можуть перевищувати 100000 кВАр, причому швидкість наброса й скидання споживаної реактивної потужності  $dQ/dt$  досягає для станів гарячої прокатки 400000 кВАр/с, для станів холодної прокатки 2000000 кВАр/с. При живленні таких електроприводів коливання напруги в мережі 10(6) кВ можуть досягати більше 20%, а в мережі 110- 220 кВ навіть при потужності к.з. 3500- 5000 МВ·А можуть перевищувати 2- 3%.

Частота коливань реактивної потужності, а отже, і коливань напруги для різних прокатних станів становить 100- 1000 коливань у годину. Керовані вентильні перетворювачі, крім того, значно спотворюють форму кривої живлячої напруги. Коефіцієнт несинусоїдальності напруги на шинах 10(6) кВ може досягати більше 20%.

Аналогічні впливи роблять навантаження дугових сталеплавильних печей, причому частота коливань навантаження, наприклад, у період розплавлювання металу (шихти) і на початку окислювання перебуває в діапазоні 0,1 - 25 Гц. Крім того, навантаження дугових печей через нерівномірність споживання струму по фазах можуть викликати значну несиметрію напруги.

Все викладене обумовлює застосування принципів компенсації реактивної потужності, що істотно відрізняються від прийнятих у мережах з так званим «спокійним» навантаженням.

Особливості компенсації реактивної потужності в мережах з різкозмінним несиметричним навантаженням полягають у наступному:

1) низький коефіцієнт потужності споживачів і різкозмінний характер навантаження викликають необхідність здійснювати компенсацію як постійної, так і змінної складової реактивної потужності; компенсація постійної складової реактивної потужності необхідна для поліпшення  $\cos\varphi$  і для зменшення відхилень напруги в живильній мережі; компенсація змінної складової реактивної потужності має на меті зменшити коливання напруги в живильній мережі;

2) через швидкі зміни споживаної потужності (реактивної) необхідне застосування швидкодіючих статичних компенсуючих пристроїв з мінімальним запізнюванням по відпрацьовуванню коливань реактивної потужності;

3) нерівномірне споживання реактивної потужності по фазах вимагає застосування по фазного керування коменсуючим пристроєм;

4) у мережах з різкозмінним вентильним навантаженням обмежується застосування батарей конденсаторів для компенсації постійної складової реактивної потужності, це обумовлено наявністю в мережі вищих гармонік струму й напруги при роботі нелінійних навантажень, а вищі гармоніки приводять до значних перевантажень батарей конденсаторів по струму.

На стадії проектування електропостачання різкозмінних і вентильних навантажень розрахунок засобів компенсації реактивної потужності повинен здійснюватися на підставі графіків споживаної активної й реактивної потужності. Графіки активної й реактивної потужності різних електроприводів можуть бути побудовані розрахунковим шляхом на стадії проектування або за результатами вимірів безпосередньо на діючих аналогічних об'єктах.

Режим системи промислового електропостачання визначається схемою й параметрами електричної мережі, навантаженнями у вузлах, способами й технічними засобами керування роботою регулюючих і компенсуючих пристроїв. Для забезпечення найбільш економічних режимів систем електропостачання, що характеризуються нерівномірним графіком добового



споживання реактивної потужності, доцільним буває регулювання потужності компенсуючих пристроїв. Якщо засобами штучної компенсації є синхронний компенсатор або синхронні двигуни, то керування їхніми режимами здійснюють за рахунок плавного регулювання збудження.

Регулювання генерируємої конденсаторами реактивної потужності ведуть шаблями шляхом розподілу батарей на секції. Чим більше таких секцій, тим досконаліше регулювання, але тем більше капітальні витрати на установку перемикачів, і захисної апаратури. Режим роботи компенсуючих пристроїв установлюють залежно від таких параметрів, які забезпечують найбільш економічне рішення, при дотриманні допустимих відхилень напруги на затисках приймачів електроенергії. Як параметри регулювання використовують: напруга, струм навантаження, величини, що характеризують реактивне навантаження, час та ін.

Автоматичне регулювання потужності конденсаторних установок по напрузі здійснюють залежно від відхилення напруги в розглянутій точці мережі й застосовують, коли бажано одночасно забезпечити регулювання напруги [3]. Автоматичне регулювання потужності конденсаторних установок по струму навантаження застосовують для приймачів, що мають різкозмінний графік споживання реактивної потужності. Найбільш простим і досить ефективним є регулювання за часом. У цьому випадку режим роботи системи електропостачання повинен бути попередньо вивчений. На рисунку 2.2 наведено добовий графік споживання реактивної потужності, і на ньому проведена лінія АВ, що показує, що робота батареї конденсаторів може проходити в режимі, коли одна секція  $Q_{\phi}/2$  включена 24 год у добу, а друга включається за графіком навантаження тільки на  $t_1$  год. У цьому випадку батарея стосовно до графіка реактивного навантаження розділена на дві секції. У конкретних умовах це питання повинен вирішуватися залежно від графіка навантаження й схеми підстанції (одиначна система шин несекціонірована або одиначна секціонірована, причому кожна секція працює роздільно на своє навантаження або обидві секції працюють спільно).

Автоматичне регулювання потужності конденсаторних установок по напрямку реактивної потужності застосовують на окремих вилучених тупикових підстанціях. Східчає регулювання потужності конденсаторних установок має істотні недоліки: по-перше, має місце робота протягом деякого часу за графіком з недостатньою або зайвою компенсацією реактивної потужності (на рисунку 2.2 ці місця показані штрихуванням); по-друге, відбувається подорожчання компенсуючого пристрою через збільшення капітальних витрат на установку додаткової апаратури, що відключає (вимикач, роз'єднувач, трансформатори струму й т.п. ). Східчає регулювання батареї конденсаторів може вироблятися як вручну, так і автоматично.

При наявності на підстанції постійного чергового персоналу або телемеханічного керування в системі електропостачання автоматизація цього процесу не має істотних переваг. На підстанціях, що не мають постійного чергового персоналу, автоматизація включення й відключення батареї конденсаторів є нагальною потребою.

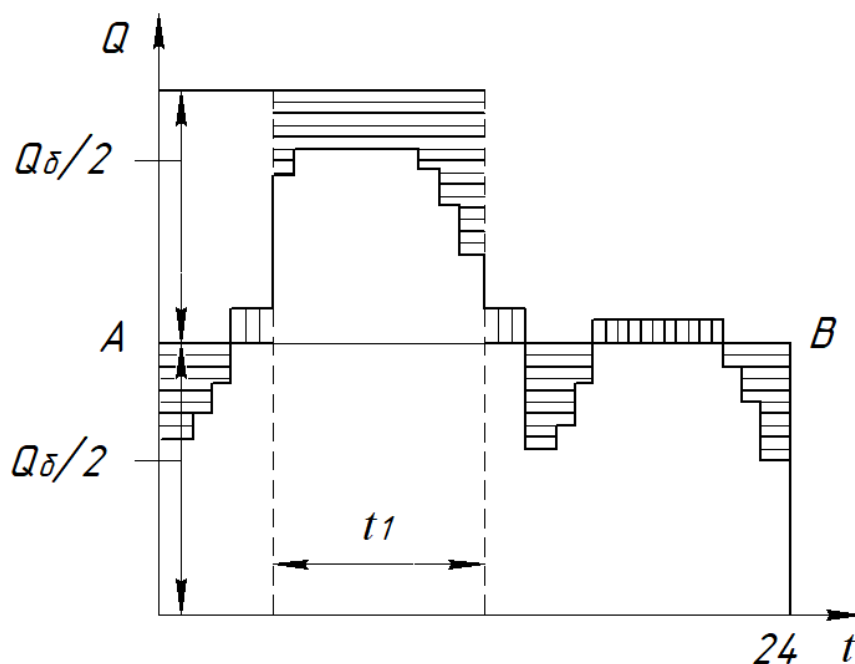


Рисунок 2.2 - Використання графіка реактивних навантажень для рішення питання про розподіл конденсаторної батареї на частини



Вибір компенсуючих пристроїв для конкретного підприємства – заводу кольорових сплавів виробляється на підставі розрахунку електричних навантажень підприємства.

### 2.1.2 Аналіз електричних навантажень заводу кольорових сплавів

Розрахунок електричних навантажень заводу кольорових сплавів виробляється методом коефіцієнта попиту, кВт, кВАр:

$$P_{p_i} = K_{ni} \cdot P_{\text{вст}i} ; \quad (2.12)$$

$$Q_{p_i} = P_{p_i} \cdot \text{tg} \varphi_i . \quad (2.13)$$

де  $K_{ni}$  – коефіцієнт попиту для і- го споживача;

$P_{\text{вст}i}$  – установлення активна потужність і- го споживача, кВт;

$\text{tg} \varphi_i$  – коефіцієнт реактивної потужності для і- го споживача;

$P_{p_i}, Q_{p_i}$  – розрахункові активна й реактивна потужності і-го споживача, кВт, кВАр.

Розрахункове навантаження для групи споживачів визначається з урахуванням коефіцієнта різночасності максимумів навантаження, кВт, кВАр:

$$P_{p_{\Sigma}} = K_{p_{\Sigma}} \cdot \sum P_{p_i} ; \quad (2.14)$$

$$Q_{p_{\Sigma}} = K_{p_{\Sigma}} \cdot \sum Q_{p_i} . \quad (2.15)$$

При використанні компенсації реактивної потужності, реактивна потужність на границі балансової приналежності енергосистема – підприємство визначається по формулі (2.16), кВАр:

$$Q_{p_{EC}} = Q_{e1} = P_{p_{\Sigma}} \cdot \text{tg} \varphi_{om1} . \quad (2.16)$$

де  $Q_{el}$  – економічно доцільна реактивна потужність, передана з енергосистеми в години максимального завантаження, кВАр;

$tg\varphi_{opt} = 0,3$  – оптимальний коефіцієнт реактивної потужності, заданий енергосистемою.

Розрахунок електричних навантажень заводу кольорових сплавів наведений у таблиці 2.3.

Коефіцієнти різночасності максимумів навантаження приймаємо рівними 0,9 (для ділень) й 0,95 (для відділень та КТП), а також у цілому по підприємству – 0,98.

Навантаження споживачів 0,4 кВ із урахуванням втрат активної потужності в трансформаторах КТП, кВт:

$$P_{\Sigma 0,4кВ} = 1,02 \cdot \sum P_p, \quad (2.17)$$

$$P_{\Sigma 0,4кВ} = 1,02 \cdot 5195,56 = 5299,47 \text{ кВт.}$$

В енергосиловому цеху встановлені 4 синхронних двигуни на напругу 10 кВ із  $P_{ном} = 630$  кВт.

$$P_{pCD} = Kn \cdot P_{ном} \cdot n_{CD}, \quad (2.18)$$

$$P_{pCD} = 0,8 \cdot 630 \cdot 4 = 2016,00 \text{ кВт,}$$

$$Q_{CD} = \alpha \cdot P_{ном} \cdot n_{CD} \cdot tg\varphi$$

$$Q_{CD} = 0,62 \cdot 630 \cdot 4 \cdot (-0,484) = -756,20 \text{ кВАр,}$$

де коефіцієнт  $\alpha$  визначений за [3].

Визначаємо розрахункове навантаження на границі балансової приналежності.



$$P_{\Sigma} = k_{pm} (P_{\Sigma 0,4} + P_{расч}), \quad (2.19)$$

$$P_{\Sigma} = 0,98 \cdot (5299,47 + 2016) = 7169,16 \text{ кВт},$$

$$Q_{E1} = P_{\Sigma} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{онм}, \quad (2.20)$$

$$Q_{E1} = 7169,16 \cdot 0,3 = 2150,75 \text{ квар},$$

$$S_p = \sqrt{P_{\Sigma}^2 + Q_{\Sigma 1}^2}, \quad (2.21)$$

$$S_p = \sqrt{7169,1^2 + 2150,75^2} = 7484,7 \text{ кВАр}.$$

Таблиця 2.3 – Розрахунок електричних навантажень заводу кольорових сплавів

Виробництво	Відділення	Дільниця	Обладнання	Вихідні дані				Результати		
				$P_{вст}$ , кВт	$K_n$ , в.од	$\cos\varphi$ , в.од.	$tq\varphi$ , в.од	$P_p$ , кВт	$Q_p$ , кВАр	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Металургійне виробництво (плавильна дільниця)	алюмінієвих сплавів	шихто підготовка	технологічне	220,80	0,65	0,75	0,88	143,52	126,57	
		алюм. лому	допоміжне	10,00	0,6	0,55	1,73	6,00	10,39	
		разом ( $K_{рм} = 0,9$ )			230,80	-	-	-	134,57	123,27
		плавка алюмінію	технологічне	221,00	0,70	0,8	0,75	154,70	116,03	
		допоміжне	23,00	0,60	0,50	1,73	13,80	23,90		
	разом ( $K_{рм} = 0,9$ )			244,00	-	-	-	151,65	125,93	
	разом по відділенню ( $K_{рм}=0,95$ )							271,91	236,74	
	вогневого рафінування міді	шихтопідготовка	технологічне	114,00	0,65	0,75	0,88	74,10	65,35	
			допоміжне	23,00	0,60	0,50	1,73	13,80	23,90	
		разом ( $K_{рм} = 0,9$ )			137,00	-	-	-	79,11	80,33
		плавка міді	технологічне	232,20	0,50	0,80	0,75	116,10	87,08	
		допоміжне	48,95	0,55	0,50	1,73	26,92	46,63		
	разом ( $K_{рм} = 0,9$ )			281,15	-	-	-	128,72	120,34	
	разом по відділенню ( $K_{рм}=0,95$ )							197,44	190,63	
	разом по відділенням ( $K_{рм}=0,95$ ) – КТП1							445,88	406,00	
	мідно- цинкових сплавів	лиття	технологічне	2128,50	0,60	0,60	1,33	1277,10	1702,80	
			допоміжне	103,00	0,40	0,50	1,73	41,20	71,36	
		разом ( $K_{рм} = 0,9$ )			2231,50	-	-	-	1186,47	1596,74
		обробки втулок	технологічне	66,20	0,12	0,75	0,88	7,94	7,01	
	лиття	допоміжне	16,00	0,90	0,50	1,73	14,40	24,94		
разом ( $K_{рм} = 0,9$ )			86,20	-	-	-	20,11	28,75		



Продовження таблиці 2.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Металургійне виробництво (плавильна дільниця)	мідно-цинкових сплавів	точного фасонного лиття	технологічне допоміжне	664,35	0,65	0,60	1,33	431,83	575,77
				259,85	0,40	0,50	1,73	103,94	180,03
		разом (Крм = 0,9)		924,20	-	-	-	482,19	680,22
	разом по відділенню (Крм=0,95) – КТП2							1604,33	2190,43
Разом по виробництву (Крм=0,98)								2032,20	2565,45
Виробництво кабелю, дроту й жил	електролізу водних розчинів		технологічне допоміжне	465,10	0,70	0,70	1,02	325,57	332,15
				339,60	0,60	0,50	1,73	203,76	352,92
	разом (Крм = 0,9)			804,70	-	-	-	476,40	616,56
	дільниця жили кабелю-дроту		технологічне допоміжне	675,10	0,80	0,70	1,02	540,08	550,99
				38,40	0,65	0,55	1,52	24,96	37,90
	разом (Крм = 0,9)			713,50	-	-	-	508,54	530,00
	разом по відділенням (Крм=0,95) – КТП3							935,69	1089,24
	грубого і тонкого волочіння		технологічне допоміжне	1490,00	0,35	0,65	1,17	521,50	609,70
				220,4	0,30	0,50	1,73	6,61	11,45
	разом (Крм = 0,9)			1512,04	-	-	-	475,30	559,04
	скручування жил		технологічне допоміжне	365,50	0,30	0,50	1,73	109,65	189,92
				4030	0,80	0,50	1,73	32,24	55,84
	разом (Крм = 0,9)			405,80	-	-	-	127,70	221,18
	ізолювання та ошлакування кабелю		технологічне допоміжне	1257,20	0,30	0,65	1,17	377,16	440,95
			57,30	0,80	0,50	1,73	45,84	79,40	
разом (Крм = 0,9)			1314,50	-	-	-	380,70	468,31	
скручування ізольованих жил		технологічне допоміжне	64,10	0,30	0,55	1,52	19,23	29,20	
			90,70	0,80	0,50	1,73	72,56	125,68	
разом (Крм = 0,9)			154,80	-	-	-	82,61	139,39	
разом по відділенням (Крм=0,95) – КТП4							1013,00	1318,53	
Разом по виробництву (Крм=0,98)								1909,71	2359,61

Продовження таблиці 2.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Загально- заводське вироб- ництво	Інструментальний цех			986,42	0,20	0,65	1,17	197,28	230,65	
	Котельня управління експлуатації			37,30	0,80	0,70	1,02	29,84	30,44	
	Автотранспортний цех			97,50	0,70	0,60	1,33	68,25	91,00	
	Лабораторія системи якості та метрології			32,42	0,20	0,80	0,75	6,48	4,86	
	Адміністративно-побутовий комбінат			78,00	0,90	0,60	1,33	70,20	93,60	
	разом по підрозділам (Крм=0,95) – КТП5								353,46	428,03
	Енергосиловий цех			606,95	0,75	0,80	0,75	455,21	341,41	
	разом по підрозділам - КТП6								455,21	341,41
	Дільниця очисних споруд експлуатації			588,20	0,80	0,80	0,75	470,56	352,92	
	разом по підрозділам - КТП7								470,56	352,92
Разом по виробництву (Крм=0,98)								1253,64	1099,91	
Разом по заводу								5195,56	6024,97	

2.1.3 Пропозиції щодо удосконалення схеми й елементів мережі електропостачання заводу кольорових сплавів

Джерелом живлення для електропостачання заводу кольорових сплавів є 2-х трансформаторна знижувальна підстанція, що одержує живлення від районної ПС по двох ВЛ-35 кВ.

