

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОНІКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКИ

Проект допущений до захисту
Зав.кафедрою

_____ І.Л. Лебединський
” _____ ” _____ 2021 р.

МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

на тему: «Розробка системи електропостачання інструментального цеху
промислового підприємства»

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Виконав студент гр. ЕТ.м-01

_____ О.В. Фісенко

Керівник к.т.н., доцент

_____ І.М. Дяговченко

Консультант з економічної частини

к.е.н., доцент

_____ О.М. Маценко

Нормоконтроль ст.викл.

_____ М.А.Никифоров

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОНІКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКИ

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав.кафедрою

_____ І.Л. Лебединський

” _____ ” _____ 2021 р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську роботу

студенту групи ЕТ.м–01

Фісенко Олександр Володимирович

1. Тема роботи: «Розробка системи електропостачання інструментального цеху промислового підприємства» затверджена наказом по університету № __ від “ __ ” _____ 2021 р.

2. Дата здачі роботи: 02.12.2021 р.

3. Початкові дані проекту: схема, паспортні дані обладнання.

4. Зміст пояснювальної записки: розробка системи електропостачання інструментального цеху промислового підприємства, економічний розрахунок затрат на впровадження компенсуючих пристроїв, розділ з охорони праці.

5. Перелік графічного матеріалу: спрощена схема енергосистеми, структурна схема ЕЕС, схема розподілу електроенергії металургійного заводу, Г-подібна схема заміщення трансформатора.

6. Консультанти:

Розділ	Керівник	Завдання видав	Завдання прийняв
Економічна частина	к.е.н., доц. О.М. Маценко		

7. Дата видачі завдання: 13.09.2021 р.

Керівник проекту _____
(підпис)

Завдання прийняв до виконання _____
(підпис)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Найменування етапів дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту
1	Огляд літератури	20.09.2021
2	Вибір трансформатора для підстанції	28.09.2021
3	Компенсація реактивної потужності цеху	10.10.2021
4	Вибір перерізу провідників	17.10.2021
5	Вибір запобіжників	23.10.2021
6	Розахунок заземлення	05.11.2021
7	Охорона праці	15.11.2021
8	Економічна частина	22.11.2021
9	Оформлення графічного матеріалу	27.11.2021
10	Оформлення пояснювальної записки	30.11.2021

Студент-дипломник _____
(підпис)

Керівник проекту _____
(підпис)

РЕФЕРАТ

с.82, рис. 11, табл. 23.

Бібліографічний опис: Фісенко О.В. Розробка системи електропостачання інструментального цеху промислового підприємства [Текст]: робота на здобуття кваліфікаційного ступеня магістра; спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / О.В. Фісенко; керівник І.М. Дяговченко. – Суми: СумДУ, 2021. – 82с.

Ключові слова:

Інструментальний цех, силова електрична мережа, електричні навантаження, цехова трансформаторна підстанція, переріз провідника, компенсація реактивної потужності, автоматичний вимикач, силова розподільча шина, шина розподільча автомагістраль, низька напруга, кабельна лінія.

Инструментальный цех, силовая электрическая сеть, электрические нагрузки, цеховая подстанция, сечение проводника, компенсация реактивной мощности, автоматический выключатель, силовая распределительная шина, шина распределительная автомагистраль, низкое напряжение, кабельная линия.

Tool shop, electric power network, electric loads, shop transformer substation, conductor cross section, short circuit currents, circuit breaker, power distribution bus, distribution highway bus, low voltage, cable line.

Розглянуто режими споживання потужності у мережах промислових споживачів. Описано основні принципи електропостачання промислових підприємств. Наведена класифікація та характеристики електроприймачів промислових підприємств, а також наслідки підвищеного споживання реактивної потужності. Розглянуто способи зниження споживання реактивної потужності приймачами електроенергії. Розраховано пристрій компенсації реактивної потужності.

СПИСОК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

- АВП – автоматичне повторне включення;
- АВР – автоматичне включення резерву;
- АД – асинхронний двигун;
- БК – конденсаторна батарея;
- ДЖ – джерело живлення;
- ДСП – доменна сталеплавильна піч;
- ЕЕ – електрична енергія;
- ЕП – електроприймач;
- ЕС – електрична схема;
- КП – компенсуючих пристрій;
- КРП – компенсація реактивної потужності;
- ЛЕП – лінія електропередач;
- НВ – навантаження;
- ПС – підстанція;
- ПТП – підйомно-транспортний пристрій;
- ПУ – перетворювальна установка;
- РП – розподільчий пристрій;
- СД – синхронний двигун;
- СЕС – система електропостачання;
- СРШ – силова розподільна шафа;
- ЦЕН – центр електричних навантажень;
- ЦТП – цехова трансформаторна підстанція;
- Ч_я – явочна чисельність;
- ШНВ – шафа низьковольтного вводу;
- ШРА – шинопровід розподільний алюмінієвий;
- ЩРО – щиток робочого освітлення

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1. РЕЖИМИ СПОЖИВАННЯ ПОТУЖНОСТІ У МЕРЕЖАХ ПРОМИСЛОВИХ СПОЖИВАЧІВ	10
1.1 Основні принципи електропостачання промислових підприємств.....	10
1.2 Класифікація електроприймачів промислових підприємств	13
1.3 Характеристика ЕП промислових підприємств.....	16
1.4 Особливості роботи мереж змінного струму	21
1.5 Режими роботи електричної мережі промислового підприємства.....	24
1.6 Наслідки підвищеного споживання реактивної потужності	25
1.7 Джерела реактивної потужності.....	26
1.8 Способи компенсації реактивної потужності приймачами електроенергії.....	28
2. ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ ЕКТРОПОСТАЧАННЯ ІНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ЦЕХУ	34
2.1 Вихідні дані для проектування.....	34
2.2 Визначення розрахункових електричних навантажень	35
2.2 Вибір трансформатора для підстанції цеху.....	40
2.3 Компенсація реактивної потужності цеху.....	42
2.4 Г-подібна схема заміщення та струм короткого замикання трансформатора.....	44
2.5 Вибір основного асинхронного двигуна та схеми управління	46
2.6 Механічна характеристика асинхронного двигуна	48
2.7 Визначення перерізу і марки кабелю живлення	48
2.8 Вибір основних кабельних ліній	50
2.8.1 Вибір шино проводів.....	52
2.8.2 Вибір ліній живлення першого рівня системи електропостачання	53

					МР 3.8.141.476 ЕТ.м-01 ПЗ			
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	<i>Розробка системи електропостачання інструментального цеху промислового підприємства</i>	Арк	Аркуш	Аркушів
Розроб.		Фісью О.В.						
Перевірів.		Дяговченко І.М.					6	81
Реценз.						СумДУ ЕТ.м-01		
Н. Контр.		Никифоров М.А.						
Затверд.		Лебединський І.Л.						

2.8 Вибір запобіжників	57
2.9 Розрахунок заземлення цехової трансформаторної підстанції	58
3. ОХОРОНА ПРАЦІ	62
3.1 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів при експлуатації електроустановок	62
3.2 Світлотехнічний розрахунок освітлювальної установки основного приміщення цеху	65
3.2.1 Розміщення світильників	65
3.2.2 Розрахунок освітлення методом коефіцієнта використання	67
4. ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ВИТРАТ НА ВПРОВАДЖЕННЯ КОМПЕНСУЮЧИХ ПРИСТРОЇВ	70
4.1 Визначення нормативної кількості електрослюсарів на технічне обслуговування та ремонт КП	70
4.2 Економічні аспекти завдання компенсації потужності	74
ВИСНОВКИ.....	77
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	79
ДОДАТКИ.....	81

					MP 3.8.141.476 ET.M-01 ПЗ			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>	<i>Фісью О.В.</i>				<i>Розробка системи електропостачання інструментального цеху промислового підприємства</i>	<i>Арк</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевірів.</i>	<i>Дяговченко І.М.</i>						7	81
<i>Реценз.</i>						СумДУ ET.M-01		
<i>Н. Контр.</i>	<i>Никифоров М.А.</i>							
<i>Затверд.</i>	<i>Лебединський І.Л.</i>							

ВСТУП

Однією з найбільш актуальних завдань нашої країни є планомірне проведення у всіх галузях та сферах народного господарства цілеспрямованої енергозберігаючої політики.

В умовах, коли зростають обсяги споживання палива та енергії, різко збільшуються витрати, пов'язані з їх видобутком, виробництвом та транспортуванням, потрібно докорінно збільшити роботу з підвищення ефективності використання енергетичних ресурсів. У зв'язку з цим особливі вимоги пред'являються до підприємств промисловості, які мають висовувати постійно зростаючі вимоги з боку енергопостачальних організацій щодо вдосконалення електроспоживання.

Характерна особливість підприємств промисловості - постійне збільшення обсягів електроспоживання, яке викликане технічним переозброєнням. На зміну малопродуктивної та застарілої техніки та електрообладнання приходить більш потужне, надійне, високопродуктивне та, як правило, більш енергоємне обладнання.

Користування електричною енергією допускається тільки на підставі договору, укладеного між енергопостачальною організацією та споживачем (абонентом), установки якого безпосередньо приєднані до мереж енергопостачальної організації. Такий споживач є основним споживачем енергопостачальної організації. До договору додається Акт розмежування балансової належності електричних мереж та експлуатаційної відповідальності сторін. Договори на користування електричною енергією укладають відповідно до типових договорів. Споживачі, які живляться від основного споживача, називаються субабонентами.

Підприємства повинні підтримувати економічно обґрунтовані значення реактивних потужностей, регламентовані енергопостачальною організацією, а саме:

					MP 3.8.141.476 ПЗ	<i>Арк.</i>
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		8

- у години максимуму активного навантаження енергосистеми оптимальне півгодинне значення реактивної потужності;
- у години мінімуму активного навантаження енергосистеми оптимальне середнє значення реактивної потужності

Для підтримки значень реактивних потужностей необхідно здійснювати компенсацію реактивної потужності (КРП) шляхом встановлення різних типів компенсуючих пристроїв (КП).

Компенсація на підприємствах, а також КРП поза годинами максимуму та мінімуму енергосистеми дозволить:

- знизити втрати активної потужності та енергії у розподільчих мережах;
- знизити завантаження трансформаторів, встановлених на головних понижуючих підстанціях;
- підвищити пропускну здатність ліній (зменшити завантаження працюючих ліній)
- підвищити якість електричної енергії в мережах відповідно до вимог, регламентованих ГОСТом.

					<i>MP 3.8.141.476 ПЗ</i>	Арк.
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		9

1. РЕЖИМИ СПОЖИВАННЯ ПОТУЖНОСТІ У МЕРЕЖАХ ПРОМИСЛОВИХ СПОЖИВАЧІВ

1.1 Основні принципи електропостачання промислових підприємств

Система розподілу та споживання електроенергії, що отримується підприємством від енергосистеми повинна будуватися таким чином, щоб задовольнялися основні вимоги споживачів електричної енергії: надійність, якість та економічність електропостачання.

Надійність електропостачання досягається забезпеченням безперебійної роботи всіх елементів енергосистеми та електричних мереж та застосуванням цілого ряду спеціальних технічних пристроїв (релейного захисту та автоматики, автоматичного включення резерву (АВР), автоматичного повторного включення (АПВ)).

Якість електропостачання визначається підтримкою на заданому рівні значень напруги та частоти, а також обмеженням у мережі рівнів вищих гармонік, несинусоїдальності та несиметрії напруги.

Економічність електропостачання – це забезпечення надійного та якісного живлення споживачів із найменшими затратами.

Основним джерелом живлення електроенергією промислових підприємств є енергосистема. Енергосистема – це сукупність електростанцій, підстанцій, електричних та теплових мереж, а також установок споживачів електроенергії та тепла, пов'язаних спільністю режимів виробництва, розподілу та споживання електричної енергії та тепла.

Об'єднання ізольованих електростанцій в енергетичні системи дає наступні переваги:

					MP 3.8.141.476 ET.m-01 ПЗ			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>	<i>Фісєню О.В.</i>				<i>Розробка системи електропостачання інструментального цеху промислового підприємства</i>	<i>Арк</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевірів.</i>	<i>Дяговченко І.М.</i>						10	81
<i>Реценз.</i>						СумДУ ET.m-01		
<i>Н. Контр.</i>	<i>Никифоров М.А.</i>							
<i>Затверд.</i>	<i>Лебединський І.Л.</i>							

- підвищується надійність електропостачання;
- покращується використання генераторів станцій за рахунок їх повного завантаження;
- зменшується абсолютна кількість резервних агрегатів;
- покращується якість електроенергії (легше забезпечити незмінність величини напруги та частоти);
- можливість узгодження роботи електростанцій різних типів.

Спрощена схема ЕС та структурна схема ЕЕС показані відповідно на рисунку 1.1 та рис 1.2.

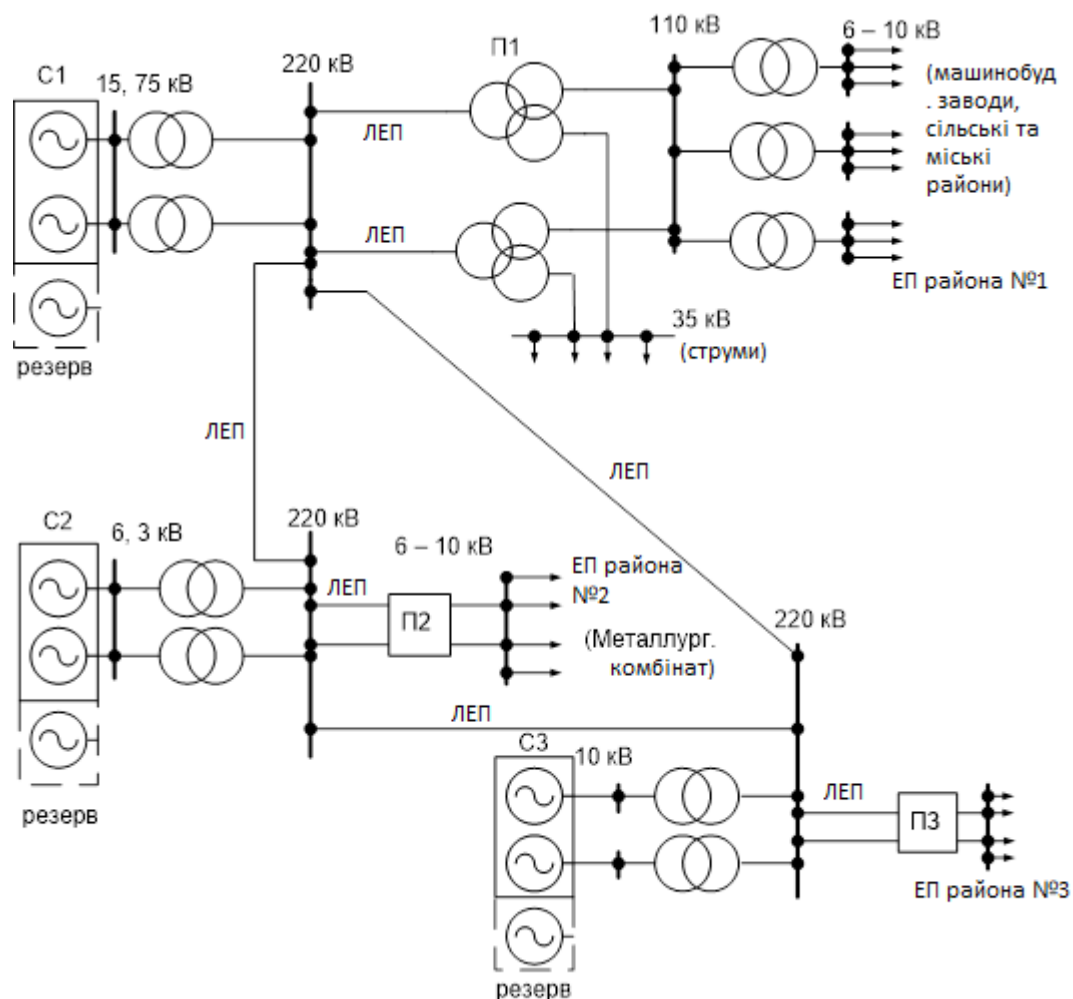


Рисунок 1.1 - Спрощена схема енергосистеми

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

MP 3.8.141.476 ПЗ

Арк.