Потужність трансформаторів визначається по формулі, кВа:

$$S_{номт} = 0,7 \cdot S_p, \quad (2.22)$$

$$S_{номт} = 0,7 \cdot 7484,7 = 5239,3 \text{ кВА.}$$

Прийнято два трансформатори ТМН 6300/35.

Каталожні дані трансформаторів:  $S_{ном} = 6,3 \text{ МВА}$ ,  $U_{ВН} = 35 \text{ кВ}$ ,  $U_{НН} = 11 \text{ кВ}$ ,  $\Delta P_x = 8 \text{ кВт}$ ,  $\Delta P_k = 46,5 \text{ кВт}$ ,  $I_k = 0,8 \%$ ,  $U_k = 7,5 \%$ .

Коефіцієнт завантаження:

- у нормальному режимі  $K_{зг} = S_p / 2S_{номт} = 7484,7 / 2 \cdot 6300 = 0,59$ ;
- у послеаварийном режимі  $K_{зг пара} = S_p / S_{номт} = 7484,7 / 6300 = 1,19 < 1,4$ .

Для живлення споживачів заводу прийняті 7 двохтрансформаторних КТП 10/0,4 кВ, розрахункові потужності яких наведені у таблиці 2.3.

Для внутрішньозаводської схеми електропостачання прийнята радіальна схема електропостачання з живленням трансформатора КТП по КЛ-10 кВ марки ААШВ із прокладкою в траншеї. Трансформатори КТП живляться від різних секцій РП-10 кВ ПС. Секції РУ-10 кВ з'єднані між собою секційним вимикачем на якому встановлений пристрій АВР, що забезпечує надійність електропостачання. Крім того, пристрій АВР передбачений також на секційних вимикачах РП-0,4 кВ.

Перетин КЛ-10 кВ вибираються з 3 умов:

- економічної щільності струму, мм<sup>2</sup>:



$$F_{ек} = \frac{I_p}{j_{ек}}, \quad (2.23)$$

де  $F_{ек}$  - економічний перетин КЛ, мм<sup>2</sup>;

$j_{ек} = 1,2 - 1,4$  А/мм<sup>2</sup> - економічна щільність струму для КЛ із алюмінієвими жилами при  $T_m > 5000$  година/рік;

- термічної стійкості до струмів к.з., мм<sup>2</sup>;

-

$$F_{станд} \approx F_{к\ min} = \frac{I_\infty \sqrt{t_{кз}}}{c}, \quad (2.24)$$

де  $F_{к\ min}$  - мінімально припустимий перетин за умовами термічної стійкості до струмів к.з., мм<sup>2</sup>;

$I_\infty$  - сталі значення струму к.з., А, ( $I_\infty = 10200$  А);

$t_{кз}$  - час к.з., с, ( $t_{кз} = 0,73$  с);

$c = 0,88$  - коефіцієнт для КЛ марки ААШВ при прокладці в траншеї;

- довгостроково припустимому нагріванню в уваженому режимі, А:

$$I_{дл.дон} \cdot K_n K_3 \geq I_{рmax}, \quad (2.25)$$

де  $I_{рmax}$  - струм лінії в уваженому режимі, А;

$I_{дл.дон}$  - довгостроково припустимий струм КЛ, А;

$K_n$  - поправочний коефіцієнт, що залежить від умов середовища;

$K_3 = 1,2$  - коефіцієнт, що враховує припустиме 20% перевантаження КЛ.

З огляду на досить малі струмові навантаження в нормальному й в важкому режимі (при живленні по одній КЛ 2-х трансформаторів КТП) вибір перетину КЛ виробляється за умовою термічної стійкості до струмів к.з. по формулі (2.24):

$$F_{к\ min} = \frac{I_\infty \sqrt{t_{кз}}}{c} \text{ мм}^2. \quad (2.26)$$

$$F_{\kappa \min} = \frac{10200 \sqrt{0,73}}{88} = 99 .$$

Для всіх КЛ-10 кВ приймаємо кабель ААШВ3х95.

$$I_{\text{дл.доп}} = 240 \text{ А}; \quad r_0 = 0,329 \text{ Ом/км.}$$

Для вибору електричних апаратів РП-10 кВ визначаємо робочий максимальний струм вводу:

$$I_{\text{рmax.рп}} = \frac{S_p}{\sqrt{3}U_c}, \quad (2.27)$$

$$I_{\text{рmaxрп}} = \frac{7484,7}{\sqrt{3} \cdot 10} = 432,6 \text{ А.}$$

Приймаємо чарункп КРП типу КМ-1Ф з вимикачами ВВЕ-10-20/630В3.

Умови вибору й перевірки	Каталожні дані	Розрахункові дані
$U_{\text{ном}} \geq U_c$	10 кВ	10 кВ
$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{рmax}}$	630 А	474,1 А
$I_{\text{откл}} \geq I''$	20 кА	10,2 кА
$i_{\text{дин}} \geq i_y$	51 кА	$i_y = \sqrt{2} \cdot \kappa_y \cdot I'' = \sqrt{2} \cdot 18 \cdot 10,2 = 26 \text{ кА.}$
$I_{\text{mtm}}^2 > I_{\infty \text{ткз}}^2$	$20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$10,2^2 \cdot 1 = 104 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.}$

В чарунках КРП встановлені трансформатори струму ТОЛ-10В3, в чарунках трансформаторів напруги встановлені трансформатори напруги ЗХЗНОЛ06-10У3 по одному на секцію.

Ввід на РП-10 кВ здійснюється по комплектному струмопроводі ТЗК-10-1000051У3.

Для РП-35 кВ прийнята блокова схема з вимикачем ВБПЗ-35-12,5/1000У1, роз'єднувачем РНДЗ.1-35/1000У1 і трансформаторами струму ТФЗМ35-150/5У1.

#### 2.1.4 Вибір потужності компенсуючих пристроїв

Вибір потужності компенсуючих пристроїв виробляється з умови забезпечення балансу реактивної потужності на границі розділі енергосистема - підприємство, кВАр:

$$Q_{p\Sigma} + \Delta Q_m + \Delta Q_{ktn\Sigma} + Q_{p.cd} - \Sigma Q_{нкп} - Q_{вкп} - Q_{el} = 0, \quad (2.28)$$

де  $Q_p = K_{pm} \cdot \Sigma Q_{pi} = 0,98 \cdot 5579,9 = 6024,97$  кВАр - розрахункова сумарна реактивна потужність споживачів заводу, кВАр;

$\Delta Q_m$  - втрати реактивної потужності в трансформаторах ПС, кВАр;

$$\Delta Q_m = n_m \left( \frac{I_x \cdot S_{ном-m}}{100} + K_{з}^2 \cdot \frac{U_k \cdot S_{ном-m}}{100} \right) = 2 \left( \frac{0,8 \cdot 6300}{100} + 0,59^2 \cdot \frac{7,5 \cdot 6300}{100} \right) = 500,1$$

$\Delta Q_{ktn\Sigma}$  - сумарні втрати реактивної потужності в трансформаторах КТП, кВАр :

$Q_{p.cd} = -756,2$  кВАр - компенсуюча здатність СД, кВАр;

$\Sigma Q_{нкп}$ ,  $Q_{вкп}$  - потужність конденсаторних батарей з боку НН і ВН відповідно, кВАр.

Потужність  $Q_{нкп}$  визначається з умови забезпечення пропускної здатності трансформаторів КТП за наступною методикою:

- визначається номінальна потужність трансформаторів КТП, кВА:

$$S_{ном.m} \geq \frac{P_{расч}}{K_{зонт} \cdot n_z},$$

(2.29)



- втрати реактивної потужності в трансформаторах КТП при  $K_{зонт}$ , кВАр;

$$\Delta Q_{КТПi} = n_m \left( \frac{I_x \cdot S_{ном\_mi}}{100} + K_{зонт}^2 \cdot \frac{U_k \cdot S_{ном\_mi}}{100} \right), \quad (2.30)$$

- пропускна здатність трансформаторів КТП по реактивній потужності, кВАр:

$$Q_m = \sqrt{(K_{зонт} \cdot S_{ном\_m} \cdot n_m)^2 - P_{pi}^2}. \quad (2.31)$$

Потужність конденсаторних батарей для  $i$ - ой КТП, кВАр:

$$Q_{нкпi} = Q_{pi} + \Delta Q_{ктпi} - Q_{m.i}. \quad (2.32)$$

Потужність ВКП визначається з (2.21), кВАр:

$$Q_{вкп} = Q_{рп\Sigma} + \Delta Q_m + \Delta Q_{ктп\Sigma} + Q_{p.c\delta} - \Sigma Q_{нкп} - Q_{el}. \quad (2.33)$$

Вибір потужності НКП й потужності трансформаторів КТП наведений у таблиці 2.4 (варіант 1). В даному випадку була виконана перевірка й оцінка вже встановлених на заводі трансформаторів КТП та НКП, які підключені до розподільчого пристрою 0,4 кВ КТП, а також перевірка по балансу реактивної потужності номінальної потужності ВКП (тобто забезпечення економічно доцільного коефіцієнту реактивної потужності 0,3 на гранці балансової приналежності).

Визначаємо потужність  $Q_{вкп}$  по (2.33):

$$Q_{вкп} = 6024,97 + 500,1 + 372,8 - 756,2 - 1558,67 - 2600 = 1487,2 \text{ кВАр},$$

$Q_{вкп} > 0$  - установка КП на стороні 10 кВ потрібно, тому й встановлено два компенсуючих пристрою УК-10,5-900УЗ, загальною потужністю 1800 кВАр, а загальна потужність НКП – 2600 кВАр.

Таблиця 2.4 – Параметри режиму споживання КТП заводу

№ КТП	Розрахункове навантаження			Номінальна потуж- ність НКП, кВАр	Розр. наванта- ження $S'_p$ , кВА	Номінальна потужність трансфор. КТП, кВА	Коеф. заван- таження $K_3$ , в.од.
	$P_p$ , кВт	$Q_p$ , кВАр	$S_p$ , кВА				
КТП1	445,8	406,0	603,0	200	491,2	630	0,39
КТП2	1604,3	2190,4	2715,1	900	2058,9	1600	0,64
КТП3	935,7	1089,24	1436,0	400	1162,1	1000	0,58
КТП4	1013,0	1318,53	1662,7	600	1242,0	1600	0,39
КТП5	353,5	428,03	555,1	200	420,6	400	0,53
КТП6	455,2	341,41	569,0	150	493,8	400	0,62
КТП7	470,6	352,92	588,2	150	512,4	400	0,64

Уточнена розрахункова потужність з урахуванням КП (І варіант):

$$Q_{pl} = Q_{p\Sigma} + \Delta Q_{mI} + \Delta Q_{кмп\Sigma} + Q_{сд} - Q_{нкп} - Q_{вкп} , \quad (2.34)$$

$$Q_{pl} = 6024,97 + 500,1 + 372,8 - 756,2 - 2600 - 1800 = 1741,67 \text{ кВАр},$$

$$S_{расчI} = \sqrt{P_{p\Sigma}^2 + Q_{p\Sigma}^2} = \sqrt{(7169,16)^2 + 1741,67^2} = 7377,67 \text{ кВА},$$

$$K_{3zI} = S_p / 2S_{ном.т} \quad (2.35)$$

$$K_{3zI} = 7377,67 / 2 \cdot 6300 = 0,59.$$

Застосуємо граничну компенсацію на вузлах системи електропостачання, тобто потужність КП буде дорівнювати близько до розрахункової реактивної потужності для НКП – на шинах 0,4 кВ КТП, а

для ВКП – на шинах ПС. Результати зміни режиму споживання КТП заводу наведено у таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Параметри режиму споживання КТП заводу (гранична КРП)

№ КТП	Розрахункове навантаження			Номінальна потужність НКП, кВАр	Розр. навантаження $S'_{p,}$ кВА	Номінальна потужність трансфор. КТП, кВА	Коеф. завантаження $K_3$ , в.од.
	$P_p$ , кВт	$Q_p$ , кВАр	$S_p$ , кВА				
КТП1	445,8	406,0	603,0	400	445,9	630	0,35
КТП2	1604,3	2190,4	2715,1	1800	1651,2	1600	0,52
КТП3	935,7	1089,24	1436,0	900	954,6	1000	0,48
КТП4	1013,0	1318,53	1662,7	1200	1019,9	1600	0,32
КТП5	353,5	428,03	555,1	400	354,6	400	0,44
КТП6	455,2	341,41	569,0	300	457,1	400	0,57
КТП7	470,6	352,92	588,2	300	473,5	400	0,59

Визначаємо потужність  $Q_{вкп}$  по (2.33):

$$Q_{вкп} = 6024,97 + 500,1 + 316,72 - 756,2 - 1558,67 - 5300 = -773,08 \text{ кВАр,}$$

$Q_{вкп} < 0$  - установка КП на стороні 10 кВ не потрібно, але встановлено буде два компенсуючих пристрою УК-10,5-450УЗ, загальною потужністю 900 кВАр, так як через трансформатори ПС не буде передаватися реактивна потужність у розмірі 1558,67 кВАр, при цьому загальна потужність НКП – 5300 кВАр, також у цьому випадку не застосовується компенсуючи здатність СД, що поліпшує їх умови експлуатації.

Уточнена розрахункова потужність з урахуванням КП (II варіант):

$$Q_{pII} = 6024,97 + 500,1 + 316,72 - 900 - 5300 = 641,32 \text{ кВАр,}$$

$$S_{расчII} = \sqrt{7169,16^2 + 641,32^2} = 7197,78 \text{ кВА,}$$



$$\kappa_{32II} = 7197,78/2 \cdot 6300 = 0,57.$$

2.1.5 Оцінка зниження втрат електроенергії в елементах мережі при застосуванні компенсації реактивної потужності

Зниження втрат електроенергії в елементах мережі для варіантів з компенсацією реактивної потужності визначається як різниця втрат електроенергії в мережі в порівнянні з варіантом існуючих КП. При цьому визначаються втрати електроенергії в трансформаторах знижувальної ПС, у КЛ 10 кВ і в трансформаторах КТП.

Втрати електроенергії в трансформаторах визначаються по формулі, МВт·год:

$$\Delta W_T = n_T (\Delta P_x \cdot 8760 + \kappa_{32}^2 \cdot \Delta P_k \cdot \tau_m) \cdot 10^{-3}, \quad (2.36)$$

де  $\Delta P_x, \Delta P_k$  - втрати потужності холостого ходу й к.з., кВт;

$n_m$  - число трансформаторів;

$\kappa_{32}$  - коефіцієнт завантаження трансформатора;

$\tau_m$  - число годин максимальних втрат, рік.

$$\tau_m = \left( 0,124 + \frac{T_m}{10000} \right)^2 \cdot 8760, \quad (2.37)$$

$$\tau_m = \left( 0,124 + \frac{5200}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = 3633 \text{ рік,}$$

Визначасмо втрати електроенергії в трансформаторах знижувальної підстанції.