11

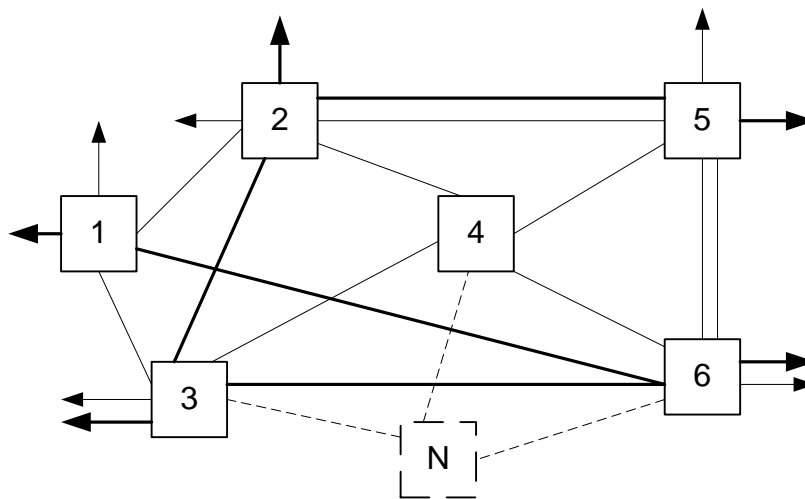


Рисунок 1.2 - Структурна схема ЕЕС

Частина енергосистеми, що включає електростанції, електричні мережі та установки споживачів електроенергії становить електричну систему. Інакше кажучи, електрична система – це електрична частина енергетичної системи.

Електрична мережа – це сукупність електричних ліній та підстанцій на певній території. Електрична мережа підприємства об'єднує понижуючі та перетворювальні підстанції (ПС), розподільні підстанції, лінії електропередачі (ЛЕП), електроприймачі (ЕП) та є продовженням електричної системи.

Електрична лінія – система проводів або кабелів, які призначені для передачі електроенергії від джерела до споживача.

Електростанцією називається промислова установка, призначена безпосередньо для виробництва електроенергії (або також і теплової енергії) шляхом перетворення інших видів енергії (теплової, ядерної, гідравлічної, вітрової тощо).

Прийом, перетворення та передача електроенергії (ЕЕ) відбувається на підстанціях. Електрична ПС – це електроустановка, що складається з силових трансформаторів (або інших перетворювачів ЕЕ, випрямлячів, інверторів тощо), розподільних пристроїв (РП), пристроїв керування, захисту, вимірювання та допоміжних пристроїв.

Розподіл електроенергії, що надходить без трансформації виконується на РП.

Електроприймач (ЕП) являє собою пристрій, в якому ЕЕ використовується у виробничих та побутових цілях.

Джерелами живлення являються: ГРП 10 кВ ТЕЦ; ГПП-1 110/10 кВ и ГПП-2 220/10 кВ. Зв'язок із енергосистемою здійснюється за допомогою ЛЕП 110 кВ и ЛЕП 220 кВ.

Передача електроенергії від джерела живлення до споживачів здійснюється поступово. В даному випадку маємо два ступені:

- *перша ступінь* – передача (розподіл) ЕЕ між цехами відбувається на напрузі 10 кВ;

- *друга ступінь* – розподіл ЕЕ всередині цехів здійснюється на напрузі 10 кВ и 0,4 кВ.

Це спрощена схема. На діючих підприємствах ступенів напруги більше (110, 35, 10, 6, 0,66, 0,4 кВ).

Міжцехові (розподільні) та внутрішньоцехові мережі складають внутрішню систему електропостачання підприємства. Під зовнішнім електропостачанням розуміють частину мережі енергосистеми, що забезпечує подачу ЕЕ на приймальні підстанції підприємства, тобто. живильні лінії. В даному випадку - це ЛЕП 1 і ЛЕП 2. В якості напруги живлення можуть використовуватися різні класи: 35, 110, 154, 220, 330 кВ.

1.2 Класифікація електроприймачів промислових підприємств

Приймачем електричної енергії є електрична частина технологічної установки або механізму, що отримує енергію з мережі та витрачає її на виконання технологічних процесів.

Споживачем електроенергії називається електроприймач (група ЕП), які об'єднані загальним технологічним процесом та розміщені на певній території.

					MP 3.8.141.476 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

Електроприймачі промислових підприємств класифікують за такими ознаками:

1) *за напругою* ЕП поділяються на дві групи – до 1000 В та понад 1000 В;

2) *за родом струму* ЕП поділяються:

а) ЕП змінного (трифазного та однофазного) струму промислової частоти 50 Гц;

б) ЕП змінного струму, що працюють з частотою відмінною від 50 Гц, що живляться від перетворювальних підстанцій та установок;

в) ЕП постійного струму, які живляться від перетворювальних підстанцій та установок;

3) *за потужністю*. Поодинокі потужності окремих ЕП різні (від часток кВт до десятків МВт). Сумарна встановлена потужність підприємств також змінюється у межах. За цією ознакою прийнято підрозділяти підприємства таким чином:

а) підприємства малої потужності (дрібні), $P_{уст}$ до 5 МВт,

в) підприємства середньої потужності, $P_{уст}$ от 5 до 75 МВт,

г) великі підприємства, $P_{уст}$ більше ніж 75 МВт;

4) *за режимами роботи* всі ЕП можна розподілити на групи, для яких передбачається три режими роботи:

а) *тривалий режим роботи*, у якому електричні машини можуть працювати тривалий час, причому температура окремих частин машини вбирається у допустимого значення. У такому режимі працюють насоси, компресори, вентилятори;

б) *повторно-короткочасний режим роботи*, при якому робочі періоди чергуються з періодами пауз, тривалість всього циклу не перевищує 10 хв. При цьому нагрів окремих частин машини не перевищує допустимого значення, а при охолодженні - не досягає температури навколишнього середовища. У цьому режимі працюють електродвигуни кранів, зварювальні агрегати тощо;

в) *короткочасний режим роботи* (двигуни засувки, підйомних механізмів). При цьому режимі робочий період короткий і температура

					MP 3.8.141.476 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

окремих частин машини не досягає установлених значення, а періоди зупинки машини настільки тривалі, що машина встигає охолотитися до температури навколишнього середовища;

5) *за технологічним призначенням*. За спільністю технологічного процесу ЕП поділяють наступним чином:

- силові загальнопромислові установки (компресори, насоси, вентилятори, повітродувки тощо);
- електропривод виробничих механізмів;
- перетворювальні установки;
- електрозварювальне обладнання;
- електротехнологічні установки (електронагрівальні, електровакуумні, індукційні тощо);

б) *за ступенем надійності електропостачання* ПУЕ передбачає три основні категорії:

а) *перша категорія надійності* поєднує такі ЕП, перерва в електропостачанні яких пов'язана з небезпекою для життя людей, значними матеріальними збитками народному господарству, розладом складних технологічних циклів, пошкодженням дорогого обладнання, масовим браком продукції. Перерва в електропостачанні ЕП I-ї категорії допускається лише на час автоматичного введення резервного живлення (АВР). Тому ЕП I-ї категорії повинні забезпечуватись електроенергією від двох незалежних джерел живлення (ДЖ).

З приймачів першої категорії виділяється *особлива (нульова) група*, яка не допускає перерви в електропостачанні. Такі ЕП повинні забезпечуватись електроенергією від 3-х незалежних ДЖ. У разі порушення технологічного режиму при короткочасній перерві в електропостачанні приймачів I-ї категорії, ЕП особливої групи забезпечують безаварійну зупинку технологічного процесу та запобігають можливості вибуху, пожежі або руйнування технологічного обладнання. Потужність третього джерела менша за потужність двох основних ДЖ;

					MP 3.8.141.476 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

б) друга категорія надійності включає ЕП, перерва в електропостачанні яких може призвести до масового недовипуску продукції, простою технологічних механізмів, робітників, промислового транспорту. Перерва в електропостачанні ЕП цієї категорії допускається на час, необхідний для включення резервного живлення силами експлуатаційного персоналу, що включає ремонт та заміну необхідного електрообладнання, але не більше однієї доби. Для живлення ЕП II-ї категорії, як правило, використовують 2 незалежних ДЖ, але може бути використане одне ДЖ за наявності централізованого резерву;

в) третя категорія надійності ЕП, які підходять під зазначені вище характеристики. Електропостачання цих споживачів здійснюється від одного ДЖ.

1.3 Характеристика ЕП промислових підприємств

Розглянемо характерні групи приймачів електричної енергії промислових підприємств.

1. *Силові загальнопромислові установки.* До цієї групи приймачів електричної енергії належать компресори, вентилятори, насоси, підйомно-транспортні пристрої.

Двигуни компресорів, насосів, вентиляторів працюють у тривалому режимі і в залежності від потужності отримують живлення на напрузі від 220 до 10 кВ струмом промислової частоти 50 Гц. Потужність цих установок змінюється у широкому діапазоні від часток одиниці до тисяч кВт. Залежно від призначення та місця встановлення споживачі цієї групи за необхідною надійністю електропостачання можуть належати до першої (частіше) або другої категорії. Наприклад, припинення електропостачання насосної станції на металургійному заводі може вивести з ладу доменну піч і заповдіяти великі збитки. Відключення насосних станцій під час гасіння пожежі взагалі неприпустимо.

					MP 3.8.141.476 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

Двигуни компресорів, насосів, вентиляторів створюють рівномірне та симетричне навантаження по трьох фазах. Коефіцієнт потужності дорівнює 0,8 - 0,85. Для електроприводів великих електроприймачів цієї групи найчастіше застосовують синхронні двигуни, що працюють з випереджаючим коефіцієнтом потужності.

Підйомно-транспортні пристрої (ПТП) працюють у повторно-короткочасному режимі та мають коефіцієнт потужності, що змінюється у ширшому діапазоні від 0,3 до 0,8. Для живлення ПТП застосовується як змінний (50 Гц), так і постійний струм. По безперебійності живлення ці пристрої відносяться до споживачів першої або другої категорій залежно від місця роботи та виду установки.

2. Електропривод виробничих механізмів – двигуни верстатів. Цей вид ЕП зустрічається на всіх підприємствах. Для електроприводу сучасних верстатів використовуються всі види двигунів. Поодинокі потужності двигунів змінюється від часток до сотень кВт, на окремих верстатах може бути й вищою. У верстатах, де потрібні високі швидкості обертання та регулювання швидкості, застосовуються двигуни постійного струму, які отримують живлення від випрямлячів постійного струму.

Живлення двигунів виробничих механізмів здійснюється на напрузі 660 - 380/220 кВ з частотою 50 Гц. Коефіцієнт потужності змінюється у межах залежно від технологічного процесу. За надійністю живлення ця група споживачів належить, як правило, до II-ї категорії.

3. Перетворювальні установки. Для перетворення змінного трифазного струму в постійний струм або трифазного струму промислової частоти 50 Гц трифазний або однофазний струм зниженої, підвищеної або високої частоти на промислових підприємствах широко використовують перетворювальні установки (ПУ). Найчастіше для цих цілей використовуються напівпровідникові перетворювальні установки.

ПУ служать для живлення двигунів низької машин та механізмів, електролітичних ванн, внутрішньозаводського електричного транспорту,

					MP 3.8.141.476 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

електрофільтрів, зварювальних установок постійного струму та ін. Залежно від призначення ПУ мають різні характеристики.

Режим роботи *електролізних установок (для отримання електролітичного алюмінію, міді, свинцю та ін.)* має досить рівномірний та симетричний за фазами графік навантаження. Коефіцієнт потужності електролізних установок дорівнює 0,85 – 0,9. Електролізні установки повинні забезпечуватися електроенергією, як приймачі першої категорії (але допускають короточасні перерви в живленні). У перетворювальних установках змінний струм промислової частоти напругою 6 – 35 кВ перетворюється на постійну напругу 825 В.

ПУ для внутрішньопромислового електричного транспорту (різні види переміщення вантажів) за потужністю відносно невеликі. Діапазон потужностей від сотень кВт до 2000 – 3000 кВт. Коефіцієнт потужності таких установок змінюється не більше 0,7 – 0,8. Навантаження на стороні змінного струму симетричне по фазах, але різко змінюється за рахунок піків струму під час роботи тягових двигунів. Живлення перетворювальних установок проводиться струмом промислової частоти напругою 0,4 – 35 кВ. Дана група електроприймачів повинна забезпечуватися електроенергією як приймачі першої категорії.

4. *Електричні освітлювальні установки* являють собою однофазне навантаження, з одиничною потужністю ЕП не більше 2 кВт. Тому при правильному угрупованні освітлювальних приладів можна досягти порівняно рівномірного навантаження по фазам (з несиметрією навантажень трохи більше 5 – 10%). Характер НВ рівномірний, що змінюється залежно від часу. Коефіцієнт потужності ламп розжарювання дорівнює 1, для газорозрядних ламп – 0,6. Для освітлювальних установок підприємств застосовується напруга промислової частоти від 6 до 220 В.

5. *Електротехнологічні установки.* До цієї групи ЕП належать електричні печі опору, печі та установки індукційного та діелектричного нагріву, дугові електричні печі та печі зі змішаним нагріванням.

					MP 3.8.141.476 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

Печі опору за способом нагрівання діляться на печі непрямого нагріву та печі прямого нагріву. Печі непрямого нагріву живляться переважно від мережі 380 В промислової частоти 50 Гц. Печі випускаються однофазні та трифазні, потужністю від одиниць кВт до кількох тисяч кВт. Коефіцієнт потужності близький 1.

Печі прямої дії виконуються однофазними (частіше) та трифазними потужністю до 3000 кВт. Живлення цих печей здійснюється струмом промислової частоти 50 Гц від мереж 380/220 або через понижуючі трансформатори від мереж вищого класу напруги. Коефіцієнт потужності знаходиться в інтервалі 0,7 – 0,9. Більшість печей опору відносяться до приймачів II-ї категорії за необхідною надійністю електропостачання, але окремі установки можуть належати до споживачів I-ї категорії, залежно від призначення печі.

Печі та установки індукційного та діелектричного нагріву поділяються на плавильні печі та установки для гарту та наскрізного нагріву діелектриків.

Плавильні печі виготовляють зі сталевим сердечником і без сердечника. Печі для плавлення кольорових металів та їх сплавів мають осердя. Живлення цих печей здійснюється струмом промислової частоти 50 Гц напругою 380 і вище залежно від потужності печі. Печі випускаються одно-, дво- та трифазні потужністю до 2000 кВт. Коефіцієнт потужності коливається в межах 0,2 – 0,8 залежно від металу, що розплавляється.

Печі без сердечника застосовують найчастіше для виплавки високоякісної сталі, і рідше – для кольорових металів. Живлення їх може здійснюватися струмом промислової частоти 50 Гц від мереж напругою 380 В і вище, та струмом підвищеної частоти 500 – 10000 Гц від тиристорних перетворювачів.