I варіант (із існуючою компенсацією реактивної потужності):

$$\Delta W_{TI} = 2(8 \cdot 8760 + 059^2 \cdot 46,5 \cdot 3633) \cdot 10^{-3} = 257,77 \text{ МВт·год}$$

II варіант (з граничною компенсацією реактивної потужності):

$$\Delta W_{TI} = 2(8 \cdot 8760 + 0,57^2 \cdot 46,5 \cdot 3633) \cdot 10^{-3} = 249,93 \text{ МВт} \cdot \text{год.}$$

Втрати електроенергії в трансформаторах КТП для I і II варіантів наведені в таблиці 2.7.

Втрати активної електроенергії в КЛ-10 кВ визначаються по формулі, МВт·год:

$$\Delta W_{КЛ} = \frac{1}{n_{КЛ}} \cdot \frac{S_p^2}{U_n^2} \cdot r_0 \cdot l_{КЛ} \cdot \tau_m \cdot 10^{-3}, \quad (2.38)$$

де  $r_0 = 0,329$  Ом/км - питомий активний опір для КЛ ААШВ3х95;

$l_{КЛ}$  - довжина кабельних ліній, км;

$n_{КЛ}$  - кількість кабелів у лінії.

Результати розрахунку наведено у таблиці 2.6.

Сумарні втрати електроенергії.

Для I варіанта, МВт·год:

$$\Delta W_{\Sigma I} = \Delta W_{TI} + \Sigma \Delta W_{КТП} + \Sigma \Delta W_{КЛ}, \quad (2.39)$$

$$\Delta W_{\Sigma I} = 257,77 + 478,690 + 32,9 = 769,39 \text{ МВт} \cdot \text{год.}$$

Для II варіанта, МВт·год:

$$\Delta W_{\Sigma II} = 249,93 + 436,593 + 27,3 = 713,82 \text{ МВт} \cdot \text{год.}$$

Зниження втрат електроенергії в елементах мережі при компенсації реактивної потужності, МВт·год:

$$\delta \Delta W = \Delta W_{\Sigma II} - \Delta W_{\Sigma I} \quad (2.40)$$

$$\delta \Delta W = 769,39 - 713,82 = 55,57 \text{ МВт} \cdot \text{год.}$$

$$\delta\Delta W \% = \frac{\delta\Delta W}{\Delta W_{II}} \cdot 100 \quad (2.41)$$

$$\delta\Delta W \% = \frac{55,57}{769,39} \cdot 100 = 7,2 \%$$

У такий спосіб втрати електроенергії в елементах мережі знижуються на 7,2 % при використанні компенсації реактивної потужності (рисунок 2.4).

Таблиця 2.6 - Визначення втрат електроенергії для КЛ-10 кВ

Ділянки КЛ	Варіант I				Варіант II			
	S <sub>p</sub> , кВА	I <sub>кл</sub> , кМ	n <sub>кл</sub>	ΔW <sub>кл</sub> , МВт·ч	S <sub>p</sub> , кВА	I <sub>кл</sub> , кМ	n <sub>кл</sub>	ΔW <sub>кл</sub> , МВт·ч
РУ-КТП1	491,2	0,3	2	12,3	445,9	0,3	2	10,8
РУ-КТП2	2058,9	0,15	2	7,8	1651,2	0,15	2	4,68
РУ-КТП3	1162,1	0,4	2	7,5	954,6	0,4	2	7,3
РУ-КТП4	1242,0	0,15	2	1,4	1019,9	0,15	2	1,1
РУ-КТП5	420,6	0,05	2	1,0	354,6	0,05	2	0,8
РУ-КТП6	493,8	0,1	2	1,7	457,1	0,1	2	1,4
РУ-КТП7	512,4	0,35	2	1,2	445,9	0,35	2	0,9
				ΔW <sub>клII</sub> = 32,9				ΔW <sub>клII</sub> = 27,3

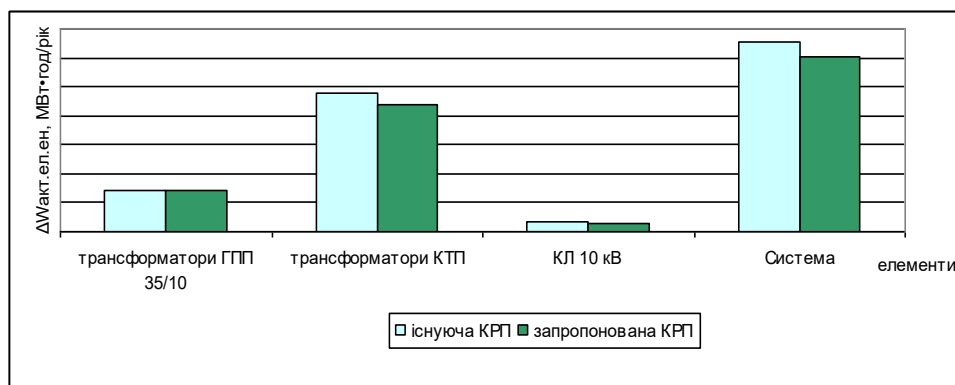


Рисунок 2.4 – Структурні втрати електричної енергії у системі електропостачання заводу кольорових сплавів



Таблиця 2.7 - Визначення втрат електроенергії в трансформаторах КТП

№ КТП	Варіант I							Варіант II						
	Тип тр-ра КТП	$n_T$	$\Delta P_x$ кВт	$\Delta P_k$ кВт	$S'_p$	$K_{зг}$	$\Delta W_{кТП}$ МВт·год	Тип тр-ра КТП	$n_T$	$\Delta P_x$ кВт	$\Delta P_k$ кВт	$S'_p$	$K_{зг}$	$\Delta W_{кТП}$ МВт·год
КТП1	ТМ3630/10	2	2,27	7,6	491,2	0,39	48,161	ТМ3630/10	2	2,27	7,6	445,9	0,35	46,687
КТП2	ТМ31600/10	2	4,5	16,5	2058,9	0,64	128,470	ТМ31600/10	2	4,5	16,5	1651,2	0,52	110,759
КТП3	ТМ31000/10	2	3,3	11,6	1162,1	0,58	86,274	ТМ31000/10	2	3,3	11,6	954,6	0,48	77,019
КТП4	ТМ31600/10	2	4,5	16,5	1242,0	0,39	96,899	ТМ31600/10	2	4,5	16,5	1019,9	0,32	91,019
КТП5	ТМ3400/10	2	1,45	5,5	420,6	0,53	36,452	ТМ3400/10	2	1,45	5,5	354,6	0,44	33,254
КТП6	ТМ3400/10	2	1,45	5,5	493,8	0,62	40,631	ТМ3400/10	2	1,45	5,5	457,1	0,57	38,450
КТП7	ТМ3400/10	2	1,45	5,5	512,4	0,64	41,802	ТМ3400/10	2	1,45	5,5	473,5	0,59	39,405
							$\Sigma \Delta W_{кТП I} =$ 478,690							$\Sigma \Delta W_{кТП II} =$ 436,593

## 2.2 Вибір економічного режиму роботи трансформаторів

### 2.2.1 Поняття економічного режиму роботи трансформаторів

Економічний режим роботи трансформаторів характеризується мінімальними відносними втратами активної потужності й активної електроенергії при забезпеченні оптимального коефіцієнта завантаження трансформаторів. Втрати активної потужності трансформатора складаються із втрат холостого ходу й навантажувальних втрат (втрат активної потужності в обмотках трансформаторів). Втрати холостого ходу є постійною складовою і не залежать від величини навантаження. Навантажувальні втрати пропорційні квадрату навантаження. Таким чином, залежність втрат потужності від величини навантаження може бути представлена у вигляді, кВт:

$$\Delta P_T = \Delta P'_x + \frac{\Delta P'_k}{S_{номТ}^2} \cdot S_{нт}^2, \quad (2.42)$$

де  $\Delta P'_x$ ,  $\Delta P'_k$  – приведені втрати потужності холостого ходу й к.з. трансформатора відповідно, кВт;

$S_{номТ}$  – номінальна потужність трансформатора, кВА;

$S_{нт}$  – потужність навантаження трансформатора, кВА.

Приведені втрати потужності трансформатора враховують втрати активної потужності в трансформаторі й в інших елементах мережі, викликаних передачею додаткової реактивно потужності, обумовленої втратами реактивної потужності в трансформаторі.

Наведені втрати потужності трансформатора визначаються по формулах, кВт:

$$\Delta P'_x = \Delta P_x + \kappa_{ин} \frac{I_x S_{номТ}}{100}, \quad (2.43)$$

$$\Delta P'_k = \Delta P_k + \kappa_{ин} \frac{U_k S_{номТ}}{100}, \quad (2.44)$$

де  $I_x$ ,  $U_k$  – струм холостого ходу й напруга к.з. (каталожні дані трансформатора),%;

$\kappa_{вт}$  – коефіцієнт зміни втрат трансформатора.

Значення  $\kappa_{вт}$  знаходиться у межах (0,005÷0,05) залежно від віддалення трансформатора від джерела живлення.

Для оцінки економічності режиму роботи трансформаторів доцільно використовувати відносні втрати потужності трансформатора ( $\Delta P_{Tx}$ ), в.о.:

$$\Delta P_{Tx} = \frac{\Delta P_T}{S_{HT}}, \quad (2.45)$$

$$\Delta P_{Tx} = \frac{\Delta P'_x}{S_{HT}} + \frac{\Delta P'_k}{S_{номТ}^2} S_{HT}. \quad (2.46)$$

Для визначення величини навантаження, при якій  $\Delta P_{Tx}$  є мінімальними, необхідно встановити значення екстремума функції  $\Delta P_{Tx} = f(S_{HT})$  за умови:

$$\frac{d\Delta P_{Tx}}{dS_{HT}} = 0 \quad (2.47)$$

$$-\frac{\Delta P'_x}{S_{HT}^2} + \frac{\Delta P'_k}{S_{номТ}^2} = 0, \quad (2.48)$$

звідки 
$$S_{HT\text{ опт}} = S_{номТ} \cdot \sqrt{\frac{\Delta P'_x}{\Delta P'_k}}. \quad (2.49)$$

У такий спосіб оптимальний коефіцієнт завантаження визначається за формулою:

$$\kappa_{з\text{ опт}} = \frac{S_{HT\text{ опт}}}{S_{номТ}} = \sqrt{\frac{P'_x}{P'_k}}. \quad (2.50)$$

На рисунку 2.5 представлені залежності  $\Delta P_m = f(S_{nm})$ , які побудовані за результатами таблиці 2.8.

При розрахунках прийняти  $\kappa_{un}=0,01$ .

Таблиця 2.8 - Результати розрахунку відносних втрат потужності трансформаторів

Тип тр-ра	$S_{нг}$	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1200	$S_{нг, опт}$ кВА
ТМЗ- 250/10 $\Delta P_x = 0,79$ кВт; $\Delta P_k = 3,81$ кВт	$\Delta P_T,$ %	1,4	1,6	2,1	-	-	-	-	-	-	-	-	107,5
ТМЗ- 400/10 $\Delta P_x = 1,03$ кВт; $\Delta P_k = 5,68$ кВт	$\Delta P_T,$ %	1,39	1,23	1,41	1,68	1,98	-	-	-	-	-	-	170,3
ТМЗ- 630/10 $\Delta P_x = 1,42$ кВт; $\Delta P_k = 7,95$ кВт	$\Delta P_T,$ %	1,68	1,11	1,07	1,16	1,29	1,44	1,6	1,78	1,98	-	-	266,3
ТМЗ- 1000/10 $\Delta P_x = 2,02$ кВт; $\Delta P_k = 11,35$ кВт	$\Delta P_T,$ %	2,03	1,24	1,07	0,96	0,97	1,01	1,1	1,16	1,25	1,34	1,5	421,9



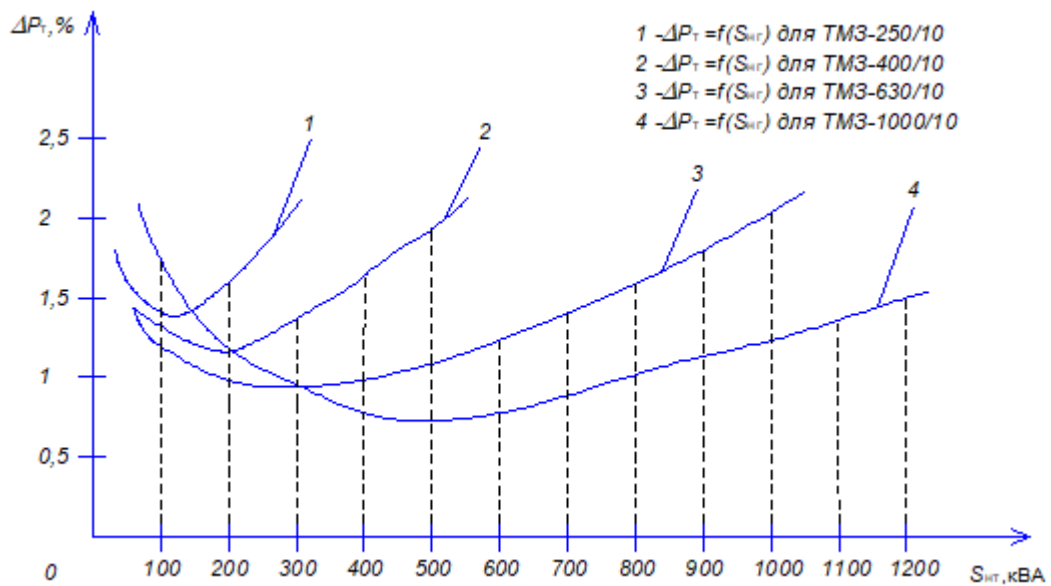


Рисунок 2.5 - Залежність  $\Delta P_m = f(S_{нт})$  для різних трансформаторів

Як видно з рисунка 2.5 залежності відносних втрат потужності трансформаторів від величини навантаження мають екстремальний характер. Питомі втрати потужності в трансформаторах зменшуються при підвищенні номінальної потужності трансформатора.

Для спрощення розрахунків визначення оптимального режиму трансформаторів, при використанні 2-х трансформаторних КТП доцільно визначити граничну потужність навантаження, при якій втрати потужності в трансформаторах КТП рівні при роботі одного й двох трансформаторів. При значенні навантаження  $S_{нт} < S_{нтгр}$ , доцільно відключити один трансформатор.

Значення граничного навантаження визначається з умов:

$$\text{для одного тр-ра} \quad \Delta P_T = \Delta P'_k + \frac{\Delta P'_k}{S_{номТ}^2} S_{нтгр}^2, \quad (2.51)$$

$$\text{для одного тр-ра} \quad \Delta P_T = 2 \cdot \Delta P'_k + \frac{1}{2} \frac{\Delta P'_k}{S_{номТ}^2} S_{нтгр}^2, \quad (2.52)$$

$$\Delta P'_x + \frac{\Delta P'_k}{S^2_{номТ}} S^2_{НГТР} = 2\Delta P'_x + \frac{1}{2} \frac{\Delta P'_k}{S^2_{номТ}} S^2_{НГТР}, \quad (2.53)$$

$$\Delta P'_x = \frac{1}{2} \frac{\Delta P'_k}{S^2_{номТ}} S^2_{НГТР}, \quad (2.54)$$

звідси 
$$S_{НГТР} = S_{номТ} \sqrt{2 \frac{\Delta P'_x}{\Delta P'_k}}. \quad (2.55)$$

При роботі  $n$  трансформаторів однакової потужності, гранична потужність при якій доцільно відключити один трансформатор визначається за формулою:

$$S_{НГТР} = S_{номТ} \sqrt{\frac{n_T(n_T - 1)\Delta P'_x}{\Delta P'_k}}. \quad (2.56)$$

Вибір економічного режиму роботи трансформаторів може бути уточнений при обліку реального значення електроенергії, що передається споживачеві через трансформатор. Втрати активної електроенергії в трансформаторі визначаються згідно (2.36), МВт·год:

$$\Delta W_T = (n_T \cdot \Delta P'_x \cdot 8760 + \frac{1}{n_T} \frac{\Delta P'_k}{S^2_{номТ}} S^2_{номТ} \cdot \tau_M) \cdot 10^{-3}. \quad (2.57)$$

Для одного трансформатора відносні втрати активної електроенергії визначаються за формулою:

$$\Delta W_{Tx} = \frac{\Delta W_T}{W} = \frac{\Delta P'_x \cdot 8760}{P_M \cdot T_M} + \frac{\Delta P'_k \cdot P_M}{S^2_{номТ} \cdot \cos^2 \varphi} \cdot \frac{\tau_M}{T_M}, \quad (2.58)$$

$$\frac{d\Delta W_{Tx}}{dP'_x} = -\frac{\Delta P'_x \cdot 8760}{P_M^2 \cdot T_M} - \frac{\Delta P'_k \cdot \tau_M}{S^2_{номТ} \cdot \cos^2 \varphi \cdot T_M} = 0, \quad (2.59)$$

звідси 
$$S_{НГонт} = \frac{P_M}{\cos \varphi} = S_{номТ} \sqrt{\frac{\Delta P'_x \cdot 8760}{\Delta P'_k \cdot \tau_M}}. \quad (2.60)$$

Таким чином, зниження втрат електроенергії можна досягти, при відключенні одного трансформатора при зниженні навантаження до значення меншого, ніж гранична потужність.