Печі випускаються потужністю до 4500 кВА, мають дуже низький коефіцієнт потужності від 0,05 до 0,25. Усі плавильні печі відносяться до приймачів EE II-ї категорії за необхідною надійністю електропостачання.

Установки для гартування та наскрізного нагрівання залежно від призначення живляться при частотах від 50 Гц до сотень кГц від тиристорних

					MP 3.8.141.476 ПЗ	Арк.
						19
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

перетворювачів, лампових генераторів. Ці установки відносяться до споживачів другої категорії.

Дугові електричні печі (прямої та непрямої дії). Сталеплавильні печі (ДСП) – печі прямого нагріву живляться струмом промислової частоти напругою 6 – 110 кВ через понижуючі трансформатори. Печі трифазного виконання із одиничною потужністю до 45000кВА. Коефіцієнт потужності становить 0,85 – 0,9. Печі працюють у режимі експлуатаційного короткого замикання, що спричиняє зниження напруги на шинах підстанції. Останнє негативно позначається на роботі інших ЕП, тому спільна робота ДСП та інших ЕП допустима лише у випадку, якщо сумарна потужність печей не перевищує 40% потужності понижувальної підстанції, а при живленні від малопотужної системи 15 – 20%.

Електричні печі зі змішаним нагріванням (руднотермічні печі для одержання фосфору корунду, мідного штейну та інших продуктів). Процеси, які протікають у цих печах дуже енергоємні, тому потужність печей досягає 100 МВА. Коефіцієнт потужності 0,85 – 0,92. Печі відносяться до споживачів другої категорії.

6. *Електрозварювальні установки* як приймачі електроенергії поділяються на установки, що працюють на змінному та постійному струмі.

Електрозварювальні агрегати постійного струму складаються з двигуна змінного струму та зварювального генератора постійного струму. Зварювальне НВ такої установки розподіляється рівномірно по трьох фазах мережі змінного струму, але графік навантаження залишається змінним. Коефіцієнт потужності становить 0,7 – 0,8 при номінальному режимі роботи та знижується до 0,4 при холостому ході установки. Серед зварювальних агрегатів на постійному струмі використовуються випрямляючі установки.

Електрозварювальні установки змінного струму є однофазним навантаженням у вигляді зварювальних трансформаторів для дугового зварювання. Режим роботи цих установок повторно короткочасний з нерівномірним навантаженням по фазах і характеризується низьким

					MP 3.8.141.476 ПЗ	Арк.
						20
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

коефіцієнтом потужності: 0,3 – 0,5 – для дугового зварювання та 0,4 – 0,7 – для контактного зварювання. Зварювальні установки живляться від мереж напругою 380 – 220 В. За надійністю живлення зварювальні установки відносяться до приймачів другої категорії.

1.4 Особливості роботи мереж змінного струму

У загальному випадку електричні кола змінного струму мають активний, індуктивний і ємнісний опір. В електричному навантаженні, що має активний опір, при проходженні синусоїдального струму виділяється активна потужність, що підпорядковується синусоїдальному закону зміни, але з подвійною частотою і має тільки позитивне значення, що означає, що енергія з мережі споживається і в мережу не повертається.

У колах змінного струму з індуктивним опором при проходженні синусоїдального струму потужність також підпорядковується синусоїдальному закону зі зміною за подвійною частотою (рисунок 1.4). Причому вісь синусоїди збігається з віссю абсцис, що забезпечує наявність однакових напівхвиль синусоїди потужності, що мають позитивне та негативне значення, що означає баланс енергії за повний період, що дорівнює 0.

Позитивна напівхвиля потужності на графіку означає, що ця потужність у цей напівперіод споживається з мережі, негативна віддається в мережу.

У колах змінного струму з ємнісним опором при протіканні синусоїдального струму потужність також підкоряються синусоїдальному закону з викладом також за подвійною частотою (рисунок 1.5).

Як і в колах з індуктивністю вісь синусоїди збігається з віссю абсцис. Відмінною особливістю є те, що в ланцюгах з ємністю струм на ємність випереджає напругу.

					MP 3.8.141.476 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

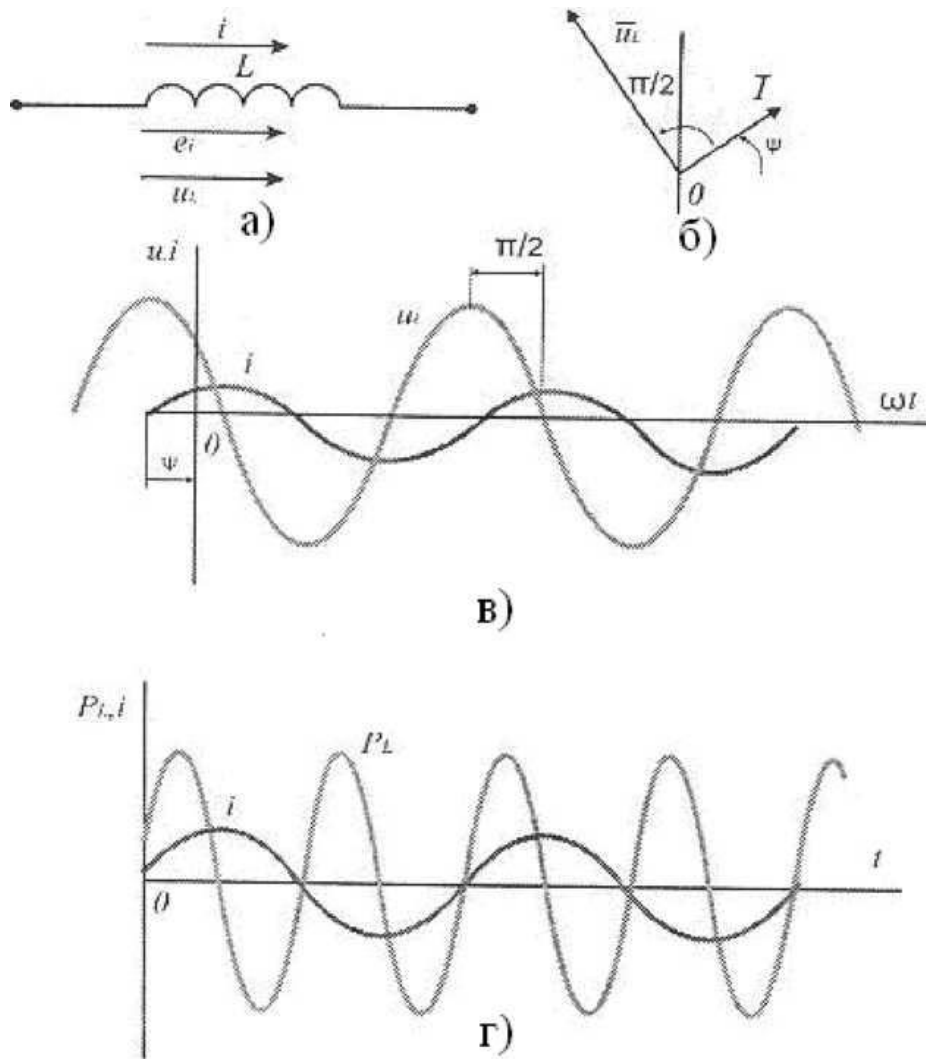


Рисунок 1.4 - Коло змінного струму з індуктивним опором та його векторна діаграма

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

MP 3.8.141.476 ПЗ

Арк.

22

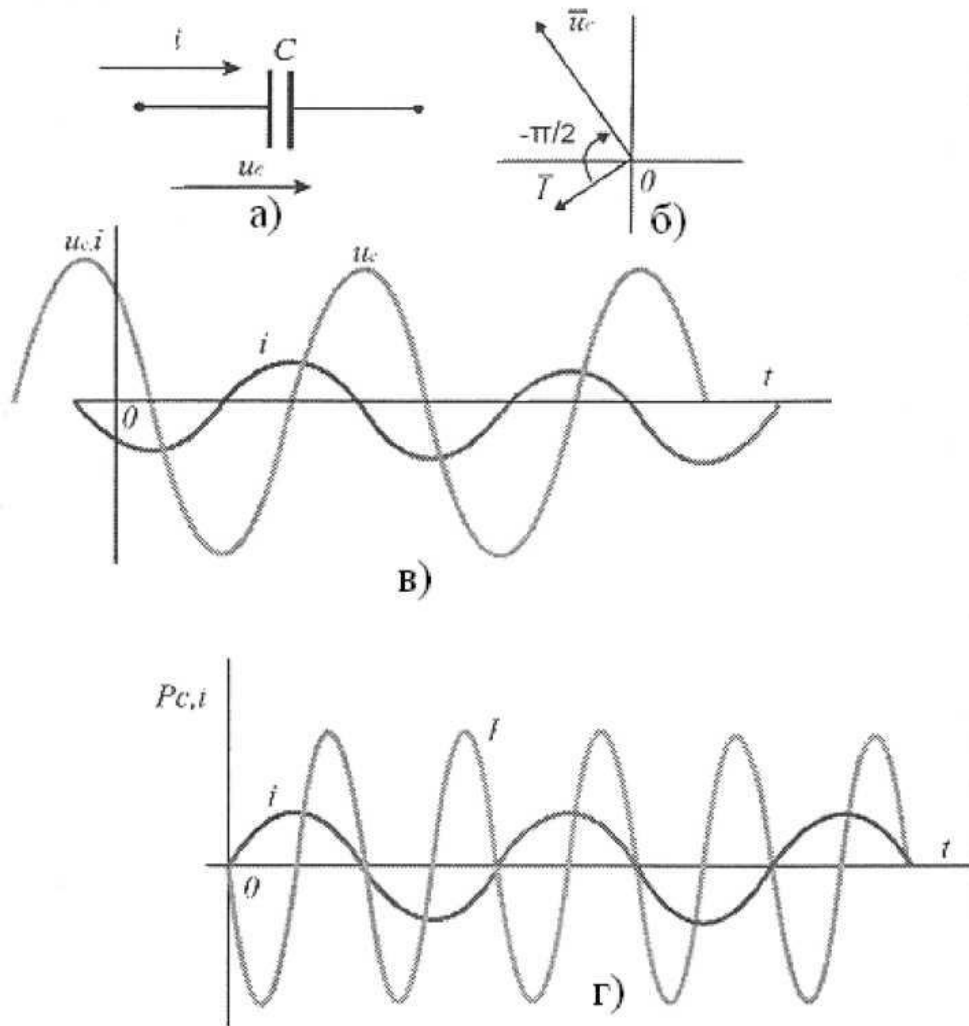


Рисунок 1.5 - Коло змінного струму з ємнісним опором та його векторна діаграма

З вищесказаного випливає, що й у ланцюгах змінного струму з індуктивністю і ємністю виникає реактивна потужність, що циркулює по колу від споживача до джерела, не виконуючи жодної роботи і не витрачаючись. Однак така циркуляція реактивної потужності має низку негативних наслідків.

Слід зауважити, що реактивна потужність, хоча і не робить ніякої роботи, без неї не може бути передана активна потужність ні по ЛЕП, ні між первинною і вторинною обмотками трансформатора і через зазори між статором і ротором електродвигунів. Споживачами реактивної потужності, необхідної для створення магнітних (електростатичних) полів, є як окремі ланки електропередачі, так і такі електроприймачі, які перетворюють

електроенергію на інший вид енергії. Який за принципом своєї дії використовує магнітне поле (асинхронні двигуни (АД)) , перетворювальні пристрої, електроосвітлювальні установки з газорозрядними лампами).

1.5 Режими роботи електричної мережі промислового підприємства

Режим роботи електричної мережі характеризується значеннями показників її стану, які називають параметрами режиму. Усі процеси в електричних системах можна охарактеризувати трьома параметрами: напругою, струмом та потужністю. Але для зручності розрахунків та обліку електроенергії застосовуються й інші параметри, серед них реактивна потужність. Існує кілька визначень реактивної потужності. Наприклад, що реактивна потужність, яка споживається індуктивністю та ємністю, йде на створення магнітного та електричного полів. Індуктивність сприймається як споживач реактивної потужності, а ємність - як його генератор.

Для характеристики потужності кола змінного струму потрібен додатковий показник, що відображає різницю фаз струму та напруги. Добуток показників вольтметра та амперметра в колі змінного струму називається повною потужністю.

Тільки активна потужність може здійснювати роботу і перетворюватися на механічну, теплову, світлову та хімічну енергію. Активна потужність обумовлена перетворенням енергії первинного двигуна, отриманої від природного джерела, в електроенергію. Реактивна потужність не перетворюється на інші види потужності, не вимагає для її виробництва витрати інших видів енергії, не робить роботу і тому умовно називається потужністю.

Аналогія реактивної потужності з активною полягає у схожості аналітичного виразу в тому, що електроприймачі споживають не тільки активну, а й реактивну потужність, оскільки процеси передачі та споживання електроенергії нерозривно пов'язані з виникненням магнітного та електричного

					MP 3.8.141.476 ПЗ	Арк.
						24
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

полів, залежно від активної та реактивної потужності, від напруги і частоти відповідно до статичних характеристик, залежно від втрат в мережах від потоків і активної та реактивної потужності, в однаковому способі вимірювання активної та реактивної потужності. Для розрахунку режимів у колах синусоїдального струму реактивна потужність є дуже зручною характеристикою, яка широко використовується на практиці.

До споживачів реактивної потужності в електроустановках підприємств належать асинхронні двигуни, трансформатори, перетворювачі, зварювальні трансформатори, а також реактори та електричні мережі. Оскільки зі зміною навантаження приймачів реактивна потужність змінюється небагато, основною причиною підвищеного споживання реактивної потужності є вибір приймачів із надмірним запасом потужності, а також робота приймачів у режимі холостого ходу.

1.6 Наслідки підвищеного споживання реактивної потужності

Як було зазначено вище, деякі види електроустановок не можуть працювати без споживання (генерування) реактивної потужності. Проте підвищене споживання реактивної потужності має низку негативних наслідків:

Збільшення перерізу ЛЕП, збільшення втрат у ЛЕП активної потужності, збільшення втрат напруги у ЛЕП. Перетин ЛЕП вибирається, виходячи з економічної щільності струму і допустимого нагрівання струмового навантаження. В обох випадках вибір здійснюється, виходячи з величини робочого струму, значення якого залежить від ступеня завантаженості мережі реактивної потужності.

Як було зазначено раніше, без споживання (генерування) реактивної потужності електроустановки не можуть працювати. Але реактивну потужність не обов'язково отримувати на генераторах електростанції та передавати її системами ЛЕП на великі відстані.

					МР 3.8.141.476 ПЗ	Арк.
						25
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Реактивну потужність доцільніше генерувати при індуктивному характері навантаження та споживати при ємнісному характері навантаження у безпосередній близькості від електроустановки чи підприємства, не випускаючи її за межі цих електроустановок чи підприємств. У цьому випадку у зовнішньому колі протікатиме менший струм при тій же споживаній активній потужності, що дає можливість прийняти менший переріз ЛЕП.

Погіршується використання генераторів та трансформаторів. Асинхронні двигуни і трансформатори споживають реактивну потужність відповідно до їх навантаження незалежно від дефіциту реактивної потужності в енергосистемі. Відповідно до інструктивних вказівок при проектуванні електропостачання підприємств необхідно приймати: $\cos \varphi = 0,95-0,98$.