2.2.2 Визначення економії електроенергії від застосування обраного режиму роботи трансформатора

Економія електроенергії від застосування економічного режиму роботи визначається як різниця між втратами електроенергії в трансформаторах при роботі всіх трансформаторів і втратами електроенергії при відключенні одного трансформатора в незавантажені зміни.

Розрахунок економії електроенергії від застосування економічного режиму роботи трансформатора проводиться для КТП1, що живить споживачів цеху кабелю дроту, який складається з двох ділянок: електролізу водних розчинів та жил кабелю-дроту.

Графік навантаження цеху за добу наведений на рисунку 2.6 і в таблиці 2.9.

Визначаємо граничну потужність відключення, кВА:

$$S_{НГТР} = S_{номТ} \sqrt{2 \frac{\Delta P_x}{\Delta P_k}}, \quad (2.61)$$

$$S_{НГТР} = 1000 \sqrt{2 \frac{3,3}{11,6}} = 754,29 \text{ кВА.}$$

У такий спосіб 1 трансформатор відключається в періоди  $T_1$  ( $S_H=464,9$  кВА,  $T_1=8$  год),  $T_5$  ( $S_H=464,9$  кВА,  $T_5=4$  год) та  $T_6$  ( $S_H=348,7$  кВА,  $T_6=4$  год).

Визначаємо втрати електроенергії за добу, кВт·год:

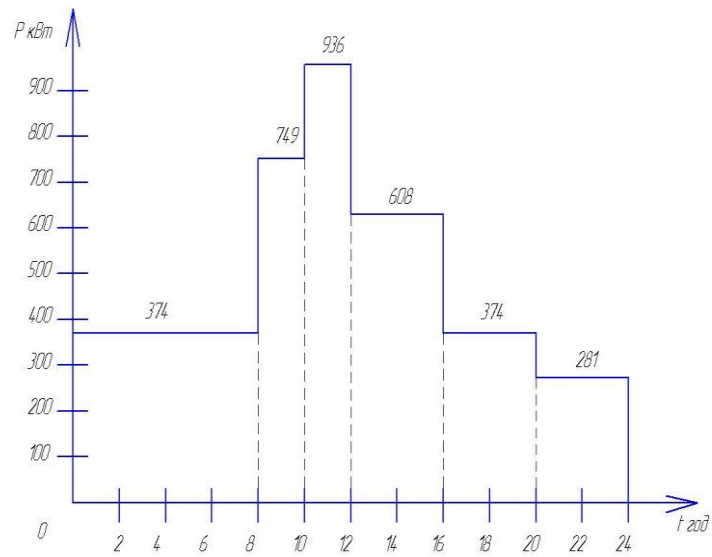
I варіант (включення 2 трансформаторів)

$$\Delta W_{кТП} = n_T \cdot \Delta P_x \cdot T_p + n_T \cdot \Delta P_k \cdot \sum k_{зи} \cdot t_i, \quad (2.62)$$

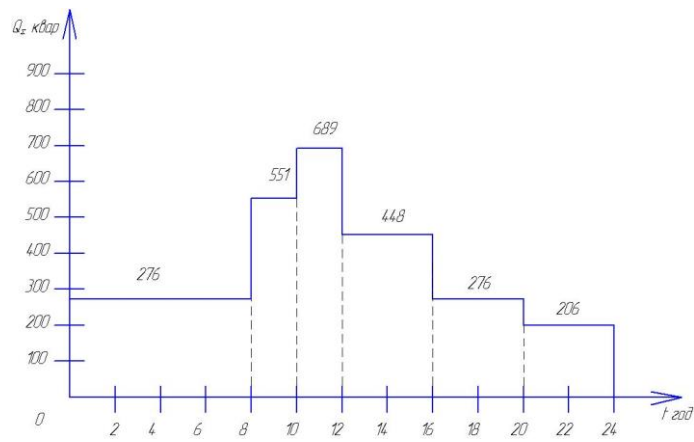
де  $T_p=24$  год – тривалість роботи трансформаторів;

$k_{зи}$  – коефіцієнт завантаження для  $i$ -го періоду при роботі 2-х трансформаторів.

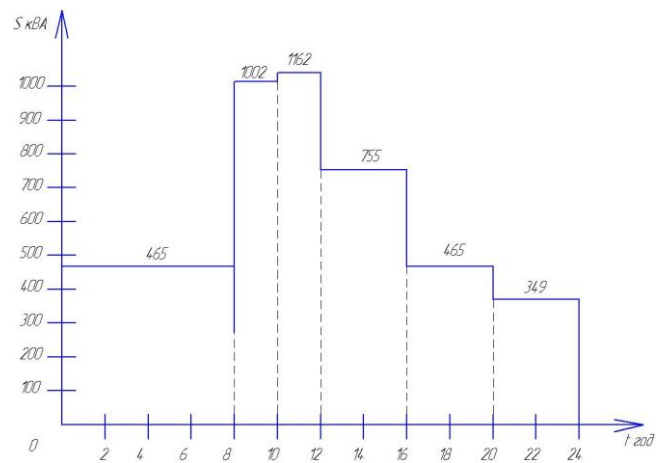
$$\begin{aligned} \Delta W_{кТП} &= 2 \cdot 3 \cdot 24 + 2 \cdot 11,6 \cdot (0,23^2 \cdot 8 + 0,5^2 \cdot 2 + 0,58^2 \cdot 2 + 0,37^2 \cdot 4 + \\ &+ 0,23^2 \cdot 4 + 0,17^2 \cdot 4) = 201,3 \text{ кВт} \cdot \text{год} \end{aligned}$$



а)



б)



в)

а) без регулювання; б) один трансформатор; в) два трансформатори

Рисунок 2.6 - Добовий графік навантаження цеху кабелю-дроту



Таблиця 2.9 - Дані добового графіка навантаження цеху кабелю-дроту

№	1	2	3	4	5	6
$t_i$ , час	8	2	2	4	4	4
$P_i$ , кВт	374,3	748,6	935,7	608,2	374,3	280,7
$Q_i$ , квар	675,7	951,4	1089,7	848,0	675,7	606,8
$\Delta Q_i$ , квар	33,98	51,8	65,1	43,7	33,9	31,3
$Q_{КП}$ , квар	400	400	400	400	400	400
$Q_{\Sigma i}$ , квар	275,7	551,4	689,2	448,0	275,7	206,8
$S_{КТП i}$ , кВА	464,9	1002,3	1162,3	755,4	464,9	348,7
$K_{зг}$	0,23	0,50	0,58	0,37	0,23	0,17
$K_{зг}$ (після відкол.)	0,46	0,46	0,58	0,37	0,46	0,35

II варіант (у періоди 1,5 і 6 включений 1 трансформатор, в інші періоди включені 2 трансформатори).

$$\Delta W_{КТП II} = (2 \cdot 3 \cdot 8 + 1 \cdot 3 \cdot 16) + 2 \cdot 11,6 \cdot (0,46^2 \cdot 2 + 0,46^2 \cdot 2 + 0,35^2 \cdot 4) +$$

$$+ 1 \cdot 11,6 \cdot (0,46^2 \cdot 8 + 0,46^2 \cdot 4 + 0,35^2 \cdot 4) = 169,28 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

Економія електроенергії складе, %:

$$\delta \Delta W_{КТП \%} = \frac{\Delta W_{КТП II} - \Delta W_{КТП III}}{\Delta W_{КТП III}} \cdot 100, \quad (2.63)$$

$$\delta\Delta W_{\text{КТП}\%} = \frac{201,3 - 169,3}{201,3} \cdot 100 = 15,9 \text{ \%}.$$

При виборі економічного режиму трансформаторів на всіх КТП, а також для трансформаторів знижувальної ПС, економія електроенергії складе, МВт·год:

$$\delta\Delta W_{\Sigma} = \frac{(\Delta W_{\text{КТП}\Sigma} + \Delta W_T) \cdot \delta\Delta W_{\text{КТП}\%}}{100}, \quad (2.64)$$

$$\delta\Delta W_{\Sigma} = \frac{(478,690 + 140,78) \cdot 11,2}{100} = 69,38 \text{ MВт} \cdot \text{год}.$$

## 2.3 Регулювання графіка навантаження підприємства

### 2.3.1 Основні принципи регулювання графіка навантаження

Нерівномірність графіків навантаження енергосистем висуває підвищені вимоги до керування енергетичним устаткуванням промислових підприємств і приводить до необхідності маневрувати включенням і відключенням агрегатів, а в деяких випадках і цілих виробництвах.

Крім того, для покриття піків навантаження енергосистеми необхідно мати запас спеціальних генеруючих потужностей, газотурбінних установок гідроакumuлюючих електростанцій, що приводить до значної перевитрати палива й вимагає більших капіталовкладень.

Споживачі, змінюючи режим роботи, можуть у значній мірі сприяти вирівнюванню графіка, знижуючи навантаження в години максимуму й заповнюючи нічний провал.

Регулювати потужність промислових підприємств різних галузей можна й організаційно-технічними заходами, наприклад, удосконалюванням організації виробництва.

Це дозволяє регулювати 10- 20 % максимального споживання потужності, а в осінньо-зимовий період - до 30 %.

На ряді підприємств енергоємні агрегати мають середній строк тривалості капітальних ремонтів від 20 до 45 діб. Графік організації таких

ремонтів в осінньо-зимовий період дозволяє знизити максимально споживану потужність на 30 %. Дрібний, а також поточний ремонт устаткування доцільно проводити в години максимуму навантаження енергосистеми; у ці ж періоди може здійснюватися й обслуговування агрегатів. Створення технологічних ємностей, що забезпечують роботу основного технологічного циклу з остановом живильних агрегатів, також дає можливість регулювати заявлену потужність. Короткочасне відключення дренажних насосів, вентиляторів, повітродувок не робить істотного впливу на технологічний процес. Почергове їхнє відключення по заздалегідь складеному графіку дозволяє знизити споживану потужність. Особливо ефективно регулювання потужності насосів, що заповнюють технологічні ємності. Графік їхньої роботи необхідно становити таким чином, щоб всі ємності були заповнені до моменту настання часу максимуму навантаження енергосистеми. При цьому максимальна подача насосів повинна на 30 % перевищувати годинну витрату води по підприємству. Почерговим відключенням на 20- 30 мін груп кондиціонерів і вентиляторів на підприємствах будівельних матеріалів, хімічної, гірничорудної, машинобудівної, легкої, харчової й іншої галузей промисловості може бути досягнуте зниження максимального навантаження на 12 %. Економічно вигідне збільшення інтенсивності використання устаткування, у результаті чого створюється додатковий технологічний заділ виробничого продукту, що допускає зупинку встаткування на період максимуму навантаження енергосистеми. Даний метод регулювання досить ефективно може бути застосований на підприємствах будівельної промисловості. При збільшенні інтенсивності роботи, наприклад, млинів з розмелу великих фракцій можна збільшити вихід продукції й, отже, забезпечити заповнення ємностей, що гарантує безперебійну роботу технологічних ліній при зупинці енергоємних млинів. На підприємствах будівельної промисловості й хімії подібний захід сприяє зниженню максимуму навантаження приблизно на 25 %. Установка додаткових агрегатів на енергоємних технологічних лініях, а також монтаж запасних

ємностей поліпшують регулювання максимуму навантаження, доводячи зниження потужності до 45 % максимальної.

Збільшення місткості водовідливних установок шахт, заповнення їх у періоди між появою максимумів і відкачка в провали навантаження також приносить відчутний ефект.

Різні споживачі електроенергії несуть різну "відповідальність" перед виробничим процесом. Тому відключення споживачів-регуляторів електричного навантаження варто здійснювати у відповідності зі шкалою їхніх пріоритетів. Метод керування споживанням електроенергії з використанням споживачів-регуляторів не завжди може забезпечити необхідний ефект, оскільки в процесі споживання пріоритет регулятора може зажадати коректування. У зв'язку із цим пріоритет регулятора, в остаточному підсумку, визначає диспетчер, з огляду на інструкцію з електроспоживання. Керування електроспоживанням корекцією навантаження може бути здійснене за методом мінімального збитку від регулювання навантаження споживачем-регулятором. Рішення цього завдання зводиться до оптимального розподілу обмеженої потужності між технологічними установками з урахуванням рівності відносних приростів збитків.

Як споживачі-регулятори можуть служити також освітлювальні установки. Залежно від характеру виробництва частка витрати електроенергії на освітлення коливається по галузях промисловості в середньому на 5- 10 % їхнього загального споживання. По окремих галузях витрата електроенергії на освітлювальні установки істотно відрізняється: у металургійному виробництві приблизно 5 %, у машинобудуванні – 10%, у легкій промисловості - у середньому 15 %. На окремих підприємствах легкої промисловості частка електроспоживання на освітлення перевищує 30 %.

Для ощадливої витрати електроенергії в освітлювальних установках, а також з метою забезпечення можливості використання їх як споживачів-регуляторів повинна бути передбачена раціональна схема керування освітленням. Правильна побудова такої схеми, а також контроль за



електроспоживанням дозволяють ефективно управляти включенням окремих світильників або груп їх, освітлення приміщень будинку, усього підприємства. Дистанційне керування освітленням цехів повинне мати необхідну гнучкість, що дозволяє регулювати його залежно від рівня природної освітленості приміщень, а також часу виробництва в них робіт.

Керування зовнішнім освітленням також повинне бути максимально централізоване в масштабах усього підприємства. Централізація вимагає керування освітленням території всього підприємства з пунктів чергового диспетчера енергетичного господарства. Централізація керування освітленням дозволяє реалізувати найбільш раціональний режим освітлення залежно від зовнішніх умов, а також з урахуванням інформації про загальний рівень електроспоживання підприємства. Витрата електроенергії загальнопромисловими установками досягає 50- 60 % загальнозаводського електроспоживання.

Витрата електроенергії по загальнопромислових установках відносно загальнозаводської витрати:

- компресори для вироблення стисненого повітря - 20-25%;
- насосні станції для перекачування води – 5-6 %;
- вентиляційні установки - 15-20%;
- транспортні засоби – 7-8 %;
- освітлення - 8-10%.

Максимальні значення відносяться до поточно-масового виробництва.

Як споживачі-регулятори можуть використовуватися компресорні установки, однак це можливо тільки за умови створення достатніх ємностей, що акумулюють стиснене повітря, це вимагає додаткових капіталовкладень на їхнє спорудження.

Розробка методів керування навантаженням промислового підприємства при обмеженнях на електроспоживання з боку енергосистеми ведеться залежно від засобів реалізації по двох напрямках.

Перший напрямок орієнтований на аналіз режиму електроспоживання промислових підприємств за ступенем його участі в керуванні навантаженням при оперативних і планових обмеженнях. При обстеженні конкретного промислового підприємства виявляються споживачі-регулятори й електроприймачі, які можуть служити споживачами-регуляторами при певних додаткових витратах. Потім, на основі використання методів економіко-математичного моделювання, вирішується завдання вибору найвигіднішого складу й черговості відключення споживачів-регуляторів за умовою мінімуму збитку. Одержуючи в такий спосіб набір готових рішень по оптимальному навантаженню, промислове підприємство використовує отримані результати в реальній обстановці. Подальший розвиток методів припускає запам'ятовування рішень для промислових підприємств однієї енергосистеми в ЕОМ з метою використання їх при аварійному розвантаженні. Другий напрямок припускає розробку методів керування, орієнтованих на використання автоматизованих систем обліку, контролю й керування електроспоживанням, які повинні вирішувати завдання керування навантаженням в умовах конкретного промислового підприємства в масштабі реального часу.

У перерахованих системах використовується метод керування електроспоживанням за шкалою пріоритету, що перебудовується в процесі керування по апріорно заданому циклі, і реалізує критерій рівної поточної участі електроприймачів відповідно до заданого пріоритету (рисунок 2.7).

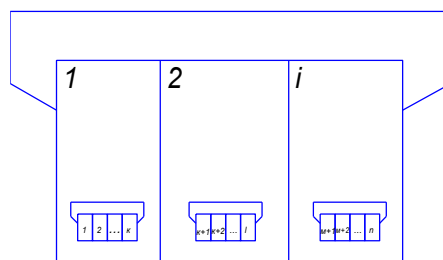


Рисунок 2.7 - Керування споживачами-регуляторами за критерієм рівної поточної участі

Споживачі-регулятори в кількості  $n$ , розташовані в порядку зростання пріоритетів, обумовлених методом рангової кореляції, розбиваються на  $i$  груп, кожна з яких містить відповідно  $k, 1-k, \dots, n-m$  приблизно рівних по рангах споживачів-регуляторів.

Реалізація принципу керування споживачів-регуляторів за критерієм рівної поточної участі можлива при дотриманні певних умов: пріоритету груп споживачів-регуляторів залишається незмінним, якщо в контрольованому періоді  $T_{k,l}$  відключається потужність, що не перевищує сумарну потужність споживачів-регуляторів, що входять у групу, і жоден зі споживачів-регуляторів не може бути повторно відключений у контрольованому періоді доти, поки в процесі керування пріоритет споживача-регулятора не буде відновлений до первісного. Якщо на  $k$ -м кроці керування необхідно знизити електроспоживання на  $\Delta W^k$  і інтервал керування становить  $\tau \Delta t$  минут, де  $\tau$  - кількість кроків керування, а  $\Delta t$  - крок прогнозу, то перевіряється умова

$$\Delta W^k_\tau = P_1 \tau \Delta t - \Delta W^k, \quad (2.65)$$

де  $\Delta W^k_\tau$  - електроспоживання на  $\tau$ -м кроці керування;

$P_1$  - потужність 1-го споживача-регулятора.

Якщо  $\Delta W^k_\tau > 0$ , то відключається 1-й споживач-регулятор на час  $\Delta W^k / P_1$ , а в шкалі пріоритетів йому привласнюється найвищий ранг серед споживачів-регуляторів даної групи.

Якщо  $\Delta W^k_\tau < 0$ , то перевіряється умова

$$\Delta W^k_\tau = (P_1 + P_2) \tau \Delta t - \Delta W^k, \quad (2.66)$$

де  $P_2$  - потужність 2-го споживача-регулятора. Або в загальному виді:

$$\Delta W_{\tau}^k = \tau \Delta t \sum_{n=1}^n P_n - \Delta W^k, \quad (2.67)$$

де  $P_n$  - потужність  $n$ -го споживача-регулятора;

$n$  — число споживачів-регуляторів.

При цьому ранг кожного відключеного споживача-регулятора в групі зростає стосовно рангів невідключених споживачів-регуляторів.

$$(P_1 + P_2 + \dots + P_n) \tau \Delta t - \Delta W^k < 0. \quad (2.68)$$

Першій групі споживачів-регуляторів привласнюється найвищий груповий ранг. Аналогічним образом змінюється порядок пріоритету для інших  $i-1$  груп споживачів-регуляторів.

У результаті зміни режиму електроспоживання може виникнути ситуація, коли на  $k+1$  кроці керування необхідно буде додатково знизити електроспоживання на  $\Delta W^{k+1}$ , а інтервал керування складе  $(\tau-1)$  хвилин. Якщо на  $k$ -м кроці керування було відключено  $r$  споживачів з найбільш низьким пріоритетом, а на попередньому кроці керування порядок пріоритетів споживачів-регуляторів був перебудований, то найбільш низький пріоритет буде мати  $(n-r)$ -й споживач-регулятор.

При дотриманні умов реалізації принципу керування споживачів-регуляторів за критерієм рівної поточної участі споживачі-регулятори, що відключалися раніше, не відключаються.

Якщо, наприклад, для першої групи споживачів-регуляторів, дотримується співвідношення

$$\Delta W_{\tau-1}^{k+1} = \sum_{p=(k-r)}^k P_p (\tau-1) \Delta t - \Delta W^{k-1} < 0, \quad (2.69)$$



то відключається споживач-регулятор наступної групи й так далі, аж до виконання умови  $\Delta W_{t-l}^{k+l} \geq 0$ .

При необхідності відновлення відключених споживачів-регуляторів перевага віддається тим з них, які мають найбільш високий пріоритет, спочатку встановленим по методу рангової кореляції.

Після закінчення контрольованого періоду  $T_{\text{кп}}$  групові пріоритети й пріоритети споживачів-регуляторів у групах відновлюються до первісних.

Як було показано, обов'язковою умовою при керуванні електроспоживанням є дотримання співвідношення

$$P_{\text{ф.м.}} \leq P_{\text{з.м.}}, \quad (2.70)$$

де  $P_{\text{ф.м.}}$ ,  $P_{\text{з.м.}}$  — відповідно фактичний і заявлений максимум навантаження.

Недотримання співвідношення  $P_{\text{ф.м.}} \leq P_{\text{з.м.}}$  приводить до штрафних санкцій, що накладається енергопостачальними організаціями на підприємство, що допустило перевищення заявленого максимуму потужності. Необхідна у зв'язку із цим функція керування може бути реалізована такими способами: по миттєвій нормі, ідеальній нормі, прогнозній величині електроспоживання, за методом " рухомого вікна".

При керуванні за миттєвою нормою (рисунок 2.8, а) проводиться порівняння в масштабі реального часу заданого значення навантаження  $P_z$  із його поточним значенням  $P_m$ . У цьому випадку сигнал, що сформувався, неузгодженості  $\Delta P = P_m - P_z$  визначає вироблення керуючого впливу, знак якого залежить від величин  $P_T$  и  $P_z$ .

Керування за ідеальною нормою (рисунок 2.8, б) передбачає розподіл часу максимуму навантаження енергосистеми на рівні інтервали тривалістю  $T_{\text{ин}}$ . У межах кожного інтервалу здійснюється порівняння поточного електроспоживання  $W_m(t)$  зі значенням, лімітованим ідеальною нормою  $W_l(t)$ :

$$\Delta W(t) = W_d(t) - W_T(t). \quad (2.71)$$

Допустиме наближення поточного значення електроспоживання до ідеальної норми  $\Delta W_n$  різниця  $\Delta W_p$  між ідеальною нормою й значенням електроспоживання, що дозволяє включення додаткового навантаження, визначають верхні й нижні технологічні границі, по яких здійснюється керування електроспоживанням:

$$\Delta W_n \leq \Delta W(t) \leq \Delta W_p. \quad (2.72)$$

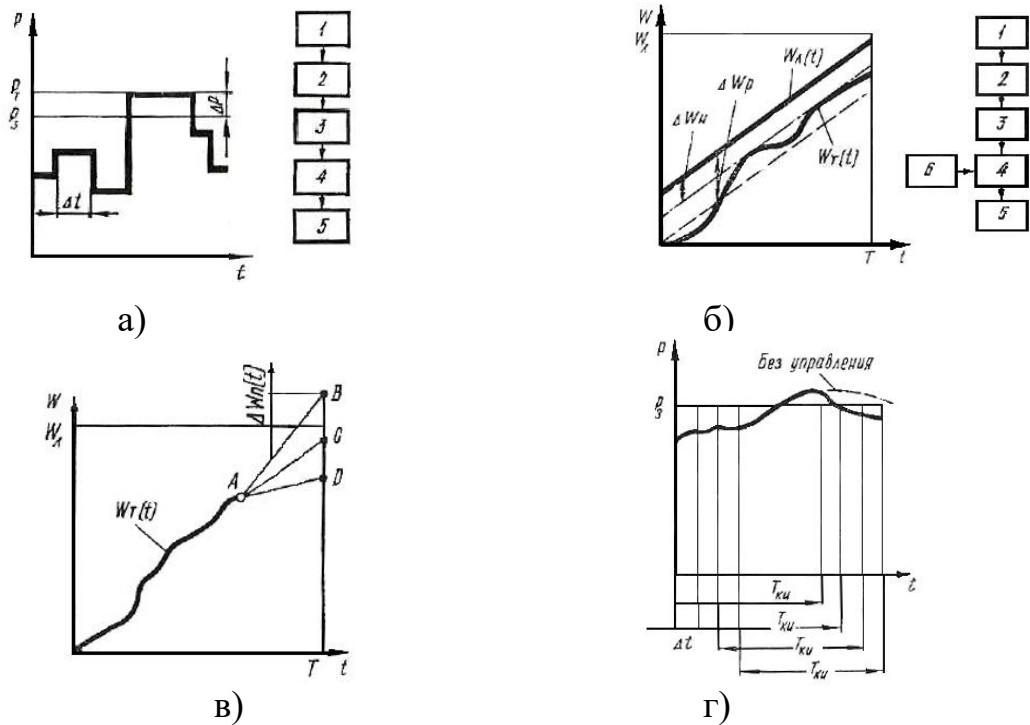
Керування за прогнозною величиною (рисунок 2.8 в) в інтервалі  $T_{n.в}$  враховує можливе значення поточного електроспоживання  $W_m(t)$  наприкінці інтервалу  $T_{n.в}$ . При цьому може розраховуватися як прогнозна точка С, так і довірчий інтервал прогнозування В-D. У розрахунок приймається тенденція зміни функції  $W_m(t)$  до точка А і задається в період попередження, що визначає час настання прогнозної величини електроспоживання (інтервал  $A-T_{n.в}$ ). Керуючий вплив отримуємо при досягненні заданого значення:

$$\Delta W_n(t) = W_n(t) - W_T(t). \quad (2.73)$$

Критерій керування може бути виражений як:

$$\Delta W_n(t) \rightarrow \min. \quad (2.74)$$

Реалізація керування за прогнозною величиною електроспоживання найбільш повно відповідає умовам роботи системи електропостачання, однак вимагає досить складного математичного забезпечення й застосування електронної обчислювальної техніки, що володіє необхідним обсягом пам'яті, високою швидкістю й відповідним набором периферійних пристроїв.



а) - керування за миттєвою нормою електроспоживання; б) - керування за ідеальною нормою; в) - керування по прогнозній величині; г) - керування за методом " рухомого вікна,"; 1 - збір інформації від електролічильників; 2 - передача інформації від каналів зв'язку; 3 - алгебраїчне підсумовування показників витрати електроенергії; 4 - порівняння з вставкою; 5 - вихід керуючого сигналу; 6 - генерація ідеальної норми

Рисунок 2.8 - Способи реалізації функції керування

Керування за способом " рухомого вікна", (рисунок 2.8, г) аналогічно (за винятком часу контрольованого періоду) керуванню за миттєвою нормою. Виключенням є те, що в першому випадку усереднення навантаження проводиться за час  $\Delta t$ , у другому за контрольований інтервал  $T_{ку}$ , що розбивається на ряд контрольованих підінтервалів, по яких відбувається зрушення контрольованого навантаження.

2.3.2 Регулювання графіка навантаження підприємства на основі автоматизованої системи обліку й керування електроспоживанням

Функції технічного обліку, контролю й регулювання електроспоживання промисловими підприємствами, госпрозрахунковими підрозділами й окремими енергоємними агрегатами можуть бути автоматизовані, а саме:

- інформаційно-вимірювальними системами обліку й контролю енергії;
- телемеханічними системами обліку електроенергії;
- автоматизованими системами керування енергопостачанням;
- системами обліку електроенергії на базі засобів мікропроцесорної техніки.

Вибір тої або іншої системи визначається складністю енергогосподарства, складом функцій, розміром припустимих капітальних вкладень і інших факторів при розрахунку техніко-економічної ефективності.

Широкий розвиток отримали автоматизовані системи контролю, регулювання електроспоживання (АСКРЕП) на базі серійних мікро-ЕОМ, доукомплектованих нестандартними платами користувача, що виконують операції зв'язку з об'єктом, первинні перетворювачі інформації й інші необхідні операції.

Промисловість випускає велику кількість модулів, за допомогою яких можна зібрати автоматизовані системи керування всілякого призначення. Для АСКРЕП необхідні модуль уведення дискретних сигналів, що забезпечує прийом імпульсних сигналів від датчиків, що вбудовуються в лічильники, з одночасним прийомом імпульсів від загальної кількості лічильників, що підлягають контролю (32, 64, 144), і модуль керування споживачами-регуляторами, що забезпечує вихід керуючих сигналів для керування виконавчими механізмами регуляторів електроспоживання.

АСКРЕП забезпечує наступні функції:

- 1) облік активної й реактивної енергії за розрахунковий період; контроль нормованих показників електроспоживання, контроль найбільшої активної

потужності за розрахунковий період протягом максимуму навантаження енергосистеми; контроль найбільшої реактивної потужності за розрахунковий період протягом максимуму навантаження енергосистеми й контроль середньої реактивної потужності, споживаної з мережі або генеруємої у мережу за період найменшого активного навантаження за розрахунковий період;

2) технічний облік електричної енергії за виробничо-технологічними принципами (пункт обліку, група споживачів за територіальною ознакою, технологічна ланка); оперативне керування потужністю в частині максимуму навантаження енергосистеми; прогнозування поточних значень активної й реактивної потужності на кінець контрольованого періоду із заданим інтервалом керування; вироблення й видача "порад" енергодиспетчерові (або іншій службовій особі) по керуванню споживачами-регуляторами; автоматична видача керуючих сигналів на відключення споживачів-регуляторів; автоматична печатка документації про електроспоживання.

Крім того, система повинна забезпечувати виконання наступних завдань: контроль функціонування каналів; синхронізацію системного й астрономічного часу; індикацію поточного часу, а також інформації, обробленої при рішенні функціональних завдань, за запитом користувача; реєстрацію дискретної інформації автоматично й за викликом; організацію діалогу користувача із системою за допомогою клавіатури (при цьому повинен забезпечуватися уведення часу й дати, початку й кінця періодів максимуму, значення лімітів); організацію інформаційних зв'язків між аналогічними системами різних рівнів; організацію зв'язку по стандартному телеграфному каналу з енергодиспетчером енергосистеми для одержання інформації про електроспоживання контрольованого об'єкту і автоматизоване уведення обмежень.

Контрольованим параметром у системі є витрата електроенергії як по підприємству, так і по його підрозділах. У зв'язку з тим, що точки контролю просторово роз'єднані, виникає необхідність у каналах зв'язку між ІВУ й



первинними інформаційними перетворювачами, що очікує від АСКРЕП виконання також функцій телевимірювання (рисунок 2.9).

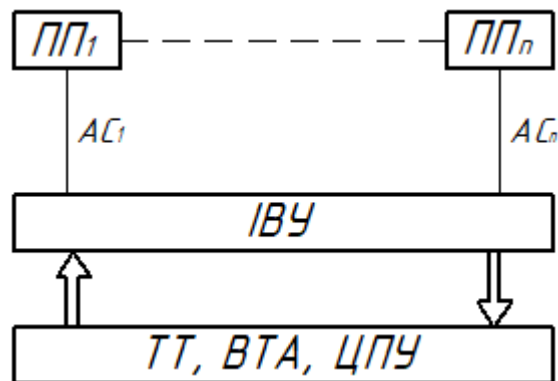


Рисунок 2.9 - Базова структура АСКРЕП

Аналіз систем телевимірювання показав, що при довжині ліній до 5 км економічно доцільно застосування багатопровідних каналів зв'язку; у системах обліку електроенергії для промислових підприємств відстань від первинних перетворювачів (ПП) до ПП не перевищує в більшості випадків

Наявність ряду системних завдань вимагає додаткового введення в АСКРЕП блоку індикації, пульта керування, а також адаптерів зв'язку із цифродрукуючим пристроєм, телеграфним апаратом, блоком керування споживачами-регуляторами й зв'язку з аналогічними системами. Крім того, на етапі налагодження системи доцільно використовувати фотозчитуючий пристрій (ФС), що приводить до необхідності введення адаптера ФС.