1.7 Джерела реактивної потужності

Для реактивної потужності прийняті такі поняття як споживання, генерація, передача та втрати. Вважають, якщо струм відстає по фазі від напруги (індуктивний характер навантаження), то реактивна потужність споживається, і якщо струм випереджає напруга (ємнісний характер навантаження) - реактивна потужність генерується. З точки зору генерації та споживання між реактивною та активною потужністю існують значні відмінності. Якщо більшу частину активної потужності споживають приймачі і лише незначна втрачається в елементах мережі та електрообладнанні, то втрати реактивної потужності в елементах мережі можуть бути зрівнянні з реактивною потужністю, що споживається приймачами електроенергії..

Активна потужність генерується електростанціями; джерелами реактивної потужності є як генератори електростанцій, так і синхронні двигуни, повітряні і кабельні лінії, а також додатково встановлюються компенсуючі пристрої (КП) - синхронні компенсатори, батареї конденсаторів та тиристорні джерела реактивної потужності.

					MP 3.8.141.476 ПЗ	Арк.
						26
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Виробництво значної кількості реактивної потужності генераторами електростанцій у багатьох випадках є економічно недоцільним. Великі втрати активної потужності та електроенергії у всіх елементах системи електропостачання змушують, наскільки це технічно та економічно доцільно, наближати джерела реактивної потужності до місць її споживання та зменшувати передачу її від потужних генераторів.

Також, передача значної кількості реактивної потужності через мережу, як правило, не може бути здійснена у зв'язку з недопустимим падінням напруги.

З впливом реактивної потужності на режим напруги пов'язані поняття балансу, резерву та дефіциту реактивної потужності. Під балансом реактивної потужності розуміють рівність генерованої та споживаної потужностей при допустимих відхиленнях напруги у приймачів електроенергії. Найбільше значення реактивної потужності, яка може додатково споживатися в даному вузлі за допустимих відхилень напруги, називають резервом реактивної потужності. Найменше значення реактивної потужності, яка має бути скомпенсована у вузлі, щоб режим напруги увійшов у допустимі межі, називають дефіцитом. Поняття балансу, резерву і дефіциту реактивної потужності умовні, оскільки реактивна потужність, яка може бути передана в розрахунковий вузол, залежить від навантажень інших вузлів, потужності КУ і місця їх встановлення, а також від режиму роботи пристроїв регулювання напруги. Вони є характеристикою вузла лише за певних конкретних умов, за яких їх обчислюють.

Завантаження реактивною потужністю систем промислового електропостачання та трансформаторів зменшує їх пропускну здатність та вимагає збільшення перерізів проводів та кабельних ліній, збільшення номінальної потужності або числа трансформаторів підстанцій тощо.

Заходи, що проводяться з компенсації реактивної потужності, можуть бути розділені на пов'язані зі зниженням споживання реактивної потужності

					MP 3.8.141.476 ПЗ	Арк.
						27
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

приймачами електроенергії та потребують встановлення КП у відповідних точках системи електропостачання.

Значного економічного ефекту досягають при правильному поєднанні різних заходів, які мають бути технічно та економічно обґрунтовані.

Для завдання вибору типу, потужності та місця встановлення КП оптимальне рішення може бути отримане з розрахунку всієї системи електропостачання з одночасним обліком живильних та розподільчих мереж. Через складність загального завдання одним із можливих шляхів її вирішення є розрахунок в енергосистемі з урахуванням мереж промислових підприємств у вигляді еквівалентних характеристик. В результаті розв'язання загального завдання при спільному обліку живильних та розподільчих мереж для системи електропостачання промислового підприємства визначають оптимальне значення реактивної потужності, що передається з енергосистеми в режимах її найбільших та найменших активних навантажень відповідно. Значення визначаються енергопостачальною організацією. При цьому в розрахунках щодо компенсації реактивної потужності в мережах промислових підприємств відпадає необхідність враховувати зовнішню мережу, оскільки її облік повністю відображається заданими значеннями вхідної потужності..

1.8 Способи компенсації реактивної потужності приймачами електроенергії

Заходи щодо зниження споживання реактивної потужності приймачами електроенергії розглядають у першу чергу, оскільки для їх здійснення, як правило, не потрібно значних капітальних витрат. Так як основними споживачами реактивної потужності на промислових підприємствах є асинхронні двигуни, трансформатори та вентильні перетворювачі, то предметом всебічного аналізу мають бути наступні питання:

- заміна малозавантажених асинхронних двигунів двигунами меншої потужності;

					MP 3.8.141.476 ПЗ	Арк.
						28
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- зниження напруги двигунів, що систематично працюють з малим навантаженням;
- обмеження XX асинхронних двигунів;
- заміна або відключення в період малих навантажень трансформаторів;
- застосування доцільнішої силової схеми та системи управління вентилюючого перетворювача.

Для компенсації реактивної потужності, що споживається електроустановками, використовуються синхронні машини, конденсатори та спеціальні статичні джерела реактивної потужності.

Наочне представлення про сутність компенсації реактивної потужності дає векторна діаграма на рис. 1.6. Нехай до компенсації споживач споживає активну потужність P_1 – вектор OB та реактивну потужність Q_1 (від індуктивного навантаження) – вектор BA . Вектор OA представляє повну споживану потужність S_1 .

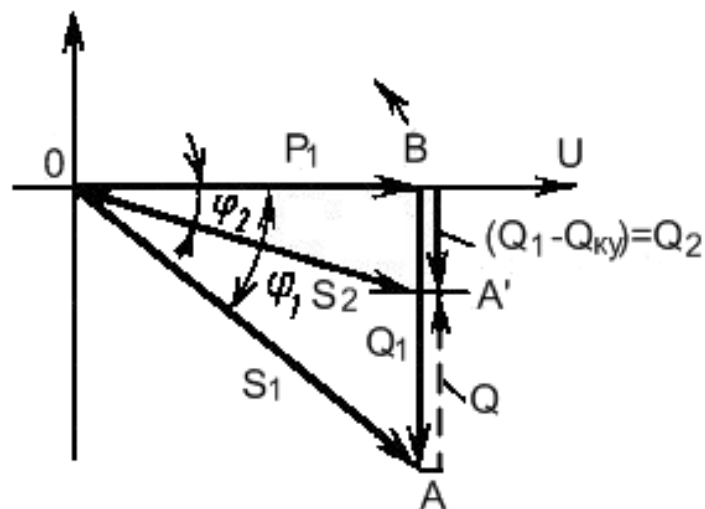


Рисунок 1.6 - Векторна діаграма компенсації реактивної потужності

Якщо ввімкнути паралельно навантаженню компенсуючий пристрій (емне навантаження) $Q_{кп}$ – вектор AA' , то за тієї ж споживаної активної потужності P_1 реактивна потужність споживача зменшується на величину $Q_1 - Q_{кп}$, а повна потужність S_2 стане меншою S_1 . При цьому струм у мережі також знизиться, оскільки $I_2 = S_2 / (\sqrt{3} U) < I_1 = S_1 / (\sqrt{3} U)$. В результаті використання

компенсуючого пристрою (КП) при тому ж перерізі проводів можна підвищити пропускну спроможність мережі активної потужності.

Потужність компенсуючого пристрою $Q_{\text{кп}}$ визначається як різниця між реактивною потужністю навантаження підприємства Q та граничною реактивною потужністю Q_3 , яку може надати підприємству енергосистема за умовами режиму її роботи

$$Q_{\text{кп}} = Q - Q_3 = P(\text{tg}\varphi_p - \text{tg}\varphi_3),$$

де $Q = P \text{tg}\varphi_p$ – розрахункова потужність реактивного навантаження підприємства в точці приєднання до живильної енергосистеми;

Q_3 – потужність, що відповідає встановленим підприємством умов отримання електроенергії від енергосистеми;

P – розрахункова потужність активного навантаження підприємства;

$\text{tg}\varphi_p = Q/P$ – тангенс кута, який відповідає коефіцієнту потужності навантаження підприємства;

$\text{tg}\varphi_3$ – тангенс кута, який відповідає встановленим підприємству умов отримання потужності Q_3 ;

Для компенсації реактивної потужності в мережах загального призначення частіше використовують конденсаторні батареї (БК) та синхронні двигуни (СД). До переваг конденсаторних батарей відносяться простота, невисока вартість, малі питомі втрати активної потужності. Розміщення конденсаторних батарей у мережах напругою до 1000 В і вище має задовольняти умови найбільшого зниження втрат активної потужності від реактивних навантажень.

Основне призначення синхронних двигунів – виконання механічної роботи, отже, є споживачем активної потужності. При перезбудженні СД його електрорушійна сила (ЕРС) більша за напругу мережі, в результаті вектор струму двигуна випереджає вектор напруги, тобто. має ємнісний характер. В результаті СД видає реактивну потужність. При недозбудженні СД є

					MP 3.8.141.476 ПЗ	Арк.
						30
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

споживачем реактивної потужності. Зміна струму збудження дозволяє регулювати генеровану СД реактивну потужність. Витрати на генерацію реактивної потужності визначаються переважно вартістю пов'язаних із цим втрат активної потужності в самому двигуні. Як правило, чим менша номінальна потужність СД та його частота обертання, тим більші ці втрати.

Режим системи промислового електропостачання визначається схемою та параметрами електричної мережі, навантаженнями у вузлах, способами та технічними засобами управління роботою регулюючих та компенсуючих пристроїв. Для забезпечення найбільш економічних режимів системи електропостачання, що характеризуються нерівномірним графіком добового споживання реактивної потужності, доцільним буває регулювання потужності пристроїв, що компенсують. Якщо засобами штучної компенсації є синхронний компенсатор або синхронні двигуни, то керування їх режимами здійснюють за рахунок плавного регулювання збудження. Регулювання генерованої конденсаторами реактивної потужності ведуть ступенями шляхом розподілу батарей на секції. Чим більше таких секцій, тим досконаліше регулювання, але тим більше капітальні витрати на встановлення перемикачів та захисної апаратури. Режим роботи компенсуючих пристроїв встановлюють залежно від таких параметрів, які забезпечують найбільш економічне рішення, при дотриманні допустимих відхилень напруги на затискачах приймачів електроенергії.

Питання вибір способів компенсації вирішується виходячи з техніко-економічних розрахунків. Найчастіше на промислових підприємствах застосовують групову, рідше індивідуальну компенсацію. Оскільки графіки навантаження окремих споживачів, цехів і підприємства не залишаються постійними протягом доби, змінюється і споживана реактивна потужність, як окремих споживачів, і всього підприємства. У зв'язку з цим змінюється і потреба в реактивній потужності, що виробляється конденсаторними батареями.

					MP 3.8.141.476 ПЗ	Арк.
						31
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Отже, робота всіх конденсаторних установок при зменшенні навантаження промислового підприємства не є економічною, оскільки призводить до збільшення втрат. Крім того, робота конденсаторів у нічний час на підприємствах, що працюють у дві зміни, підвищує напругу в мережі, що може призвести до скорочення терміну служби конденсаторів та іншого електроустаткування. Тому для забезпечення економічної роботи конденсаторних батарей і всього промислового підприємства відмовляються від установки нерегульованих конденсаторних батарей і застосовують пристрої, що забезпечують автоматичне регулювання потужності конденсаторних батарей. Регулювання може бути одноступінчастим і багатоступінчастим.

При одноступінчастому регулюванні потужності конденсаторних установок при зменшенні навантаження відбувається автоматичне відключення всієї конденсаторної установки. При багатоступінчастому регулюванні потужності конденсаторної установки відбувається автоматичне включення або відключення окремих батарей або секцій, кожна з яких має свій вмикач.

При виборі потужності компенсуючих пристроїв, способу та щаблів автоматичного регулювання враховують, що дроблення потужності призводить до значного збільшення комутаційної апаратури та ускладнення схеми. Тому, при напругах до 1кВ рекомендують застосовувати комплектні конденсаторні установки серій ККУ-0,38 і ККУ-0,38-Н, що випускаються вітчизняною промисловістю на номінальну потужність 80, 160, 280 квар без керованих секцій і 80(1), 165 (2), 250 (3), 330 (4), 415 (5), 500 (6) квар - з керованими секціями (кількість секцій зазначено в дужках). При напрузі 6 кВ застосовують комплектні конденсаторні установки типу КУ-6 на номінальну потужність 330, 420, 500 квар та при напрузі 10 кВ - установки типу КУ-10 на номінальну потужність 330, 400, 500 квар.

Регулювання потужності конденсаторних установок роблять залежно від напруги в точці приєднання конденсаторів, струму навантаження даного об'єкта, напрямки реактивної потужності в лінії, що зв'язує підприємство із

					MP 3.8.141.476 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

зовнішньою мережею, а також від часу доби. Крім того, застосовують комбіновані схеми, які використовують кілька факторів.

Як параметри регулювання використовують: напруга, струм навантаження, величини, що характеризують реактивне навантаження, час та ін. Автоматичне регулювання потужності конденсаторних установок за напругою в точці мережі, що розглядається, застосовують, коли бажано одночасно забезпечити регулювання напруги. Автоматичне регулювання потужності конденсаторних установок струму навантаження застосовують для приймачів, що мають різко змінний графік споживання реактивної потужності. Найбільш простим і досить ефективним є регулювання часу. У цьому випадку режим роботи системи електропостачання має бути попередньо вивчений.

Висновки по розділу

У даному розділі було розглянуто основні питання щодо електропостачання цеху промислового підприємства, а саме режими споживання потужності у мережах промислових споживачів, класифікація та характеристики електроприймачів.

Особливу увагу було приділено питанню компенсації реактивної потужності. Визначили основні наслідки підвищеного споживання реактивної потужності, джерела реактивної потужності та способи компенсації приймачами електроенергії.

					MP 3.8.141.476 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

2. ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ ЕКТРОПОСТАЧАННЯ ІНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ЦЕХУ

2.1 Вихідні дані для проектування

Основні навантаження цеху задані у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Вихідні дані до проектування

Назва обладнання	Потужність, кВт	Кількість одиниць
Зварювальні автомати	40	4
Кран-балка	11,6	1
Мостовий кран	34,8	1
Компресори	30	2
Вентилятори	4,8	4
Електропечі опору	32	2
Освітлення	0,5	300
Алмазно-розточувальні верстати	3	4
Горизонтально- розточувальні верстати	20	4
Стругальні верстати	30	2
Розточувальні верстати	12	6
Поперечно-стругальні верстати	8	3
Радіально-свердлильні	2	4
Свердлильні верстати	4	3
Заточувальні верстати	1	2
Токарно-револьверні верстати	4,3	8

					MP 3.8.141.476 ET.m-01 ПЗ			
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Фісєно О.В.			Розробка системи електропостачання інструментального цеху промислового підприємства	Арк	Аркуш	Аркушіє
Перевірив.		Дяговченко І.М.					34	81
Реценз.						СумДУ ET.m-01		
Н. Контр.		Никифоров М.А.						
Затверд.		Лебединський І.Л.						

2.2 Визначення розрахункових електричних навантажень

Визначення електричних навантажень є одним з основних етапів проектування. За значенням електричних навантажень вибирають електрообладнання та схему системи електропостачання, визначають втрати потужності і електроенергії. Від правильної оцінки очікуваних навантажень залежать капітальні витрати на систему електропостачання, експлуатаційні витрати, надійність роботи електрообладнання [10].

Для початку розрахунку навантажень необхідно розбити електроприймачі на категорії, тобто об'єднати їх в групи за подібністю режимів роботи і близьким коефіцієнтам використання.

Вихідні дані для розрахунку електричних навантажень проектного цеху з виділенням характерних категорій представлені в таблицях 2.2 – 2.8.