Для усунення втрати інформації існуючі мікро-ЕОМ доповнюються зовнішніми запам'ятовувальними пристроями, у якості яких використовується пристрій збору інформації (УСИ). В АСКРЕП входять датчики витрати електроенергії аналогові (ДА) блок формування вхідних сигналів (БФВС), аналого-цифровий перетворювач (АЦП), пристрій збору інформації (УСИ), інформаційно-обчислювальний пристрій (ИВУ), блок індикації (БИ), пульт керування (ПУ), адаптери зв'язку із цифродрукуючою машинкою (ЦПМ), фотосчитувач (ФС), телетайп (ТТ), блок керування споживачами-

регуляторами (БУПР), а також блок зв'язку з аналогічними системами (рисунок 2.10).

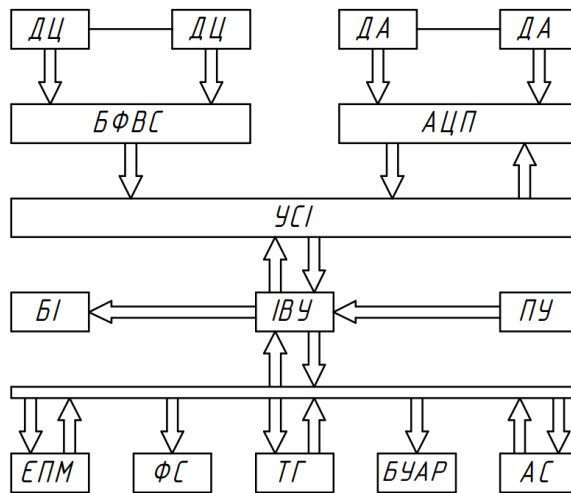


Рисунок 2.10 - Структурна схема АСКРЕП

Складність проектування подібних систем полягає у виборі й оптимізації їхніх структур. Це відноситься, у першу чергу, до систем, що мають велику кількість точок, а також характеризується територіальною роз'єднаністю пунктів обліку. При створенні структур складних систем доцільно використовувати ієрархічний принцип їхньої побудови, що забезпечує реалізацію систем довільної складності на основі однотипних елементів (рисунок 2.11) зв'язок із системою верхнього рівня (СВУ). Основні технічні характеристики АСКРЕП: кількість підключених датчиків, залежить від ємності пристрою збору інформації й може бути 32, 64, 144; відстань від контролера до датчиків не більше 4 км, споживана потужність без периферійних пристроїв - не більше 0,1 кВт, з периферійними пристроями - до 1 кВт.

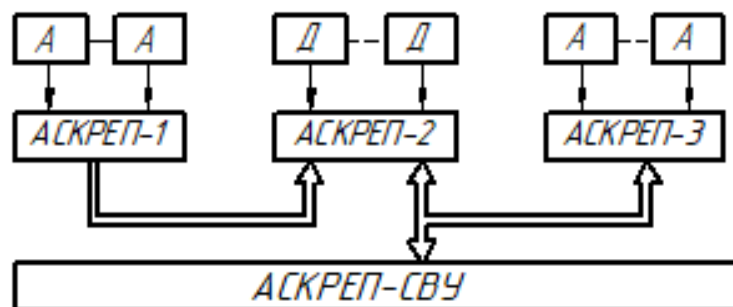


Рисунок 2.11 - Ієрархічна структурна схема АСКРЕП

Основні технічні характеристики АСКРЕП кількість підключених датчиків залежить від ємності пристрою збору інформації й може бути 32, 64, 144; віддаленості контролера.

2.3.3 Оцінка зниження втрат електроенергії в елементах мережі підприємства за рахунок регулювання графіка навантаження

Зниження втрат електроенергії при вирівнюванні графіка навантаження становить за даними застосування автоматизованої системи обліку й керування електроспоживанням для заводу кольорових сплавів:

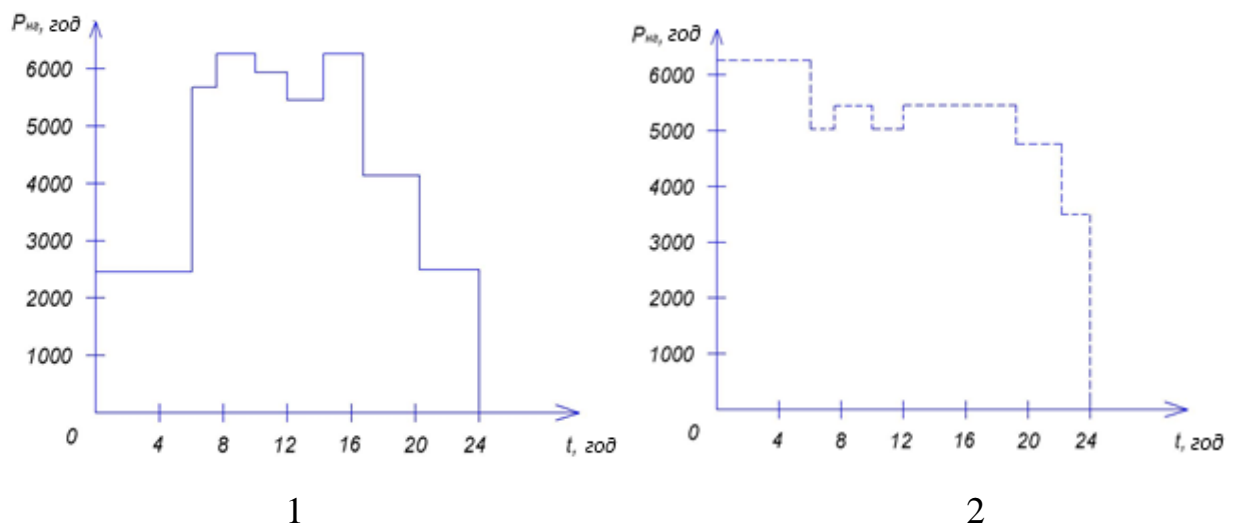
- зниження втрат електроенергії в трансформаторах КТП  $\delta\Delta W_{кмп}=5,8\%$ ;  
 $\delta\Delta W_{кмп}=27,8$  МВт·год,

- зниження втрат електроенергії в КЛ-10 кВ внутрішньозаводської мережі  $\delta\Delta W_{кл}=9\%$ ;  $\delta\Delta W_{кл}=2,96$  МВт·год;

- зниження втрат електроенергії в трансформаторах знижувальної ПС  
 $\delta\Delta W_m=8,5\%$ ;  $\delta\Delta W_m=11,97$  МВт·год.

Сумарне зниження втрат електроенергії при вирівнюванні графіка навантаження складе:  $\delta\Delta W_{\Sigma}=42,7$  МВт·год (6,5%) (рисунок 2.12).

Зниження оплати електроенергії при диференціальному обліку становить 4,5%.



1- графік навантаження до оптимізації; 2 - графік навантаження після оптимізації

Рисунок 2.12 - Графік навантаження підприємства

Графік роботи вирівнюється за рахунок переносу часу роботи печей опору встановлених у дільницях плавки алюмінію та міді. Розрахунковий максимум навантаження знижено з величини  $P_{расчI 0,4} = 5299,47$  кВт до величини  $P_{расчII 0,4} = 4309,5$  кВт.

$$P_{расч\Sigma} = (P_{расчI 0,4} + P_{расчCД}) \cdot K_{pm} \quad (2.75)$$

$$P_{расч\Sigma} = (4309,5 + 2016) \cdot 0,98 = 6198,99 \text{ кВт},$$

$$S_{расч\Sigma} = \frac{P_{расч\Sigma}}{\cos \varphi_k}, \quad (2.76)$$

$$S_{расч\Sigma} = \frac{6198,99}{0,958} = 6470,76 \text{ кВА},$$

$$K_{\text{зr}} = \frac{S_{расч\Sigma}}{2S_{ном.m}}, \quad (2.78)$$

$$K_{\text{зr}} = \frac{6470,76}{2 \cdot 6300} = 0,51$$

$$\Delta W_m = 2(8 \cdot 8760 + 0,51^2 \cdot 46,5 \cdot 3633) \cdot 10^{-3} = 228,04 \text{ МВт}\cdot\text{год}.$$

Різниця між втратами електроенергії в трансформаторах ГПП  $\Delta W_m = 257,77 - 228,04 = 29,7$  МВт·год, що становить 11,5% після оптимізації графіків завантаження.

### **3 ВИЗНАЧЕННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВІД ЗАСТОСУВАННЯ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ЗАХОДІВ**

3.1 Оцінка економічної ефективності компенсації реактивної потужності

Основними споживачами реактивної потужності індуктивного характеру на промислових підприємствах є асинхронні двигуни АД ( 60-65 % загального її споживання), трансформатори, включаючи зварювальні (20-25 %), вентильні перетворювачі, реактори та інші ЕП.

Реактивною потужністю додатково навантажуються живильні й розподільчі мережі підприємства, відповідно збільшується загальне споживання електроенергії. Заходи щодо зниження споживання реактивної потужності: непримушена компенсація (непримушений  $\cos\phi$ ) без застосування спеціальних компенсуючих пристроїв; штучна компенсація, яка називається частіше просто компенсацією із застосуванням КП.

Непримушена компенсація реактивної потужності не вимагає більших матеріальних витрат і повинна проводитися на підприємствах у першу чергу. До непримушеної компенсації відносяться:

- упорядкування й автоматизація технологічного процесу, що ведуть до вирівнювання графіка навантаження й поліпшенню енергетичного режиму встаткування (рівномірне розміщення навантажень по фазах, зсув часу обідніх перерв окремих цехів і ділянок, переклад енергоємних потужних ПЕ на роботу поза годинами максимуму енергосистеми й, навпаки, виведення у ремонт потужних ПЕ у години максимуму в енергосистемі й т.п. );

- створення раціональної схеми електропостачання за рахунок зменшення кількості щаблів трансформації;

- заміна трансформаторів і іншого електроустаткування старих конструкцій на нові, більше зроблені з меншими втратами на перемагнічування;



- заміна малонавантажених трансформаторів й двигунів, трансформаторами й двигунами меншої потужності і їхнє повне завантаження;
- застосування СД замість АД, коли це припустимо за умовами технологічного процесу;
- обмеження тривалості ХХ двигунів і зварювальних трансформаторів, скорочення тривалості й розосередження в часі пуску потужних ЕП;
- поліпшення якості ремонту електродвигунів, зменшення перехідних опорів контактних з'єднань;
- відключення при малому навантаженні (наприклад, у нічний час, у вихідні й святкові дні) частини силових трансформаторів.

Економічний ефект від впровадження компенсації реактивної потужності забезпечується:

- за рахунок зниження втрат активної електроенергії в елементах мережі ( $\delta\Delta W_{\Sigma}=196,6$  МВт·год, дані надані відділом головного енергетика);

Визначаємо економічний ефект від зниження втрат електроенергії, тис.грн.:

$$E_1 = C_1 \delta\Delta W_{\Sigma} , \quad (3.1)$$

$$E_1 = 2,45 \cdot 196,6 = 481,7 \text{ тис.грн.},$$

де  $C_1$  – основний тариф оплати електроенергії,  $C_1 = 0,58$  грн/кВт·год.

- за рахунок зниження оплати за спожиту реактивну електроенергію.

При цьому визначається надбавка до тарифу:

$$C_2 = C_1(\kappa_{\phi}-1) \quad (3.2)$$

де  $\kappa_{\phi} = f(\text{tg}\varphi)$  - коефіцієнт надбавки  $\kappa_{\phi} = 1,22$ .

Для I варіанта (без компенсації РП) надбавка до тарифу.

$$C_2 = 2,45(1,22-1)=0,54 \text{ грн/кВт·год.}$$

Економічний ефект від зниження плати за споживання електроенергії, тис.грн.:

$$E_2 = C_2 \delta \Delta W_{\Sigma} = C_2 (P_M \cdot T_M + \Delta W_{\Sigma})$$

де  $P_M$  – максимальна активна потужність (задається);

$T_M$  – число годин використання максимального навантаження.

$$E_2 = 0,54(7,8556 \cdot 5200 + 670,5) = 22545,3 \text{ тис.грн.}$$

- за рахунок зміни амортизаційних відрахувань та витрат на обслуговування через зниження капітальних витрат при зменшенні номінальної потужності трансформаторів КТП у випадку застосування компенсації реактивної потужності, тис.грн:

$$E_3 = \frac{(K_a + K_o)}{100} \cdot (K_{II} - K_I - K_{ky}), \quad (3.3)$$

де  $K_{II}$  – капітальні вкладення для трансформаторів КТП без компенсації реактивної потужності, тис.грн.;

$K_I$  – капітальні вкладення для трансформаторів КТП при компенсації реактивної потужності, тис.грн.;

$K_a, K_o$  – нормативні коефіцієнти відрахувань на амортизацію й обслуговування, тис.грн.

$$K_o = 0,24; K_a = 0,15;$$

$K_{ky}$  - капітальні витрати на компенсацію реактивної потужності, тис.грн.

Капітальні витрати на спорудження КТП визначаються по формулі:

$$K_{\Sigma} = \sum n_i \cdot K_{кТПi}, \quad (3.4)$$

$K_{КТП1000}$ ,  $K_{КТП630}$ ,  $K_{КТП400}$  згідно прейскуранта цін Ровенського заводу, тис.грн.:

$$K_I = 4 \cdot K_{КТП1000} + 2 \cdot K_{КТП630} + K_{КТП400}, \quad (3.5)$$

$$K_I = (4 \cdot 123,2 + 2 \cdot 113,1 + 1 \cdot 90,18) \cdot 8 = 6464,4 \text{ тис.грн.}$$

$$K_{II} = 2 \cdot K_{КТП1000} + 3 \cdot K_{КТП630} + K_{КТП400} + K_{КТП250}, \quad (3.6)$$

$$K_{II} = (2 \cdot 123,2 + 3 \cdot 113,1 + 90,18 + 50,4) \cdot 8 = 6864,2 \text{ тис.грн.}$$

$$K_{кy} = \sum n_i \cdot C_{кy i}, \quad (3.7)$$

$$K_{кy} = (10 \cdot 30,3 + 2 \cdot 40,1 + 2 \cdot 20,6) \cdot 8 = 3393,6 \text{ тис.грн.}$$

$C_{кy}$  згідно прейскуранта цін на комплектні конденсаторні батареї, тис.грн.

Економічний ефект від зниження величини капітальних витрат, тис.грн.:

$$E_3 = \frac{(15 + 24)}{100} \cdot (6864,2 - 6464,4 - 3393,6) = -1167,7 \text{ тис грн},$$

$$E_{\Sigma} = E_1 + E_2 + E_3 = 481,7 + 22545 - 1167,7 = 21859 \text{ тис грн}.$$

Термін окупності:

$$T_{ок} = \frac{K_{кy} + K_I}{E_{\Sigma}}$$

$$T_{ок} = \frac{3393,6 + 6464,4}{21859} = 0,45 \text{ року або } 5,5 \text{ місяців}$$

3.2 Оцінка економічної ефективності застосування економічного режиму роботи трансформаторів

Економічний режим роботи трансформаторів характеризується мінімальними відносними втратами активної потужності й активної електроенергії при забезпеченні оптимального коефіцієнта завантаження трансформаторів. Втрати активної потужності трансформатора складаються із втрат холостого ходу й навантажувальних втрат (втрат активної потужності в обмотках трансформаторів). Втрати холостого ходу є постійною складовою і не залежать від величини навантаження. Навантажувальні втрати пропорційні квадрату навантаження.

Застосування економічного режиму роботи трансформаторів є організаційним заходом, не пов'язаним з капітальними витратами, тому економічний ефект від впровадження економічного режиму роботи визначається як різниця між втратами електроенергії, виражена в грошовому еквіваленті.:

$$E_{\Sigma 2} = C_1 \delta \Delta W_{\text{кТП}}$$

де -  $\delta \Delta W_{\text{кТП}} = 52,3$  МВт·год, дані надані відділом головного енергетика;  
 $C_1$  – основний тариф оплати електроенергії,  $C_1 = 2,45$  грн/кВт·год.

$$E_{\Sigma 2} = 2,45 \cdot 52,3 = 128,1 \text{ тис.грн.}$$

### 3.3 Оцінка економічної ефективності регулювання електроспоживання підприємства

Функції технічного обліку, контролю й регулювання електроспоживання промисловими підприємствами, госпрозрахунковими підрозділами й окремими енергоємними агрегатами можуть бути автоматизовані, а саме:

- інформаційно-вимірювальними системами обліку й контролю енергії;
- телемеханічними системами обліку електроенергії;
- автоматизованими системами керування енергопостачанням;

- системами обліку електроенергії на базі засобів мікропроцесорної техніки.

Вибір тої або іншої системи визначається складністю енергогосподарства, складом функцій, розміром припустимих капітальних вкладень і інших факторів при розрахунку техніко-економічної ефективності.

Широкий розвиток одержали автоматизовані системи контролю, регулювання електроспоживання (АСКРЕП) на базі серійних мікро-ЕОМ, доукомплектованих нестандартними платами користувача, що виконують операції зв'язку з об'єктом, первинні перетворювачі інформації й інші необхідні операції.

Промисловість випускає велику кількість модулів, за допомогою яких можна зібрати автоматизовані системи керування всілякого призначення. Для АСКРЕП необхідні модуль уведення дискретних сигналів, що забезпечує прийом імпульсних сигналів від датчиків, що вбудовуються в лічильники, з одночасним прийомом імпульсів від загальної кількості лічильників, що підлягають контролю (32, 64, 144), і модуль керування споживачами-регуляторами, що забезпечує вихід керуючих сигналів для керування виконавчими механізмами регуляторів електроспоживання.

Економічний ефект від впровадження автоматизованої системи обліку й керування електроспоживанням забезпечується за рахунок:

- зниження оплати за спожиту електроенергію при використанні диференціального обліку електроенергії у зонах добового графіка навантаження, тис.грн.:

$$E_1 = E_w - \frac{H_a}{100} \cdot K_\Sigma, \quad (3.4)$$

$$E_w = \Delta C \cdot \Delta \delta \cdot \Delta W = \Delta C (P_m \cdot T_m + \Delta W_\Sigma). \quad (3.5)$$

де  $\Delta C = 0,045$ , коефіцієнт зниження тарифу на електроенергію при диференціальному обліку оплати за даними енергопостачальної компанії;



$N_a$  - нормативний коефіцієнт на відрахування, на амортизацію й обслуговування;

$K_{\Sigma} = 825,6$  тис.грн., сумарні капітальні витрати на впровадження автоматизованої системи обліку відповідно до преїскуранта.

- зниження втрат електроенергії в елементах мережі при регулюванні графіка навантаження, тис.грн.:

$$E_2 = C_1 \cdot \delta\Delta W \quad (3.6)$$

де -  $\delta\Delta W = 44$  МВт·год, дані надані відділом головного енергетика;

$C_1$  – основний тариф оплати електроенергії,  $C_1 = 2,45$  грн/кВт·год.

$$E_1 = 0,045 \cdot (7,8556 \cdot 5200 + 670,5) \cdot 0,58 - \frac{24}{100} \cdot 125,6 = 1052,75, \text{ тис.грн.},$$

$$E_2 = 2,45 \cdot 44 = 107,8 \text{ тис.грн.},$$

$$E_{\Sigma 3} = 1052,75 + 107,8 = 1160,55 \text{ тис.грн.},$$

$$T_{ок} = \frac{K_{\Sigma 3}}{E_{\Sigma 3}}$$

$$T_{ок} = \frac{825,6}{1160,55} = 0,71 \text{ року або } 8,4 \text{ місяців.}$$

За рахунок впровадження всіх заходів досягається сумарний економічний ефект:

$$E_p = 21859 + 128,1 + 1160,55 = 23147,7 \text{ тис.грн.}$$

Сумарні витрати:

$$K=825,6+6464,4+3394=17547 \text{ тис грн.}$$

Загальний термін окупності

$$T_{ок} = \frac{17547}{23147,7} = 0,79 \text{ року або } 9,5 \text{ місяців.}$$

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Аналіз небезпечних і шкідливих факторів відділення мідно-цинкових сплавів ТОВ «ЗЗКС»

«Запорізький завод кольорових сплавів» - одне з провідних підприємств в Україні по виробництву кабельно-провідникової продукції, а також вторинних алюмінієвих і мідних сплавів. Площа промислового майданчика – 5,5 гектар. Виробничі площі оснащені будівлями по виготовленню продукції, енергетичними та інженерними комунікаціями.

Підприємство складається з таких виробництв:

- металургійне виробництво;
- виробництво кабелю, дроту й жил;
- загальнозаводське виробництво.

По вказаним виробництвам роботу підприємства забезпечують наступні дільниці й споживачі: плавильна, лиття (для металургійного виробництва); мідної катанки, грубого й тонкого волочіння, скручування жил, кабелю й дроту (для виробництва кабелю, дроту й жил); автотранспортний цех, інструментальний цех, адміністративний корпус, котельня, енергосиловий цех, очисних споруд, лабораторія якості та метрології (для загальнозаводського виробництва).

У виробничому середовищі містяться різні шкідливі речовини. Причини їхнього утворення: недостатня досконалість технологічного процесу, технологічного встаткування й ін.

Один з характерних гігієнічних факторів виробничого середовища це SO<sub>2</sub>, CO і пил.

Ці речовини при недотриманні певних вимог безпеки можуть викликати отруєння.

SO<sub>2</sub> – безбарвний газ, із запахом у повітрі. Його концентрація становить 5 мг/м<sup>3</sup>, МДК – 5 мг/м<sup>3</sup>. При тривалому вдиханні газу може викликати отруєння, може руйнувати слизувату органів дихання й слизувату

очей. CO – безбарвний газ має запах вигару, виникає в результаті неповного згоряння природного газу. Його концентрація в повітрі становить 15 мг/м<sup>3</sup>. МДК – 20 мг/м<sup>3</sup>. При нетривалому впливі викликає токсичне отруєння, вступає в реакцію з гемоглобіном крові, тим самим викликає кисневе голодування. Ще один шкідливий гігієнічний фактор це металевий пил – утворюється в наслідок обробки металу тиском. Його концентрація в повітрі становить 5 г/м<sup>3</sup> МДК – 6 мг/м<sup>3</sup>.

Пил є абразивним матеріалом, завдає шкоди органам зору й органам подиху. Робота пресів, верстатів, кран-балок, транспорту приводить до появи таких небезпечних і шкідливих факторів як шум і вібрація. Рівень шуму в цеху становить 90 дБА (нормативне значення 80 дБА). Рівень вібрації в цеху становить 96 дБ (нормативне значення 92 дБ). У приміщенні цеху є електроустаткування (станції, преса, електропіч та ін.). Приміщення цеху відноситься до категорії "Приміщень підвищеної небезпеки" через наявність у повітрі металевого пилу й електроустановок з металевими корпусами, що мають з'єднання із землею й технологічним устаткуванням, що допускають одночасного дотику з ними.

Також можливі наступні небезпеки:

- можливість дотику до корпусів електроустаткування, що перебуває під напругою й до струмоведучих частин;
- перехід вищої напруги на сторону нижчого;
- перенапруга;
- неправильне оперативне перемикання.

Проходячи через тіло електричний струм, робить термічний (опіки, погрівши посудин і ін.), електролітичний (розпад органічної рідини), механічний (розшарування, розрив тканин організму) і біологічний вплив.

Для робочого місця (плавильника) складена карта праці (таблиця 4.1).

Таблиця 4.1 - Карта умов праці плавильника

	Фактори виробничого середовища та трудового процесу	Нормативне значення	Фактичне значення	III клас: шкідливі та небезпечні умови, характер праці.			Довготривалість дії фактору за зміну %
				I ступень	II ступень	III ступень	
1	Шкідливі хімічні речовини, мг/м <sup>3</sup> 2 клас безпеки Оксид сірки	5	10	2р			92
	3-4 класи безпеки Оксид вуглецю	20	30	1,5р			92
2	Пил переважно фіброгені дії, мг/м <sup>3</sup> металева	6	18	3р			80
3	Вібрація ( <u>загальна</u> ), дБ	92	96	4			80
4	Шум, дБА	80	90		10		80
5	Мікроклімат у приміщенні: -температура повітря, °С						
	-Швидкість руху повітря, м/с	27	35		8		92
	-Відносна волога повітря,%	0,3	0,3				92
	-інфрачервоне випромінення, Вт/м <sup>2</sup>	65 140	55 2300		10	2300	92 92
6	Тяжкість та напруженість праці	Середньої тяжкості (категорія 2б) праця помірної напруженості.					



Важливим гігієнічним фактором, що визначає умови робочого середовища в приміщенні цеху, є мікроклімат, який визначається температурою повітря, вологістю й швидкістю руху повітря, барометричним тиском і інтенсивністю теплового випромінювання від нагрітих поверхонь.

Через наявність печей для нагрівання металу перед обробкою тиском у приміщенні є надлишки тепла більше 23 Дж/м<sup>3</sup>, температура повітря в цеху становить 29 °С, вологість 60 %, швидкість повітря 0,3 м/с.

При тривалому впливі на людину підвищена температура може викликати відчуття дискомфорту, при цьому може виникнути зниження працездатності. Від нагрітого металу, має місце такий гігієнічний фактор як теплове випромінювання.

Інтенсивність теплового випромінювання, як показано в карті умов праці (таблиця 4.1) становить 2300 Вт/м<sup>2</sup> при припустимому (нормованому значенні) 140 Вт/м<sup>2</sup>.

4.2 Технічні рішення по виробничій санітарії відділення мідно-цинкових сплавів

Об'ємно-планувальні рішення.

Згідно СНіП 2.04. 05-88 Санітарні норми і правила проектування промислових підприємств, відділення мідно-цинкових сплавів відноситься до III класу з розміром санітарно-заборонної зони від житлових забудов – 300 м по периметру заводу. Відстань між цехами передбачає можливість вільного проїзду залізничного й автомобільного транспорту на випадок підвозу й вивозу матеріалів і готової продукції. Відстань між будинком ділянки й інших будинків цехів і ділянок витримується у межах не менш 12-18 м.

Будинок ділянки розташовується з підвіреної сторони щодо пануючого напрямку. Обсяг і площа виробничого приміщення витримується відповідно до санітарних норм проектування промислових підприємств (СН 245-71): на одного працюючого - 4,5 м<sup>2</sup> і 15 м<sup>3</sup>.

## Опалення й вентиляція

Залежно від категорії виконуваних робіт з ваги, характеристики виробничих приміщень з надлишку явного тепла й з урахуванням періодів року й вимог ДСТ 12.1. 005-88 визначаються параметри повітряного середовища для робочої зони виробничих приміщень (таблиця 4.2).

Таблиця 4.2 - Значення припустимих параметрів повітряного середовища

Характеристика виробничих приміщень	Категорія робіт	Період року			Температура поза постійними робочими місцями
		на постійних робочих місцях			
		температура, °С	Відносна вологість, %	Швидкість руху повітря, м/с	
теплій період року					
з незначним перевищенням явного тепла (< 23 Дж/м <sup>3</sup> с)	середньої тяжкості	24-27	65-75	0, 3	20
	важка	27	70	0, 5	25
холодний період року					
-«-	середньої ваги	16-23	75	0,4	10
-«-	важка	13-19	75	0,5	8

У виробничих приміщеннях у зимовий час для забезпечення основних і ремонтно-допоміжних робіт передбачається система опалення з теплоносієм у вигляді гарячої води або пари й температурою не більше 130 С. Система опалення компенсує втрати тепла через конструкції, що обгороджують, і нагріває холодне повітря, що надходить у приміщення через ворота, двері й

вентиляційні отвори. Завдяки цьому підтримується припустима температура в приміщенні.

У літній період використовується механічна вентиляція місцевої дії, завдяки якій видаляються шкідливі речовини.

Також для забезпечення необхідних умов у цеху застосовується аерація.

#### Освітлення

Згідно СНіП II-4-79 і з урахуванням розмірів об'єкта розрізнення, характеристики зорової роботи контрасту об'єкта розрізнення із фоном, характеристика фона вибирається освітленість робочих місць. В умовах ділянки для робіт слюсарів-механіків застосовується V розряд зорової роботи (мала точність, розмір об'єкта розрізнення 1-5 мм, контраст – середній, фон – середній) – загальна освітленість для темного й перехідного часу доби складає 150 лк. Природна освітленість при верхньому і бічному висвітленні складе  $I^{IV} = 3\%$ . Для умов Запорізької області, розташованої в IV зоні світлового клімату коефіцієнт природної освітленості визначається по формулі:

$$I^{IV} = I_{н}^{III} \cdot m \cdot c; \quad (4.1)$$

де  $m$  - коефіцієнт світлового клімату, для IV пояса  $m = 0,9$ ;

$c$  - коефіцієнт сонячності клімату,  $c = 0,95$ ;

$$I^{IV} = 3 \cdot 0,9 \cdot 0,95 = 2,57\%.$$

Для робіт на пультах керування з необхідністю контролювати кошти інформації використовують середню точність зорової роботи, з розрядом IV і місцевою освітленістю 300 лк.

Як джерела загального освітлення використовуються газорозрядні малогабаритні лампи типу ДРЛ потужністю 250 Вт і світловим потоком 18700 лм. Застосовуються світильники розсіяного світла типу дзеркальний глибоковипромінювач. При аварійному режимі освітленість становить не менш 5% робочого освітлення, тобто 7,5 лк.

Евакуаційне освітлення забезпечує на підлозі основних проходів, на землі й щаблях настилу 0,5 лк у приміщенні й 0,2 лк на відкритих територіях.

Для висвітлення робіт на печах використовуються стаціонарні освітлювальні установки з дуговими ртутними лампами типу ДРЛ потужністю 250Вт і світловим потоком 11000 лм, а також прожектори з неоновими лампами.

#### Санітарно-побутові приміщення

Допоміжні приміщення відносяться до виробництва I переділу й містять такі групи: санітарно-побутові приміщення, приміщення громадського харчування медичного профілю й керування. До перших приміщень відносяться гардеробні, душові, умивальники, устрої для сушіння одягу. Всі ці служби розташовуються в одному будинку на відстані 300 м від робочих місць що відповідає санітарним вимогам.

Гардеробні обладнані подвійними закритими шафами для робочого й вуличного одягу (закрите зберігання) з розрахунку числа працюючих у всіх змінах. Шафи виготовлені з вологостійких матеріалів і мають розміри 50х50х165 кожний.

Умивальники й душові розташовують у суміжних з гардеробними приміщеннях. Відстань між кранами вмивальників близько 1 м (норма 0,65 м) і стіною до 1,5 м. Умивальники встановлені з розрахунку один на 15 чоловік, а в душових доводиться 5 чоловік на одну сітку.

#### Виробничий шум і виробнича вібрація

Рівень шуму регламентується вимогами ДСТУ 12.1. 005-86 "Шум, загальна вимога безпеки".

Джерелом шумів є робочі механізми, транспорт, працючі преса, пресова лінія, підйомно-розвантажувальні механізми. Рівень шуму в цеху не перевищує нормативне значення 80 дБА, на деяких робочих місцях рівень шуму становить більше норми.

Тривалий вплив може привести до погіршення слуху. Шум послабляє увага працюючого, збільшує видаток енергії, сповільнює швидкість психологічної реакції.

Для захисту від шуму застосовуються як колективні, так і індивідуальні засоби захисту.

До колективних засобів відносять:

- акустичні засоби: звукоізоляція (огороження, кабіни пульти, кожухи, екрани); звукопоглинання (досягається за рахунок переходу коливальної енергії в теплоту внаслідок втрат на тертя у звукопоглиначах). Звуковбирні матеріали й конструкції призначені для поглинання звуку як у приміщенні із джерелом, так і в сусідніх приміщеннях;

- організаційні технічні засоби захисту: своєчасне проведення ПТО; розробка більше зроблених малошумних конструкторських рішень; вивчення процесів шумоутворення у промислових установках;

- боротьба із шумом у джерелі його виникнення - найбільш дійсний спосіб боротьби. Створюються малошумні механічні передачі, розробляються способи зниження шуму в підшипникових вузлах, вентиляторах.

Як індивідуальні засоби захисту, застосовуються вушні вкладиші «беруши» і протишумові навушники. Вони дозволяють знизити рівень шуму на 10-45 дБА.

Параметри вібрації нормуються за ДСТ 12.1. 012-90 і Санітарними нормами вібрації на робочих місцях № 2274-80.