Таблиця 2.2 – Вихідні дані до металорізальних станків

Назва обладнання	$P_{ном}$, кВт	Кількість одиниць	k_e	$\cos \varphi$	$tg \varphi$
Алмазно-розточувальні верстат	3	4	0,2	0,5	1,732
Горизонтально-розточувальні верстати	20	4	0,2	0,5	1,732
Поздовжньо-стругальні верстати	30	2	0,2	0,5	1,732
Розточувальні верстати	12	6	0,2	0,5	1,732
Стругальні верстати	8	3	0,35	0,5	1,732
Радіально-свердлильні	2	4	0,35	0,5	1,732
Вертикально-свердлильні	4	3	0,35	0,5	1,732
Заточувальні верстати	1	2	0,2	0,5	1,732
Токарно-револьверні верстати	4,3	8	0,2	0,5	1,732

Таблиця 2.3 – Вихідні дані до підйомного устаткування

Назва обладнання	$P_{ном}$, кВт	Кількість одиниць	k_g	$\cos \varphi$	$tg \varphi$
Кран-балка	11	1	0,3	0,5	1,732
Мостовий кран	40	1	0,3	0,5	1,732

Таблиця 2.4 – Вихідні дані до зварювальних апаратів

Назва обладнання	$P_{ном}$, кВт	Кількість одиниць	k_g	$\cos \varphi$	$tg \varphi$
Зварювальні автомати	40	4	0,4	0,5	1,732

Таблиця 2.5 – Вихідні дані до вентиляторів, насосів, компресорів

Назва обладнання	$P_{ном}$, кВт	Кількість одиниць	k_g	$\cos \varphi$	$tg \varphi$
Компресори	30	2	0,7	0,7	1,02
Вентилятори	4,8	4	0,7	0,5	1,732

Таблиця 2.6 – Вихідні дані до електротермічного устаткування

Назва обладнання	$P_{ном}$, кВт	Кількість одиниць	k_g	$\cos \varphi$	$tg \varphi$
Електропечі опору	32	2	0,7	0,5	1,732

Таблиця 2.7 – Вихідні дані до освітлення

Назва обладнання	$P_{ном}$, кВт	Кількість одиниць	k_g	$\cos \varphi$	$tg \varphi$
Освітлення	0,5	250	0,9	0,6	1,333

Проведемо розрахунок для підйомного устаткування.

- Сумарні номінальні активні и реактивні потужності кожної характерної категорії визначається за формулою:

					MP 3.8.141.476 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

$$P_{ном} = \sum_{i=1}^n P_{номi}$$

$$Q_{ном} = \sum_{i=1}^n P_{номi} \operatorname{tg} \varphi_i$$

де $P_{номi}$ – активная номінальна потужність електроприймача, кВт;

$P_{ном}$, $Q_{ном}$ – відповідно номінальні активні і реактивні потужності групи електроприймачів, кВт и квар;

$\operatorname{tg} \varphi_i$ - паспортне або довідкове значення коефіцієнта реактивної потужності електроприймача.

$$P_{нои} = \sum_{i=1}^n P_{номi} = 11 + 40 = 51 \text{ кВт}$$

$$Q_{нои} = \sum_{i=1}^n P_{номi} \cdot \operatorname{tg} \phi_s = 19,1 + 69,3 = 88,3 \text{ кВАр}$$

- Середня потужність навантажень кожної категорії електроприймачів визначається за виразом:

$$P_{ср} = \sum_{i=1}^n P_{номi} k_{Bi}$$

$$Q_{ср} = \sum_{i=1}^n Q_{срi} \operatorname{tg} \varphi_i$$

де $P_{ср}$, $Q_{ср}$ – відповідно номінальні активні і реактивні потужності групи електроприймачів, кВт и кВАр.

$$P_{ср} = \sum_{i=1}^n P_{номi} k_{Bi} = 11 \cdot 0,3 + 40 \cdot 0,3 = 15,3$$

$$Q_{ср} = \sum_{i=1}^n Q_{срi} \operatorname{tg} \varphi_i = 19,1 \cdot 0,3 + 69,3 \cdot 0,3 = 26,5$$

					МР 3.8.141.476 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

Середньозважені коефіцієнти використання и потужності розраховуються за формулами:

$$k_{Bcp} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{номі} k_{Bi}}{\sum_{i=1}^n P_{номі}}$$

$$tg \varphi_i = \frac{\sum_{i=1}^n P_{спі} tg \varphi_i}{\sum_{i=1}^n P_{номі}}$$

де k_{Bi} , k_{Bcp} - відповідно коефіцієнти використання і-го електроприймача и середнє зважений коефіцієнт використання;
 $tg \varphi_i$ - середнє зважений коефіцієнт реактивної потужності.

$$k_{Bcp} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{номі} k_{Bi}}{\sum_{i=1}^n P_{номі}} = \frac{15,3}{51,0} = 0,3$$

$$tg \varphi_i = \frac{\sum_{i=1}^n P_{спі} tg \varphi_i}{\sum_{i=1}^n P_{номі}} = \frac{88,3}{51} = 1,732$$

Ефективне число електроприймачів за характерною категорією визначається за формулою:

$$n_{ef} = \frac{\left(\sum_{i=1}^n P_{номі} \right)^2}{\sum_{i=1}^n P_{номі}^2}$$

$$n_{ef} = \frac{\left(\sum_{i=1}^n P_{номі} \right)^2}{\sum_{i=1}^n P_{номі}^2} = \frac{49,2^2}{3968} = 1,6$$

					MP 3.8.141.476 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

На основі розрахованих параметрів і табл. 2.1 представленої в [10] визначається розрахунковий коефіцієнт за формулою:

$$k_p = f(n_{ef}; k_{B.cp})$$

$$k_p = f(n_{ef}; k_{B.cp}) = f(1,6; 0,3) = 2,55$$

Визначаємо розрахункову потужність по кожній характерній категорії за формулою:

$$P_p = P_{cpi} k_p$$

$$Q_p = Q_{cpi} k_p$$

де P_p , Q_p – відповідно розрахункові активна і реактивна потужності, кВт и квар.

$$P_p = P_{cpi} k_p = 15,3 \cdot 2,5 = 38,3 \text{ кВт}$$

$$Q_p = Q_{cpi} k_p = 26,5 \cdot 2,5 = 66,2 \text{ квар}$$

Повне розрахункове навантаження визначається за наступним виразом:

$$S = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}$$

$$S = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{38,3^2 + 66,2^2} = 76,5 \text{ кВА}$$

Розрахунковий струм визначається за виразом:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U}$$

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{76,5}{\sqrt{3} \cdot 380} = 116,2 \text{ А}$$

Тим же шляхом визначаємо для інших груп. Результати розрахунків зведені до таблиці 2.8.

					MP 3.8.141.476 ПЗ	Арк.
						39
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.8 – Результати розрахунків

Група ЕП	$P_{ном}$, кВт	$Q_{ном}$, кВт	$P_{ср}$, кВт	$Q_{ср}$, кВАр	P_p , кВт	Q_p , кВАр	S_p , кВА	I_p , А
Металорізальні верстати	304,4	527,2	67,5	116,9	118,1	204,5	236,2	358,8
Підйомне устаткування	51,0	88,3	15,3	26,5	38,3	66,2	76,5	116,2
Зварювальні апарати	123,9	214,6	49,6	85,8	99,1	171,7	198,2	301,2
Вентилятори, насоси, компресори	79,2	94,5	55,4	66,1	141,4	168,6	220,0	334,3
Електротермічне устаткування	64,0	110,8	44,8	77,6	51,1	88,5	102,1	155,2
Освітлення	125,0	166,6	112,5	150,0	112,5	150,0	187,5	284,8
Разом по цеху	747,5	1202,1	345,1	522,9	560,4	849,5	1017,676	1546,198

2.2 Вибір трансформатора для підстанції цеху

Число та потужність силових трансформаторів істотно впливає на раціональну побудову схем промислового електропостачання. Для зручності експлуатації систем промислового електропостачання необхідне застосування не більше двох – трьох стандартних потужностей трансформаторів. Це полегшує взаємозамінність трансформаторів та веде до скорочення складського резерву.

ПС з кількістю трансформаторів більше двох застосовують лише при належному обґрунтуванні, а також при установленні окремих трансформаторів для живлення силових та освітлювальних навантажень. При трьох і менше

					MP 3.8.141.476 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

трансформаторах їх стандартну номінальну потужність вибирають за формулою:

При виборі кількості та потужності трансформаторів ПС враховуються такі фактори: категорія надійності електропостачання ЕП, розрахункове навантаження, компенсація реактивних навантажень при напрузі до 1 кВ, навантажувальна спроможність трансформаторів в нормальному та післяаварійному режимах, шкал стандартних номінальних потужностей трансформаторів. Двотрансформаторні ПС застосовують при більшості ЕП 1-ї категорії та наявності ЕП особливої групи, а також для живлення ЕП 2-ї категорії надійності.

Якщо приймати коефіцієнти завантаження трансформаторів $\beta_m = 0,75$, то в цьому випадку з урахуванням допустимого перевантаження трансформаторів вимикають частину ЕП 3-ї категорії надійності. Для таких підстанцій також необхідний складський резерв. На час ремонту пошкодженої ПС та, що залишилася в роботі, має забезпечити електропостачання ЕП 1-ї категорії надійності.

ПС з кількістю трансформаторів більше двох застосовують лише при належному обґрунтуванні, а також при установленні окремих трансформаторів для живлення силових та освітлювальних навантажень. При трьох і менше трансформаторах їх стандартну номінальну потужність вибирають за формулою:

$$S_{ном} \geq S_{ном_т.р} = \frac{P_p}{N \cdot \beta_m}$$

де $S_{ном_т.р}$ - повна номінальна розрахункова потужність трансформатора;

P_p - розрахункове активне навантаження;

N - Кількість трансформаторів;

β_m - коефіцієнт завантаження трансформатора.

					МР 3.8.141.476 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

Оскільки значну частину навантаження становлять ЕП 2-ї та 3-ї категорії надійності, плануємо двотрансформаторну підстанцію з можливістю резервування на низькій стороні електропостачання. Приймаємо коефіцієнт завантаження трансформатора: $\beta_m = 0,75$

Потужність трансформатора ТП підбираємо з врахуванням сумарної активної розрахункової потужності P_p , що живляться від даної підстанції:

$$P_p = 861.5 \text{ кВт}$$

Отже, номінальна потужність трансформатора ПС становить:

$$S_{ном} \geq S_{ном.тр.} = \frac{861,5}{2 \cdot 0,75} = 574,3 \text{ кВА}$$

Згідно з розрахунком для ТП вибирається трансформатор типу ТМ-630-10/0,4 каталожні дані якого представлені в таблиці 2.9.

Таблиця 2.9 – Каталожні дані трансформатора

Тип трансформатора	S _{ном} , кВА	Каталожні дані						Розрахункові дані			
		U _{ном} , кВ		U _к ,%	ΔP _к , кВт	ΔP _х , кВт	I _х , %	R _т , Ом	X _т , Ом	ΔQ _х , кВАр	пт
		ВН	НН								
ТМ-630/10	630	10	0.7	5.5	8.5	1.68	2.5	2.14	8.73	15.8	14,5

2.3 Компенсація реактивної потужності цеху

Компенсація реактивної потужності (КРП) є невід'ємною частиною завдання проектування електропостачання промислового підприємства. Компенсація реактивної потужності одночасно з покращенням якості електроенергії в мережах промислових підприємств є одним із основних способів скорочення втрат електроенергії.

Сумарна потужність конденсаторних установок напругою до 1000 В визначається виразом:

					MP 3.8.141.476 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

$$Q_{\Sigma KV} = P_H \cdot (tg \varphi_D - tg \varphi_E),$$

де P_H - розрахункове активне навантаження, кВт;

$tg \varphi_D$ - дійсний коефіцієнт потужності навантаження ($tg \varphi_D = 0,794$ відповідає $\cos \varphi_{cp} = 0,783$);

$tg \varphi_E$ - економічний коефіцієнт потужності, у цьому випадку $tg \varphi_E = 0,42$.

$$Q_{\Sigma KV} = 861500 \cdot (0,794 - 0,42) = 156122 \text{ Вар}$$

Ємність конденсаторної установки визначається виразом:

$$C = \frac{P_H}{\omega U^2} (tg \varphi_D - tg \varphi_E)$$

$$C = \frac{861500}{314 \cdot 400_2} (0,794 - 0,42) = 3106 \text{ мкФ}$$

Із таблиці 7.1 [16] виберемо відповідний тип конденсатора сновні параметри якого представлені в таблиці 2.10.

Таблиця 2.10 - Вибір конденсатора

Тип конденсатора	U_H , кВ	Q_H , кВАр	C_H , мкФ	I_H , А
КМ2-0,38-26-ЗУЗ	0,38	26	572	68,3

Для забезпечення необхідної потужності та ємності компенсуючих конденсаторів встановимо їх паралельно по 2 на фазу. Загальна потужність та ємність визначаються:

$$Q_o = 6 \cdot Q_H = 6 \cdot 26 = 156 \text{ кВАр}$$

$$C_o = 6 \cdot C_H = 6 \cdot 572 = 3432 \text{ мкФ}$$

Визначемо величину $\text{tg } \varphi$ після установки конденсаторної установки:

$$\text{tg } \varphi = \text{tg } \varphi_D - C \cdot \frac{\omega U^2}{P_H} = 0.794 - 0.003432 \cdot \frac{314 \cdot 400^2}{861500} = 0.381$$

2.4 Г-подібна схема заміщення та струм короткого замикання трансформатора

Повний фазний опір короткого замикання знайдемо за формулою:

$$U_{K3\phi} = Z_{K3} \cdot I_{K3},$$

де $U_{K3\phi}$ - фазна напруга короткого замикання;

Z_{K3} - опір короткого замикання;

I_{K3} - струм короткого замикання.

При з'єднанні первинної обмотки «зіркою»:

$$U_{K3\phi} = \frac{U_{k\%} U_H}{\sqrt{3}} = \frac{0.055 \cdot 10000}{\sqrt{3}} = 317.54 \text{ В}$$

$$I_{K3} = \frac{S_H}{U_H \sqrt{3}} = \frac{630000}{\sqrt{3} \cdot 10000} = 36.373 \text{ А}$$

$$Z_{K3} = \frac{U_{K3\phi}}{I_{K3}} = \frac{317.54}{36.373} = 8.73 \text{ Ом}$$

Потужність короткого замикання дорівнює потужності втрат в обмотці трансформатора при номінальному струмі:

$$P_{K3} = 3 \cdot R_{K3} \cdot I_H^2$$

Активний та індуктивний опір обмоток трансформатора при короткому замиканні визначається:

$$R_{K3} = \frac{P_{K3}}{3I_H^2} = \frac{16100}{3 \cdot 36.373^2} = 4.056 \text{ Ом}$$

$$X_{K3} = \sqrt{Z_{K3}^2 - R_{K3}^2} = \sqrt{8.73^2 - 4.056^2} = 7.731 \text{ Ом}$$

					MP 3.8.141.476 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

Визначимо аварійний струм короткого замикання:

$$I_{K3a} = \frac{U}{Z_{K3} \sqrt{3}} = \frac{10000}{8.73 \cdot \sqrt{3}} = 661.341 \text{ A}$$

Визначимо параметри вітки намагнічування трансформатора. У режимі холостого ходу струм невеликий у порівнянні з номінальним режимом роботи. Вважають, що вся потужність, споживана трансформатором, витрачається на компенсацію магнітних втрат у сталі. Отже, для трифазного трансформатора можна записати:

$$R_T = \frac{P_{xx}}{3I_{xx}^2} = \frac{3100}{3 \cdot (0.05 \cdot 36.373)^2} = 312.422 \text{ Ом}$$

де P_{xx} - потужність втрат при досліді короткого замикання;

I_{xx} - струм холостого ходу трансформатора.

Визначимо повний опір контуру намагнічування Z_m :

$$Z_T = \frac{U_H}{\sqrt{3} \cdot I_{xx}} = \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 0.05 \cdot 36.373} = 3174.6 \text{ Ом}$$

Определим сопротивление X_T :

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2} = \sqrt{3174.6^2 - 312.373^2} = 3159 \text{ Ом}$$

Г-подібна схема заміщення трансформатора представлена на рисунку 2.1.

					MP 3.8.141.476 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

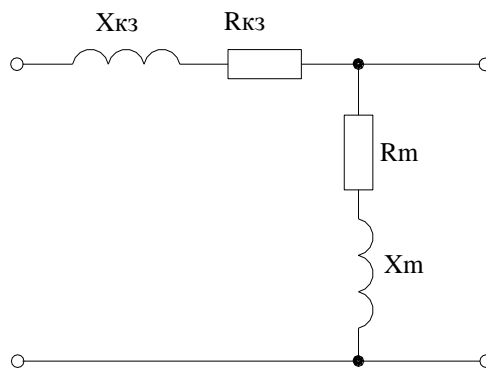


Рисунок 2.1 - Г-подібна схема заміщення трансформатора

2.5 Вибір основного асинхронного двигуна та схеми управління

Вихідні дані та навантажувальна діаграма головного приводу поперечно-стругального верстату представлені в таблиці 2.11 та на рисунку 2.2, відповідно.

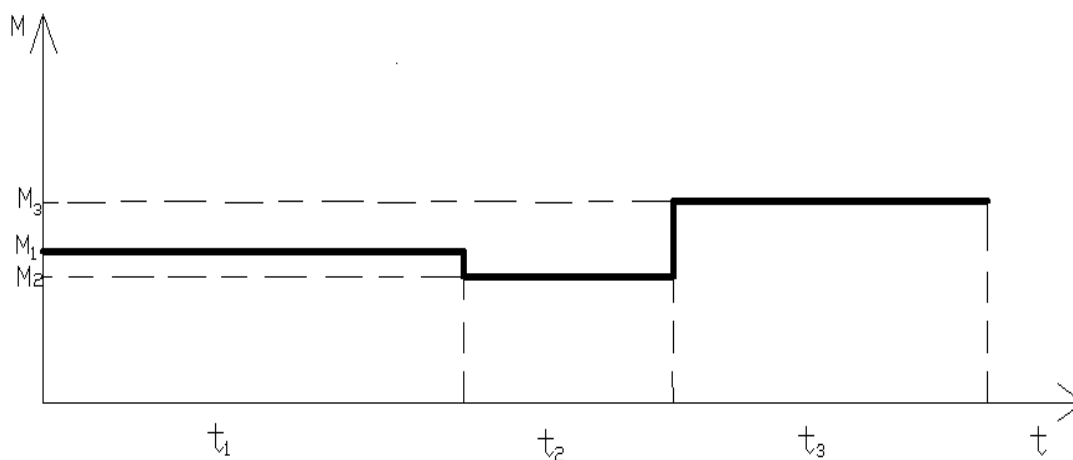


Рисунок 2.2 - Навантажувальна діаграма головного приводу

Таблиця 2.11 - Вихідні дані для вибору двигуна

Головний привід						Допоміжний привід		I	
M_1	M_2	M_3	t_1	t_2	t_3	n_1	P_1		n_1
Нм	Нм	Нм	с	с	с	об/хв	кВт	об/хв	м
60	50	80	200	100	150	1500	1,1	3000	300

Визначимо еквівалентний момент і потужність двигуна за формулами:

$$M_E = \sqrt{\frac{M_1^2 t_1 + M_2^2 t_2 + M_3^2 t_3}{t_1 + t_2 + t_3}} = \sqrt{\frac{60^2 \cdot 200 + 50^2 \cdot 100 + 80^2 \cdot 150}{200 + 100 + 150}} = 65,49 \text{ Нм}$$

$$P = \frac{M_E n_H}{9,55} = \frac{65,49 \cdot 1500}{9,55} = 10290 \text{ Вт},$$

де M_1, M_2, M_3 - момент двигуна у проміжку часу t_1, t_2 и t_3 , Нм;

n_H - номінальна частота обертання двигуна, об/хв;

P – потужність двигуна, Вт.

Відповідно до розрахованих моментів і потужності виберемо двигун 4А132М4У3. Основні параметри основного двигуна представлені в таблиці 2.12.

Таблиця 2.12 - Вибір двигуна

Тип двигуна	P_H , кВт	n_H , об/мин	I_H , А	η_H , %	$\cos \varphi_H$	I_n/I_H	M_n/M_H	M_{\max}/M_H
Синхронна частота обертання 1500 об/хв								
4А132М4У3	11	1460	22	87,5	0,87	7,5	2,2	3

Коефіцієнт перенавантаження потужності: $k_H = \frac{M_{\max}}{M_H} = 3$.

Визначимо відповідне значення максимально допустимого моменту.

Номінальний момент асинхронного двигуна визначається за формулою:

$$M_H = \frac{9,55 P_H}{n_H} = \frac{9,55 \cdot 11000}{1460} = 71,95 \text{ Нм}$$

$$M_{\max} = M_H \cdot k_H = 71,95 \cdot 3 = 215,85 \text{ Нм}$$

За отриманим значенням максимально допустимого моменту можна зробити висновок, що обраний двигун має необхідний запас моменту перевантажувальної здатності.

					MP 3.8.141.476 ПЗ	Арк.
						47
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.6 Механічна характеристика асинхронного двигуна

Побудуємо механічну характеристику двигуна головного приводу (рисунок 2.3) за допомогою спрощеної формули Клосса:

$$M = \frac{2M_1}{\frac{S}{S_1} + \frac{S_1}{S}},$$

де M_1 - критичний момент;

S_1 - критичне ковзання.

$$S_1 = 5 \%$$

$$M_1 = 215.85 \text{ Нм}$$

$$M = \frac{2 \cdot 215.85}{\frac{S}{0.05} + \frac{0.05}{S}} = \frac{431.7}{\frac{S}{0.05} + \frac{0.05}{S}}$$

2.7 Визначення перерізу і марки кабелю живлення

Переріз кабелю живлення розраховується за паспортними даними електродвигунів і довжиною кабелю. Переріз кабелю S_1 визначається за нагріванням при умові:

$$I_{\text{дон}} \geq I_p$$

$$I_p = \frac{P_Y \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi_{cp}}$$

$$P_Y = \frac{P_{1H}}{\eta_{1H}} + \frac{P_{2H}}{\eta_{2H}} + \dots$$

$$Q_Y = \frac{P_{1H}}{\eta_{1H}} \cdot \text{tg} \varphi_{1H} + \frac{P_{2H}}{\eta_{2H}} \cdot \text{tg} \varphi_{2H} + \dots$$

					MP 3.8.141.476 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

$$\cos \varphi_{cp} = \frac{P_Y}{\sqrt{P_Y^2 + Q_Y^2}},$$

де $I_{\text{дон}}$ - допустимий струм кабелю (з каталогу), А;

I_p - розрахунковий струм навантаження, А;

P_Y - встановлена потужність двигунів, кВт;

U – номінальна напруга мережі, В;

$\cos \varphi_{cp}$ - середній коефіцієнт потужності;

P_{1H}, P_{2H} - номінальна потужність двигунів, кВт;

η_{1H}, η_{2H} - номінальний ККД двигунів;

$\varphi_{1H}, \varphi_{2H}$ - номінальний кут зсуву фаз між струмом та напругою двигунів.

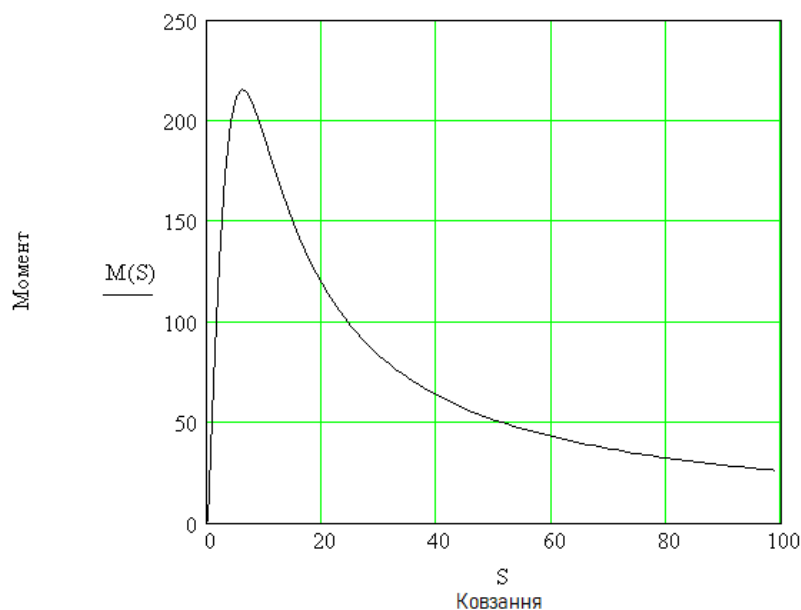


Рисунок 2.3 - Механічна характеристика двигуна головного приводу

$$P_Y = \frac{11000}{0.875} + \frac{1100}{0.775} = 13991 \text{ Вт}$$

$$Q_Y = \frac{11000}{0.875} \cdot 0.566 + \frac{1100}{0.775} \cdot 0.566 = 7929 \text{ ВАр}$$

$$\cos \varphi_{cp} = \frac{13991}{\sqrt{13991^2 + 7929^2}} = 0.87$$

$$I_p = \frac{13991}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0.87} = 24.433 \text{ А}$$

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

MP 3.8.141.476 ПЗ

Арк.

49

Відповідно до розрахованого струму виберемо з таблиці мідний живильний кабель ПВ (гумова ізоляція), трижильний, перетин жили $S_1 = 2,5 \text{ мм}^2$, допустимий струм 25 А.

Визначимо переріз кабелю за заданим значенням допустимої втрати напруги ΔU , %. Для силових електричних мереж $-5\% < \Delta U < 5\%$ (ГОСТ 18109-87).

$$S_2 = \frac{10^5 \cdot \rho \cdot P_y \cdot l}{\Delta U \% \cdot U^2} = \frac{10^2 \cdot 0,02 \cdot 13991 \cdot 300}{5 \cdot 380^2} = 11,627 \text{ мм}^2,$$

де ρ - питомий опір проводу; для міді $\rho = 0,02$ (Ом·мм²/м).

Так як $S_2 > S_1$, то вибираємо інший тип кабелю: ПВ мідний, трижильний, перетин жили $S = 16 \text{ мм}^2$, допустимий тривалий струм 80 А.

2.8 Вибір основних кабельних ліній

Вибір перерізу кабелю при нагріванні в нормальному режимі полягає у визначенні такого мінімального перерізу, який допускає струм не менше розрахункового за формулою:

$$I'_{\text{дон}} \geq I_{\text{норм}}, \text{ А}$$

де, $I_{\text{норм}}$ - розрахунковий струм 2-го рівня електропостачання.

$I'_{\text{дон}}$ - допустимий тривалий струм для кабелів з врахуванням умов прокладення та відхилення параметрів навколишнього середовища від стандартних умов при їх довготривалому характері. Визначається з урахуванням поправкового коефіцієнта $K_{\text{нопр}} = 0,925$, за формулою:

$$I'_{\text{дон}} = K_{\text{пр}} \cdot K_{\text{сер}} \cdot K_{\text{нопр}} \cdot I_{\text{дон}}, \text{ А}$$

					MP 3.8.141.476 ПЗ	Арк.
						50
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для кабелів, прокладених у повітрі всередині або поза цехом, за будь-якої їх кількості поправковий коефіцієнт $K_{np} = 1$.

Вибір перерізу лише за умов допустимого нагрівання призводить до великих втрат активної потужності та значних втрат напруги. Для остаточного вибору перерізу кабелю слід провести всі перевірки відповідно до вимог ПУЕ: за умов допустимої втрати напруги та відповідності до захисного апарата. Форсований режим в електромережах напругою до 1 кВ буває досить рідко.

Втрата напруги в кабелях у відсотках визначається за формулою:

$$\Delta U = \frac{P_p R_{кб} + Q_p X_{кб}}{10 \cdot U_{ном}^2}$$

де P_p та Q_p - максимальні розрахункові активне і реактивне навантаження 2-го рівня електропостачання відповідно, кВт і кВАр;

$R_{кб}$, $X_{кб}$ - активний і реактивний опори кабелю відповідно, Ом;

$U_{ном}$ - номінальна напруга електричної мережі, кВ.

Активний і реактивний опори кабелю обчислюють за формулами:

$$R_{кб} = r_0 \cdot l_{кб}$$

$$X_{кб} = x_0 \cdot l_{кб}$$

де r_0 , x_0 - активний і реактивний питомі опори кабелю відповідно, Ом/км;

$l_{кб}$ - довжина кабелю, км.

Результати розрахунків зводимо в табл. 2.13

					MP 3.8.141.476 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

Таблиця 2.13 – Результати розрахунку вибору кабелів по ШРА 1

Кабель до ПЕ	$S_{ст}$ мм ²	$I_{доп}$, А	I_p , А	ΔU , %	L, м	Тип кабелю
ШРА1	630	762	656	1,131	25	4 х ПВВ 1х630-380
СРШ1	50	250	160	0,487	16	4 х ПВВ 1х50-380
СРШ2	500	697	632	0,399	23	4 х ПВВ 1х500-380
СРШ3	500	697	569	1,04	28	4 х ПВВ 1х500-380
СРШ4	150	416	365	1,04	25	4 х ПВВ 1х150-380

2.8.1 Вибір шинопроводів

Для головних магістралей випускають комплектні шинопроводи типу ШМА з номінальними струмами 1250, 1600, 2500, 3200 та 4000 А; для розподільних магістралей - комплектні шинопроводи типу ШРА з номінальними струмами 100, 250, 400 та 630 А.

Комплектні шинопроводи типу ШМА вибирають за струмом форсованого режиму силового трансформатора, до якого вони приєднані, за формулою [10, 11]:

$$I_{ном.ШМА} \geq I_{\Phi} = K_{рез} \cdot I_{ном.т}$$

де $K_{рез}$ - коефіцієнт резервування, який враховує тривале перевантаження трансформатора залежно від кількості трансформаторів на ПС і умов резервування на стороні НН [10, 11].

Номінальний вторинний струм трансформатора визначається за формулою [10, 11]:

$$I_{ном.т} = \frac{S_{ном.т}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном.т}}$$

де $S_{ном.т}$ - номінальна потужність трансформатора, кВА;

$U_{ном.т}$ - номінальна вторинна напруга трансформатора, кВ.

Втрату напруги в ШМА обчислюємо за формулою [10, 11]:

$$U_{ШМА} = \frac{\sqrt{3} \cdot I_p \cdot l \cdot 100}{U_{ном}} \cdot (r_n \cos \varphi + x_n \sin \varphi)$$

де r_n, x_n - питомі активний та індуктивний опори ШМА, відповідно;

I_p - розрахунковий струм ШМА, А;

l - довжина ШМА, км;

Номінальний струм комплектних шинопроводів типу ШРА $I_{ном.ШРА}$ і вибирають за розрахунковим струмом рівня електропостачання за формулою [10, 11]:

$$I_{ном.ШРА} \geq I_p$$

Площа перерізу та втрата напруги в ШРА визначається так як і для ШМА. Отримані дані заносимо в табл. 2.14 [10, 11].