Джерело вібрації пресова лінія, транспорт.

Вібрація викликає порушення фізіологічного й функціонального станів людини. Симптоми вібраційної хвороби проявляються у вигляді головного болю, оніміння пальців рук і ін.

У цеху застосовуються такі засоби захисту:

- вибродемфировання. Цей метод зниження вібрації реалізується шляхом перетворення енергії механічного коливання коливальної системи в

теплову енергію. Це досягається за рахунок використання конструктивних матеріалів з більшим внутрішнім тертям (пластмаси, металорезини).

- віброгасіння. Для динамічного віброгасіння використовується масивний фундамент. При цьому амплітуда коливання підшви фундаменту не перевищує 0, 1-0,2 мм.

Віброізоляція.

Для віброізоляції пресів з вертикальною рушійною силою застосовують віброізоляційні опори у вигляді прокладок або пружин.

- регулювання резонансних режимів досягається шляхом налагодження резонансного значення кутової частоти.

Теплове випромінювання

Джерелом теплового випромінювання є печі нагрівання й нагрітий метал. Тривалий вплив високої температури приводить до втрати значної кількості рідини, а в окремому випадку до теплового удару.

Використовувані засоби й методи захисту підрозділяються на загальні й індивідуальні.

Як загальні засоби захисту використовуються:

- теплоізоляція для попередження опіків при дотику до нагрітої поверхні. Температура поверхні відповідно до ДСТУ 12.1. 005-88ССБТ не перевищує 45 °С;

- місцева вентиляція.

Як засіб індивідуального захисту використовується спецодяг, який виготовлений зі стійкого до теплового випромінювання, міцного, м'якого, повітропроникного матеріалу. Голова від перегріву захищається капелюхом з фетру.

#### 4.3 Заходи щодо техніки безпеки

Безпека виконуваних робіт істотно залежить від дохідливості, швидкості й точності зорової інформації. Тому на підприємстві застосовуються знаки безпеки й сигнальні кольори. Відповідно до ДСТУ 12.4. 026-76 на підприємстві використовуються наступні кольори:



- червоний - позначає протипожежні засоби й абсолютну зупинку. Крім того, червоним кольором пофарбовані місця й устаткування де може виникнути вогненебезпечна або аварійна ситуація;

- жовтим кольором пофарбовані небезпечні зони встаткування, виступи на підлогах, низько розташовані конструкції, а також внутрішньоцеховий транспорт;

- зелений колір використовується для позначення безпечних місць;

- синій колір використовується для інформації;

- білим кольором відзначаються границі проїздів і ін.

Також офарблюються трубопроводи: з водою - зеленим; з паром - червоним; з повітрям - синім; з газом - жовтим; з лугом - фіолетовим; з кислотою - жовтогарячим; рідини горючі й негорючі - коричневим; інші речовини - сірим.

Також використовуються знаки безпеки для попередження працюючих про небезпеку, необхідність використовувати ЗІЗ, а також дозволяють або забороняють певні дії працівників. Мають знаки наступних груп: заборонні, попереджувачі, що пропонують і вказують.

Також для забезпечення безпеки використовується звукова й світлова сигналізація, що сигналізує про початок (закінченні) роботи устаткування, поломці або про небезпеку.

Безпека роботи на устаткуванні забезпечується ще й за рахунок органів керування, які виконані так, щоб користування ними було зручно, не привело до защемлення руки верстатом, що виключають випадковий вплив на них.

Застосовуються запобіжні пристрої, що відключають агрегати й машини з появою в їхній роботі відхилень від заданих параметрів. Блокування здійснює фіксацію робочих частин елемента апарата або схеми в певному положенні й служать для запобігання неправильного керування агрегатом; негайної зупинки агрегату при виникненні небезпеки; недопущення роботи агрегату без запобіжних пристосувань.

Електробезпека забезпечується відповідно до ДСТУ 12.1. 030-61 ССБТ "Електробезпека. Захисне заземлення, занулення". Основними засобами захисту є занулення й заземлення. Вздовж периметру цеху розташований контур заземлення. У відповідності ПУЕ опір заземлюючого пристрою для захисту електроустаткування не повинне перевищувати 4 Ом. У якості заземлювачів обрані стрижні  $d = 15$  мм,  $l = 4$  м на глибині 0,5 м, стрижні з'єднані із собою сталеву смугою 25x4 мм.

Для проводки, що перебуває під напругою більше ніж 1000 В, а також по необхідності застосовуються пристрої, що обгороджують.

Безпека устрою устаткування забезпечується за рахунок того, що конструкція передбачає захист від поразки електричним струмом, включаючи випадки помилкової дії персоналу, а також виключає можливість накопичення зарядів статичної електрики.

Частини устаткування, що рухаються, є джерелом небезпеки.

Небезпечну зону створюють ще відкриті обертові деталі машин, частки абразиву, прес що працює та ін. Небезпечні зони в цеху обгороджені, що виключає випадкове влучення в них працівників. У деяких огороженнях є оглядові вікна для спостереження за процесом.

#### 4.4 Заходи пожежної безпеки

Відповідно до ДСТУ 12.1004-91 будинок відділення мідно-цинкових сплавів можна віднести до категорії Г - виробництва з використанням неспалених речовин і матеріалів у гарячому стані (розпеченому або розплавленому).

Ступінь вогнестійкості виробничих приміщень ділянки визначається СНіП 2.09. 02-85 і залежать від категорії вибухопожежної небезпеки виробництва й поверховості будинку.

До таких приміщень ставиться санітарно-побутовий будинок.

Ступінь вогнестійкості - III, межі вогнестійкості основних будівельних конструкцій: стін й сходових кліток - 2 години, сходові площадки - 1 година, зовнішні стіни з навісних панелей - 0,25 ч.

Для захисту об'єктів від пожежі на заводі є пожежні машини, установки пожежогасіння, вогнегасники, засоби пожежної й охоронно-пожежної сигналізації, пожежний ручний інструмент і пожежний інвентар.

На ділянці є пожежне водопостачання з гідрант-колонками, протипожежні щити з баграми, ломами й іншим інвентарем: бочки з водою, цебра, пожежні ящики для піску.

На ділянці є також первинні засоби пожежогасіння: вогнегасники типу ОХП-10, ОУ-8 у кількості 15 штук. Укомплектовано пожежну добровільну дружину.

Передбачено 4 виходи для евакуації робітників.

Згідно СН 305-77 на ділянці обладнаний молніезахист III категорії, що захищає устаткування тільки від прямих ударів блискавки.

Устрій молніезахисту складається з молнієприймача, установлених на найвищих об'єктах, струмовідводів і заземлювачів.

#### 4.5 Захист від залишкового тепла

Як бачимо з таблиці 4.1 у відділені мідно-цинкових сплавів досить високе надлишкове тепловиділення ( $t=35^{\circ}\text{C}$ ,  $I=2300 \text{ Вт/м}^2$ ).

#### Розрахунок аерації

Аерація - це організована природна вентиляція, що здійснюється в холодних цехах за рахунок вітрового тиску, а в гарячих цехах - - завдяки спільній або роздільній дії гравітаційного й вітрового тисків.

Під напором повітря з навітряної сторони зовнішнє повітря буде надходити через нижні прорізи й, поширюючись у нижній частині будинку, витісняти більше нагріте й забруднене повітря через прорізи в ліхтарі будинку назовні. Таким чином, дія вітру підсилює повітрообмін, що відбувається за рахунок гравітаційного тиску, а в ряді випадків (у жаркі дні) є основним діючим фактором, і який знаходиться:

$$v_1 = \frac{L}{\mu F}, \quad (4.2)$$

де  $F$  – площа нижніх прорізів,  $F = 96 \text{ м}^2$ ;

$L=88,3 \text{ м}^3/\text{год}$  – необхідний повітрообмін.

$$v_1 = \frac{88,3}{0,4 \cdot 96} = 2,3 \text{ м / с.}$$

Втрати тиску в нижніх прорізах:

$$H_1 = \frac{v_1^2 \gamma_u}{2g}, \quad (4.3)$$

$$H_1 = \frac{2,3^2 \cdot 0,037}{2 \cdot 9,81} = 0,1 \text{ кг/см}^3,$$

$$H_\Gamma = h(\gamma_u - \gamma_{cp.n.}), \quad (4.4)$$

$$t_{cp.n} = \frac{t_{p.з} + t_{yx}}{2}, \quad (4.5)$$

$$t_{cp.n} = \frac{35 + 24}{2} = 29,5 \text{ }^\circ\text{C},$$

для  $t_{cp.n.}=29,5 \text{ }^\circ\text{C}$        $\gamma_{cp.n} = 0,033 \text{ кг/м}^3$

$$H_\Gamma = 6,2(0,037 - 0,033) = 0,025 \text{ кг/см}^2,$$

$$H_2 = 0,25 - 0,1 = 0,15 \text{ кг/см}^2,$$

$$F_в = \frac{88,3}{0,4 \sqrt{\frac{0,15 \cdot 2 \cdot 9,81}{0,033}}} = 73,9 \text{ м}^2.$$

Приймаємо  $F_в = 74 \text{ м}^2$ .

## ВИСНОВКИ

У дипломному проекті проведений аналіз можливих енергозберігаючих заходів і заходів щодо підвищення ефективності електропостачання. У результаті аналізу енергозберігаючих заходів були визначені найбільш ефективні: застосування компенсації реактивної потужності, вибір економічного режиму роботи трансформатора, застосування автоматизованої системи обліку й керування електроспоживанням.

На підставі розрахунку електричних навантажень за умовою забезпечення балансу реактивної потужності на границі енергосистема - підприємство, був обраний варіант виконання компенсації реактивної потужності з установкою конденсаторних батарей на стороні 0,4 кВ. Втрати електроенергії в елементах електричної мережі в результаті знизилися на 7,2 %. Економічний ефект від застосування пристроїв, що компенсують, склав 23147,7 тис.грн.

Економічний режим роботи трансформаторів забезпечується за рахунок відключення частини трансформаторів у незавантажені зміни й не пов'язаний з капітальними витратами.

Застосування економічного режиму роботи трансформаторів є організаційним заходом, не пов'язаним з капітальними витратами, тому економічний ефект від впровадження економічного режиму роботи визначався як різниця між втратами електроенергії, вираженими у грошовому еквіваленті.

Економія електроенергії при зменшенні втрат електроенергії в трансформаторі склала 69,38 МВт·год., що дає економічний ефект 170 тис.грн/рік.

Економічний ефект від впровадження автоматизованої системи обліку й керування електроспоживанням забезпечується за рахунок зниження оплати за спожиту електроенергію при використанні диференціального обліку електроенергії у зонах добового графіка навантаження.

Сумарний економічний ефект від застосування енергозберігаючих заходів склав 1653,4 тис.грн..

У магістерській роботі також розроблені заходи, що забезпечують нормативні показники промислової санітарії, техніки безпеки й протипожежної безпеки.



**ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ**

1. Ермилов, А. А. Электроснабжение промышленных предприятий/ А. А. Ермилов. — М.: Энергоатомиздат, 1983. — 208.
2. Рожкова, Л. Д. Электрооборудование станций и подстанций: учебник/Л.Д. Рожкова, В.С.Козулин, Москва. Энергоатомиздат. 1987г.- 246с.
3. Правила улаштування електроустановок. Четверте видання, перероблене й доповнене — Х.: Вид-во «Форт», 2011.— 736 с.
4. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. Гмурман В.Е. — М.: Высш. Школа, 2000. — 480 с.
5. Мілютіна, О.С. Статистичний аналіз графіків навантаження трансформаторної підстанції/ О.С. Мілютіна, С.А. Левченко // Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко – технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП», 2017.- No 16 (1238). – С. 48-53./ Бібліогр.: 10 назв.- ISSN 2079-5459
6. Липкин, Б.Ю. Электроснабжение промышленных предприятий и установок М.: Высшая Школа, 1990. - 363 с
7. Воротницкий, В.Э. Нормирование и снижение потерь электроэнергии в электрических сетях: результаты, проблемы, пути решения. ОАО «НТЦ электроэнергетики».; ВНИИЭ; 2007. – 256с
8. Неклепаев, Б.Н. Электрическая часть станций и подстанций: Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: Учеб. пособие для вузов.Б.Н. Неклепаев, И.П. Крючков – 4-е изд., перераб. и доп. – М.:Энергоатомиздат, 1989.- 608с.
9. Железко Ю.С. Расчет, анализ и нормирование потерь электроэнергии в электрических сетях. - М.: НУ ЭНАС, 2002. - 280с.
10. Идельчик В.И. Электрические системы и сети: Учебник для вузов.- М.: Энергоатомиздат, 1989. – 592с.

11. Техника высоких напряжений. Учебник для студентов электротехнических и электроэнергетических специальностей вузов. Под общей ред. Д.В. Разевига. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Энергия, 1976. – 573с.

12. Железко Ю.С. Выбор мероприятий по снижению потерь электроэнергии в электрических сетях: Руководство для практических расчетов. – М.: Энергоатомиздат, 1989. -176с.

13. Потери электроэнергии в электрических сетях энергосистем / В.Э Воротницкий, Ю.С. Железко, В.Н. Казанцев и др.: Под ред. В.Н. Казанцева. М.: Энергоатомиздат, 1983. – 268с.

14. Цирель Я.А., Поляков В.С. Эксплуатация силовых трансформаторов на электростанциях и в электросетях. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отделение, 1985.-264с.

15. Блок В.М. Электрические сети и системы: Учеб. пособие для электроэнергет. спец. вузов. – М.: Высш. шк., 1986. – 430с.

16. Боровиков В.А. и др. Электрические сети энергетических систем. Учебник для техникумов. Изд. 3-е, переб. Л.: «Энергия», 1977. – 392с.

17. Воротницкий В.Э., Калинкина М.А. Расчет, нормирование и снижение потерь электроэнергии в электрических сетях. Учебно-методическое пособие. 2-е изд. - М.: ИПК госслужбы, 2002. - 57 с.

18. Правила технической эксплуатации и правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. – М.: Атомиздат, 1974 –352с.

19. Фёдоров А.А. «Основы по электроснабжению промышленных предприятий». –М.: Энергия, 1978.

20. Шапиро, И.З. Вероятностно – статистические модели для определения и прогнозирования потерь энергии в распределительных сетях 6-10 кВ.- Известия вузов. Энергетика. 1978 №4, с. 15-20.

21. Ящура, А. И. Система технического обслуживания и ремонта энергетического оборудования. Справочник. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2006. – 504 с.

22. Воротніцкій, В.Е. Програма розрахунку технічних втрат потужності та електроенергії в розподільних мережах 6 - 10 кВ. - Електричні станції, 1999, В.Е. Воротніцкій, С.В. Заслонов, М.А. Калінкіна № 8, с.38-4

23. Справочник по проектированию электрических сетей и электрооборудования / Под ред. Ю.Г. Барыбина и др. – М.: Энергоатомиздат, 1991.– 178 с.

24. Охрана труда в электроустановках: Учебник для вузов / под. ред. Б.А.Князевского. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 336с.

25. ГОСТ12.0.00374(1999) «ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» Введ. 01.01.1976 -85с.

26. Методичні рекомендації до виконання та оформлення дипломних робіт(проектів) першого (бакалаврського) рівня вищої освіти для студентів, які навчаються за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» всіх форм навчання. О. І.Коваленко, Л. Р. Коваленко, Л. Ю. Осипова. – Запоріжжя, ЗДІА, 2017 –60 с.

27. ГКД 341.004.00194 «Нормы технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 6-750 кВ» Введ. - Х.: Видавництво «ІНДУСТРІЯ» 2011.- 345с.

28. Харечко, Ю.В. Основы заземления электрических сетей и электроустановок зданий. 6-е изд., перераб. и доп. – М.: ПТФ МИЭЭ, 2012. – 304 с.

29. ГКД 34.20.507 «Технічна експлуатація електричних станцій і мереж. Правила» Введ 2003 -К.:Вид. Об'єднання енергетичних підприємств «галузевий резервно-інвестиційний фонд розвитку енергетики» - 597с.

30. НПАОП 40.1-1.01-97 «Правила безпечної експлуатації електроустановок»

31. «Вимоги до окремих видів пристроїв» ГОСТ 12.2.007.3-75 (2001) «ССБТ. Электротехнические устройства на напряжение свыше 1000 В. Требования безопасности».