Таблиця 2.14 – Результати розрахункових шинопроводів по шинних розподільних пунктах

РП	$I_{доп}$	I_p	Тип шинопроводу
ШРА1	1250	656	ШМА4-1250-НУЗ
СРШ1	250	119	ШРА73-250-УЗ
СРШ2	1250	632	ШМА4-1250-НУЗ
СРШ3	630	569	ШРА73-630-УЗ
СРШ4	250	365	ШРА73-250-УЗ

2.8.2 Вибір ліній живлення першого рівня системи електропостачання

В електричних мережах напругою до 1 кВ переріз проводу (кабелю) розподільних мереж завжди вибирають за умовою нагрівання в нормальному

режимі за формулою [10, 11]:

$$I'_{дон} \geq I_p$$

де I_p - розрахунковий струм 1-го рівня електропостачання (номінальний струм електроприймача (ЕП)).

Для остаточного вибору перерізу проводу слід провести всі перевірки відповідно до вимог ПУЕ: за механічною міцністю, допустимою втратою напруги та за умови відповідності захисному апарату. За умовою механічної міцності мінімальний переріз алюмінієвих проводів - 2,5 мм², мідних - 1,5 мм.

Таблиця 2.15 – Результати розрахунку проводів по ШРА 1

	2	3	4	5	6	7
Назва ЕП	$S_{ст}$ мм ²	$I_{дон}$, А	I_p , А	ΔU , %	L, м	Тип кабелю
Токарно-револьверні верстати (43...50)	2,5	19	13,674	0,237	6	АВВГ 4x2,5-380
Токарно-револьверні верстати (43...50)	2,5	19	13,674	0,237	6	АВВГ 4x2,5-380
Токарно-револьверні верстати (43...50)	2,5	19	13,674	0,237	6	АВВГ 4x2,5-380
Токарно-револьверні верстати (43...50)	2,5	19	13,674	0,079	2	АВВГ 4x2,5-380
Токарно-револьверні верстати (43...50)	2,5	19	13,674	0,079	2	АВВГ 4x2,5-380
Токарно-револьверні верстати (43...50)	2,5	19	13,674	0,079	2	АВВГ 4x2,5-380
Токарно-револьверні верстати (43...50)	2,5	19	13,674	0,079	2	АВВГ 4x2,5-380
Токарно-револьверні верстати (43...50)	2,5	19	13,674	0,079	2	АВВГ 4x2,5-380
Електропечі опору(37,38)1 фаза	50	135	97,238	0,024	1,5	АВВГ 2x50-380
Електропечі опору(37,38)1 фаза	50	135	97,238	0,024	1,5	АВВГ 2x50-380
Алмазно-розточувальні верстати (39,40)	2,5	19	7,597	0,033	1,5	АВВГ 4x2,5-380
Алмазно-розточувальні верстат (39,40)	2,5	19	7,597	0,033	1,5	АВВГ 4x2,5-380
Алмазно-розточувальні верстат (27...29)	10	42	30,387	0,225	10	АВВГ 4x10-380

Продовження табл. 2.15

Поздовжньо-стругальні верстати (27...29)	10	42	30,387	0,225	10	АВВГ 4x10-380
Поздовжньо-стругальні верстати (27...29)	10	42	30,387	0,225	10	АВВГ 4x10-380
Вертикально-свердлильні (34...36)	2,5	21	12,155	0,281	8	АВВГ 4x2,5-380
Вертикально-свердлильні (34...36)	2,5	21	12,155	0,281	8	АВВГ 4x2,5-380
Вертикально-свердлильні (34...36)	2,5	21	12,155	0,281	8	АВВГ 4x2,5-380
Розточувальні верстати (41, 42)	2,5	21	4,558	0,020	1,5	АВВГ 4x2,5-380
Розточувальні верстати (41, 42)	2,5	21	4,558	0,020	1,5	АВВГ 4x2,5-380
Розточувальні верстати (21...26)	10	60	42,542	0,378	12	АВВГ 4x10-380
Розточувальні верстати (21...26)	10	60	42,542	0,378	12	АВВГ 4x10-380
Розточувальні верстати (21...26)	10	60	42,542	0,378	12	АВВГ 4x10-380
Розточувальні верстати (21...26)	10	60	42,542	0,378	12	АВВГ 4x10-380
Розточувальні верстати (21...26)	10	60	42,542	0,378	12	АВВГ 4x10-380
Розточувальні верстати (21...26)	10	60	42,542	0,378	12	АВВГ 4x10-380
Радіально-свердлильні (30...33) 1 фаза	2,5	21	9,116	0,211	8	АВВГ 4x2,5-380
Радіально-свердлильні (30...33) 1 фаза	2,5	21	9,116	0,211	8	АВВГ 4x2,5-380
Радіально-свердлильні (30...33) 1 фаза	2,5	21	9,116	0,211	8	АВВГ 2x2,5-380
Радіально-свердлильні (30...33) 1 фаза	2,5	21	9,116	0,211	8	АВВГ 2x2,5-380

Таблиця 2.16 – Результати розрахунку параметрів проводів по СРШ1

Назва ЕП	$S_{ст}$ мм ²	$I_{дон}$, А	I_p , А	ΔU , %	L, м	Тип кабелю
Алмазно-розточувальні верстат (11,12)	2,5	19	7,597	0,033	1,5	АВВГ 4x2,5-380
Алмазно-розточувальні верстат (11,12)	2,5	19	7,597	0,110	5	АВВГ 4x2,5-380
Мостовий кран(20)	25	75	66,85	0,520	10	АВВГ 4x25-380

Арк.

MP 3.8.141.476 ПЗ

55

Змін. Арк. Не докум. Підпис Дата

Таблиця 2.17 – Результати розрахунку параметрів проводів по СРШ2

Назва ЕП	$S_{ст}$ мм2	$I_{доп}$, А	I_p , А	ΔU , %	L, м	Тип кабелю
Горизонтально-розточувальні верстати (13...16)	35	90	75,96	0,348	20	АВВГ 4х35-380
Горизонтально-розточувальні верстати (13...16)	35	90	75,96	0,278	16	АВВГ 4х35-380
Горизонтально-розточувальні верстати (13...16)	35	90	75,96	0,278	16	АВВГ 4х35-380
Горизонтально-розточувальні верстати (13...16)	35	90	75,96	0,348	20	АВВГ 4х35-380

Таблиця 2.18 – Результати розрахунку параметрів проводів по СРШ3

Назва ЕП	$S_{ст}$ мм2	$I_{доп}$, А	I_p , А	ΔU , %	L, м	Тип кабелю
Вентилятори(5...8)	2,5	19	10,4	0,251	6	АВВГ 4х2,5-380
Вентилятори(5...8)	2,5	19	10,4	0,251	6	АВВГ 4х2,5-380
Вентилятори(5...8)	2,5	19	10,4	0,251	6	АВВГ 4х2,5-380
Вентилятори(5...8)	2,5	19	10,4	0,251	6	АВВГ 4х2,5-380
Зварювальні автомати(1...4)	35,0	140	117	0,209	6	АВВГ 4х35-380
Зварювальні автомати(1...4)	35,0	140	117	0,209	6	АВВГ 4х35-380
Зварювальні автомати(1...4)	35,0	140	117	0,209	6	АВВГ 4х35-380
Зварювальні автомати(1...4)	35,0	140	117	0,209	6	АВВГ 4х35-380

Таблиця 2.19 – Результати розрахунку параметрів проводів по СРШ4

Назва ЕП	$S_{ст}$ мм2	$I_{доп}$, А	I_p , А	ΔU , %	L, м	Тип кабелю
Поперечно-стругальні верстати (17,19)	35	140	11,5	0,223	8	АВВГ 4х35-380
Поперечно-стругальні верстати (17,19)	35	140	122	0,139	5	АВВГ 4х35-380
Компресори(9,10)	25,0	75	65,1	0,192	7	АВВГ 4х25-380
Компресори(9,10)	25,0	75	65,1	0,192	7	АВВГ 4х25-380
Кран-балка(18)	10,0	42	35,3	0,337	10	АВВГ 4х10-380

З урахуванням умов надійності і механічної міцності для живлення світильників і розеток обираємо кабель АВВГ 3х1,5 та АВВГ 3х2,5 відповідно [10, 11].

2.8 Вибір запобіжників

Для вибору запобіжника та плавкої вставки необхідно визначити максимальний струм кабелю в момент запуску двигунів [10, 11].

$$I_{\Pi} = K_1 \cdot I_H,$$

де K_1 - кратність пускового струму.

Для того щоб плавка вставка не розплавилася, під час запуску двигуна необхідно виконати умову [10, 11]:

$$I_{\text{вст}} > \frac{I_{\Pi}}{2.5}$$

Для головного приводу:

$$I_{\Pi} = 7.5 \cdot 22 = 165 \text{ A}$$

$$I_{\text{вст}} > \frac{165}{2.5} = 66 \text{ A}$$

З таблиці вибираємо запобіжник [10, 11].

Тип запобіжника: ПР-2

Номинальний струм патрона: 100 A

Номинальний струм плавкою вставки: 80 A.

Для допоміжного приводу:

$$I_{\Pi} = 5.5 \cdot 2.2 = 66 \text{ A}$$

$$I_{\text{вст}} > \frac{13.75}{2.5} = 5.5 \text{ A}$$

З таблиці вибираємо запобіжник.

Тип запобіжника: ПР-2

Номинальний струм патрона: 15 A

Номинальний струм плавкою вставки: 6 A.

					MP 3.8.141.476 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

2.9 Розрахунок заземлення цехової трансформаторної підстанції

При розрахунку ПЗ визначають тип заземлювачів, їх кількість та місце розміщення, а також переріз заземлюючих проводів. Розрахунок ПЗ являє собою визначення опору розтікання струму штучних заземлювачів, який не перевищить нормованого значення і залежить від провідності ґрунту, конструкції заземлювача та глибини його закладання [10, 11].

Провідність ґрунту характеризується питомим опором, який залежить від складу ґрунту, його вологості, температури та інших показників і може змінюватися в широкому діапазоні [10, 11].

Ушкодження ізоляції електроустаткування може спричинити появу на корпусах та інших металевих частинах (потенціально небезпечних) потенціалів, які небезпечні для життя людини. Тому всі потенційно небезпечні частини мають бути заземлені або занулені. В даному проекті використовується чотири провідна система електропостачання цеху. Тому доцільно використовувати занулення для захисту працівників від ураження електричним струмом. Робота такої системи заключається в тому, що при попаданні струмоведучих частин на корпус ЕП виникає однофазне КЗ, що спричиняє миттєве відключення. Для безпечного обслуговування Ц111 буде використовуватися заземлення [10, 11].

Електропостачання цеху використаємо мережу за системою TN-C яка зображена на рисунку 2.4 [10, 11].

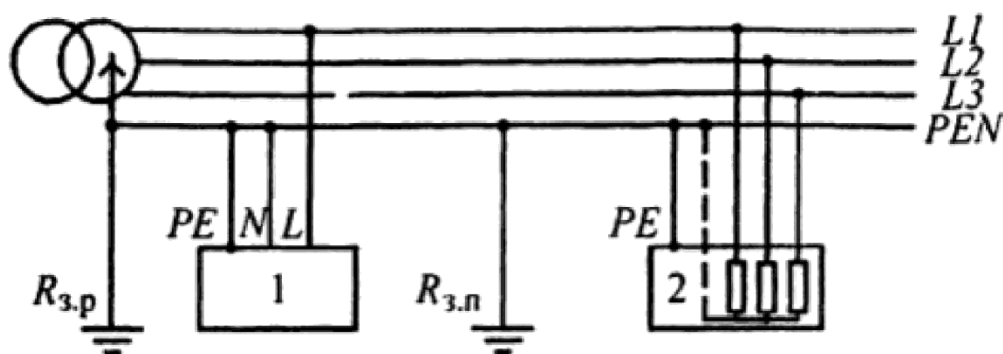


Рисунок 2.4 – Схема мережі за системою TN-C

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

MP 3.8.141.476 ПЗ

Арк.

58

При виконанні ПЗ одночасно для заземлення ЕО до і понад 1 кВ приймається опір ПЗ тієї установки, де він є мінімальним. Зі сторони 0,38/0,22 кВ $R < 4$ Ом. Остаточно приймаємо R_3 4 Ом. [11]

Величина питомого опору ґрунту у місці спорудження ПЗ для суглинку ρ 100 Ом·м [10]. Коефіцієнти вертикальної прокладки K_v і горизонтальної прокладки K_p приймаються рівними ($K_v=1,3$; $K_p=2,5$; для 3-го кліматичного району).

Питомі опори ґрунту для вертикальних і горизонтальних електродів визначаються за формулами [10, 11]:

$$R_{e.B} = \frac{0.366 \rho_{p.\Gamma}}{l_{\Gamma}} \left(\lg \frac{2 \cdot l_{\Gamma}^2}{b t_{\Gamma}} \right) = \frac{0.366 \cdot 250}{5 \cdot 15} \left(\lg \frac{2 \cdot (5 \cdot 14)^2}{40 \cdot 10^{-3} \cdot 0.7} \right) = 7.45 \text{ Ом}$$

З таблиці (Р.5 [11]) при кількості вертикальних зварювачів у контурі $n = 15$ шт і при визначеному відношенні $a/l_e=1$ вибір коефіцієнту використовуються горизонтальні смуги $K_{B.\Gamma.E} = 0,3$ (середня величина). Тоді опір розтікання горизонтального заземлення з урахуванням екранування визначається так [10, 11]:

$$R_{з.\Gamma.E} = \frac{R_{з.\Gamma}}{K_{B.\Gamma.E}} = \frac{7.45}{0.3} = 24.82 \text{ Ом}$$

Визначається уточнений опір вертикальних електродів з урахуванням горизонтального струму [10, 11]:

$$R_{з.B.E} = \frac{R_{з.\Gamma.E} \cdot R_{e.норм}}{R_{з.\Gamma.E} - R_{e.норм}} = \frac{24.82 \cdot 4}{24.82 - 4} = 4.86 \text{ Ом}$$

Уточнена кількість вертикальних електродів:

					МР 3.8.141.476 ПЗ	Арк.
						60
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. ОХОРОНА ПРАЦІ

3.1 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів при експлуатації електроустановок

Аналіз суспільної практичної діяльності призводить до висновку про потенційну небезпеку діяльності. Потенційність небезпеки полягає у прихованому, неявному характері прояву за певних, нерідко важкопередбачуваних умов. Суть небезпеки полягає в тому, що можливий такий вплив на людину, що призводить до травм, захворювань, погіршення самопочуття та інших небажаних наслідків [18, 19].

Твердження про потенційну небезпеку діяльності є аксіомою, що має важливе профілактичне значення при вирішенні практичних та теоретичних питань безпеки [18, 19].

Небезпека може бути оцінено кількісно. Її можна кількісно оцінити ризиком завдання тієї чи іншої шкоди здоров'ю людини. Ризик визначається як відношення тих чи інших небажаних наслідків за одиницю часу до можливого числа подій. *Небезпека* – наслідок деяких чинників на людини. При невідповідності факторів характеристикам людини виникає небезпека. Матеріальними носіями небезпечних та шкідливих факторів є об'єкти, що формують трудовий процес та входять до нього: предмети праці, засоби праці (машини, верстати, інструменти, споруди, будівлі); продукти праці, операції.

Шкідливий фактор – це така дія на людину, яка в певних умовах призводить до захворювання або зниження працездатності [18, 19].

Небезпечний фактор – це вплив на людину, яка у певних умовах призводить до травми або іншого раптового різкого погіршення здоров'я.

					MP 3.8.141.476 ET.m-01 ПЗ			
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Фісая О.В.			Розробка системи електропостачання інструментального цеху промислового підприємства	Арк	Аркуш	Аркушів
Перевірив.		Дяговченко І.М.					62	81
Реценз.						СумДУ ET.m-01		
Н. Контр.		Никифоров М.А.						
Затверд.		Лебединський І.Л.						

Відповідно до системи стандартів безпеки праці розрізняються шкідливі та небезпечні фактори, але виділення їх в окремі групи не виробляють. Один і той самий фактор залежно від величини може бути небезпечним або шкідливим (наприклад, шум, вібрація, токсичні домішки в повітрі). До визначальних ознак небезпечних та шкідливих факторів відноситься можливість безпосереднього негативного впливу на організм людини [18, 19].

Безпека та здоров'я умови праці великою мірою залежать від освітленості робочих місць та приміщень. Незадовільне освітлення втомлює як зір, а й викликає втома організму загалом. Неправильне висвітлення може бути причиною травматизму. Неправильна експлуатація освітлювальних установок може призвести до вибуху, пожежі та нещасних випадків [18, 19].

Основними світловими одиницями є світловий потік (люмен), сила світла (кандела-свічка), освітленості (люкс) та яскравість (ніт).

Освітленість (люкс) – відношення світлового потоку F до величини поверхні, що освітлюється S , вимірюється люксометром (селеновий фотоелемент і гальванометр) [18, 19].

Залежно від джерела світла виробниче освітлення може бути двох видів: природне, що створюється безпосередньо сонячним диском та дифузним світлом небесного випромінювання, та штучне, що здійснюється електричними лампами.

Зазвичай користуються природними, штучним та поєднаним (природне та штучне спільно) освітленням. Нормування освітлення всередині та поза будівель, місць виконання робіт, зовнішнього освітлення міст та ін.

Природне освітлення краще, т.к. сонячне світло найбільш сприятливе для людини. Сонячне випромінювання дає видиму частину випромінювання та невидиму – ультрафіолетову та інфрачервону. Ультрафіолетові випромінювання біологічно позитивно впливають на організм людини, але при високих інтенсивностях вони можуть викликати опік шкіри. Проникаючи в очі, можуть спричинити опік сітківки ока, що веде до погіршення або повної втрати зору. Ультрафіолетові випромінювання виникають під час роботи кварцових

					MP 3.8.141.476 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

ламп, електричної дуги, лазерних установок, електро- та газового зварювання, при еритемному освітленні (еритемні лампи). Видиме випромінювання при великих яскравостях викликає засліплення та зниження гостроти зору [18, 19].

Згідно з санітарними нормами, всі приміщення з постійним перебуванням людей повинні мати природне освітлення. Природне освітлення може бути: бічним (через світлові отвори в зовнішніх стінах), верхнім (через світлові отвори в покриттях і через отвори в стінах у місцях перепаду висот будівель) та комбінованим.

Нормується також якісні показники: засліпленість, дискомфорт та пульсації випромінювання, нерівномірний розподіл яскравості у полі зору та зміна яскравості освітлення [18, 19].

Штучне освітлення здійснюється у темний час доби за допомогою освітлювальних приладів, що складаються зі світильників.

Штучне освітлення може бути загальне (світильники розташовуються лише на стелі) та комбіноване (є додаткові настільні лампи). Для освітлення приміщень повинні передбачатись газорозрядні лампи (люмінесцентні, металогенні, натрієві, ксенові), допускається застосування ламп розжарювання. Газорозрядні лампи мають низку переваг у порівнянні з лампами розжарювання: високу світловіддачу, тривалий термін служби (8-14 тис.ч); Спектр випромінювання люмінесцентних ламп близький до діапазону природного світла. До недоліків треба віднести відносно складну схему включення та необхідність спеціальних пускових пристосувань, тривалий період розгорання, стробоскопічний ефект, що виражається у спотворенні зорового сприйняття [18, 19].

Освітлення люмінесцентними лампами слід застосовувати у приміщеннях, у яких необхідно створити особливо сприятливі умови для зору. Наприклад, при виконанні точних робіт, у приміщеннях з постійними перебуваннями людей за недостатнього або взагалі відсутнього природного освітлення [18, 19].

					MP 3.8.141.476 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

Штучне освітлення нормується згідно зі БНіП П-4-79. Освітленість робочих поверхонь місць робіт поза будинками нормується залежно від характеру роботи за розрядами зорової роботи від IX (точні роботи - відношення найменшого розміру об'єкта розрізнення до відстані до очей не менше 0,005) і до XIII (розрізнення великих предметів) табл.16 БНіП [18, 19].

Виробниче освітлення, правильно спроектоване та виконане покращує умови зорової роботи, знижує втому, сприяє підвищенню продуктивності праці, сприятливо впливає на виробниче середовище, надає позитивний психологічний вплив на працюючого [18, 19].

Усі види інструктажу та перевірки знань, а також допуск до самостійної роботи фіксується в журналі реєстрації (особистій картці), причому підписом інструктованого та інструктуючого.

3.2 Світлотехнічний розрахунок освітлювальної установки основного приміщення цеху

У виробничому приміщенні з розмірами $A \times B$ і висотою H робоча поверхня перебуває на висоті $h_p = 0,8(м)$ стосовно підлоги, а висота установки світильників стосовно стелі становить $h_c = 0,2(м)$. Розрахувати освітлення цеху методом коефіцієнта використання та точковим методом, що створює на робочій поверхні нормовану освітленість E . Порівняти отримані результати.

Вихідні дані: Тип використовуваних світильників ГСП17В із металогалогенною лампою. Коефіцієнт запасу $k = 1,5$. Інші параметри зазначені в таблиці 3.1.

3.2.1 Розміщення світильників

Для розміщення світильників повинні бути відомі наступні розміри:

A – довжина приміщення, м;

					MP 3.8.141.476 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

B – ширина приміщення, м;

H – висота приміщення, м;

h_p – висота розрахункової поверхні над підлогою, м (якщо невідомо, приймається висота умовної робочої поверхні 0,8 м);

h_c – відстань від світильника до перекриття (звис), м (приймається в діапазоні 0 – 1,5 м);

h – розрахункова висота від умовної робочої поверхні до світильника, м:

$$h = H - h_c - h_p$$

L – відстань між сусідніми світильниками в ряді або рядами світильників, м;

l – відстань від крайніх світильників або рядів світильників до стіни, м (приймається $(0,3-0,5) L$ залежно від наявності поблизу стін робочих місць).

Таблиця 3.1 – Вихідні дані до світлотехнічної частини

$A \times B, \text{м}^2$	$H, \text{м}$	$E_{\min}, \text{лк}$	$\rho_{\text{ст}}, \rho_c, \rho_p, \%$
32×16	6	250	50, 30, 10

Визначаємо відстань між світильниками в елементарному полі

$$L = \lambda_c \cdot h$$

Задаємось значенням λ , обчислюємо відстань L . Число рядів світильників N_B та число світильників у ряді N_A :

$$N_A = \frac{A - 2l}{L} + 1 = \frac{A}{L} + \frac{1}{3}, N_B = \frac{B - 2l}{L} + 1 = \frac{B}{L} + \frac{1}{3}$$

Після цього перераховуємо реальні відстані між рядами світильників та між ними самими:

					MP 3.8.141.476 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

$$L_B = \frac{B - 2l_B}{N_B - 1} = \frac{B}{N_B - \frac{1}{3}}, L_A = \frac{A - 2l_A}{N_A - 1} = \frac{A}{N_A - \frac{1}{3}},$$

$$l_B = \frac{L_B}{3}, l_A = \frac{L_A}{3}$$

Результати наводимо у вигляді таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Проміжні результати розрахунку

$h, м$	λ_c	$L, м$	$N_A, шт.$	$N_B, шт.$	$N, шт.$	$L_A, м$	$l_a, м$	$L_B, м$	$l_b, м$
5	2.2	11	3	2	6	12	4	9.6	3.2

Перевіряємо умову для прямокутних приміщень:

$$1 \leq \frac{L_A}{L_B} \leq 1.5$$

В нашому випадку маємо наступне: $1 \leq 1,25 \leq 1,5$, а отже умова виконується.

3.2.2 Розрахунок освітлення методом коефіцієнта використання

Цей метод використовується тільки при розрахунку загального рівномірного освітлення горизонтальних поверхонь у закритих приміщеннях і враховує освітленість, створену на робочій поверхні прямим і відбитим світловими потоками.

Мета розрахунку: визначення потужності лампи за розрахунковим світловим потоком.

Світловий потік ламп визначається за формулою:

$$\Phi = \frac{E \cdot k \cdot S \cdot Z}{N \cdot \eta},$$

де Φ – розрахунковий світловий потік лампи, лм;

E – нормована освітленість робочої поверхні, лк;

k – коефіцієнт запасу;

S – площа приміщення, м²;

Z – коефіцієнт нерівномірності освітлення (відношення середньої освітленості до мінімальної по освітлюваній площині) – для світильників прямого світла приймається рівним 1,15, для інших – 1,1, N – кількість світильників, шт.; η – коефіцієнт використання світлового потоку, відн. од.

Коефіцієнт використання світлового потоку залежить від типу світильника, коефіцієнтів відбиття стелі ρ_{cs} , стін ρ_{cm} , робочої поверхні ρ_p та індексу приміщення i та визначається з таблиці А1 [8]. Визначається індекс приміщення:

$$i = \frac{S}{h(A+B)},$$

де S – площа приміщення м²;

h – розрахункова висота підвісу світильника, м;

A і B – довжина і ширина приміщення, що розраховується, м.

За розрахованим потоком із відповідної таблиці А2 вибирають джерело світла, світловий потік якого найближче відповідає розрахунковому. Маємо такі результати розрахунку у вигляді таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Кінцеві результати розрахунку методом коефіцієнта використання

i	i_1	i_2	η_{n1}	η_{n2}	η_n	η	Φ_p , лм
2.13	2	3	0.56	0.65	0.572	0.343	92000

Обираємо тип лампи ДРІ1000 із світловим потоком $\Phi_{л}=90000$ лм.
Відхилення світлового потоку обраної лампи:

$$\delta = \frac{\Phi_{л} - \Phi_p}{\Phi_p} \cdot 100\% = -2,2\%.$$

					MP 3.8.141.476 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

Відхилення знаходиться у межах -10 %...+20 %, це свідчить про правильний вибір кількості та типу світильників.

Примітка: приймаємо такий тип світильника, оскільки у точковому методі цей тип відповідає умові.

Загальна потужність освітлювальної установки:

$$P_{\text{вст}} = N \cdot P_{\text{л}} = 6 \cdot 1000 = 6000(\text{Вт}).$$

Висновки по розділу

В даному розділі розраховано кількість світильників для головного промислового приміщення інструментального цеху. Відповідно розрахунку необхідно встановити 6 світильників із лампами типу ДРІ потужністю 1000 Вт. При цьому загальна потужність становитиме 6 кВт.

Також було проведено аналіз небезпечних та шкідливих факторів при експлуатації електроустановок: розглянуто основні терміни та визначення, які розкривають сутність даної теми.

					MP 3.8.141.476 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

4. ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ВИТРАТ НА ВПРОВАДЖЕННЯ КОМПЕНСУЮЧИХ ПРИСТРОЇВ

4.1 Визначення нормативної кількості електрослюсарів на технічне обслуговування та ремонт КП

При визначенні чисельності персоналу (норми чисельності) необхідно враховувати безліч показників. Розрахунковою базою всіх трудових норм є норми часу, що характеризують тривалість виконання різних робіт чи величину витрат праці (часу) на одиницю роботи.

Норма чисельності – це встановлена кількість працівників певного професійно-кваліфікаційного складу, необхідна для виконання конкретних виробничих, управлінських функцій чи обсягів работ. За нормами чисельності визначаються також витрати праці за професіями, спеціальностями, групами або видами робіт, окремими функціями, загалом по підприємству або за службами, змінами, структурними підрозділами.

Необхідна чисельність працівників, зайнятих обслуговуванням, визначається за формулами:

$$N_{ч} = \frac{O}{H_{о}} \text{ або } N_{ч} = \frac{O \cdot N_{ч.об}}{T_{зм}}$$

где $N_{ч}$ – норма чисельності;

O – загальна кількість обслуговуваних одиниць обладнання тощо;

$H_{о}$ – норма обслуговування;

$N_{ч.об}$ – норма часу обслуговування;

$T_{зм}$ – час простою, хв.

					МР 3.8.141.476 ЕТ.м-01 ПЗ							
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	<i>Розробка системи електропостачання інструментального цеху промислового підприємства</i>			Арк	Аркуш	Аркушів		
Розроб..	Фісаяю О.В.									70	81	
Перевірів.	Маценко О.М.							СумДУ ЕТ.м-01				
Реценз.												
Н. Контр.	Никифоров М.А.											
Затверд.	Лебединський І.Л.											

Норма обслуговування – кількість виробничих об'єктів (одиниць обладнання, робочих місць тощо), які працівник чи група працівників відповідної кваліфікації зобов'язані обслужити протягом одиниці робочого дня у певних організаційно-технічних умовах. Норми обслуговування призначаються для нормування праці працівників. Для того щоб розрахувати норму обслуговування треба визначити норму часу обслуговування.

Нормативи чисельності визначають чисельність обслуговуючого персоналу.

Норма часу обслуговування – це кількість часу, яка необхідна при певних організаційно-технічних умовах для обслуговування однієї одиниці устаткування.

Норма часу обслуговування (T_{HO}) визначається за формулою:

$$T_{HO} \approx (T_{H(1)} + T_{H(2)} + \dots + T_{H(n)}) \cdot K,$$

де $T_{H(1)} + T_{H(2)} + \dots + T_{H(n)}$ – час, затрачений на виконання окремих робіт;

K – коефіцієнт, що враховує витрати часу на виконання додаткових функцій, відпочинок та особисті потреби.

Коефіцієнт визначається за формулою:

$$K = \frac{1 + (a_1 + a_2)}{100},$$

де a_1 – час на додаткові функції у відсотках до часу основних функцій;

a_2 – час на відпочинок та особисті потреби у відсотках до часу основних функцій.

Визначивши норму часу на обслуговування за нормативами або за допомогою хронометражу, можна розрахувати норму обслуговування за такою формулою:

					MP 3.8.141.476 ПЗ	Арк.
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		71

$$H_o = \frac{T_{зм}}{H_{ч.об}} = \frac{T_{зм}}{H_{ч.ро} \cdot n \cdot K},$$

де H_o – норма обслуговування;

$H_{ч.ро}$ – норма часу обслуговування однієї одиниці виробничих площ, одиниці устаткування тощо;

n – кількість одиниць робіт, що виконуються протягом певного періоду (зміни, місяці);

K – коефіцієнт, що враховує виконання додаткових функцій, не врахованих нормою часу (функції обліку, інструктажу, спостереження за процесом), а також на відпочинок та особисті потреби.

Під час аналізу виконання норм обслуговування необхідно враховувати умови виконання робіт. Зокрема, простой, пов'язані з неможливістю виконання робіт з об'єктивних причин, тобто простой, що не залежать від підприємства та працівника. Для визначення втрат робочого часу з цієї причини, а отже, для уточнення норм обслуговування, рекомендується приймати поправочний коефіцієнт:

$$K_{пр} = \frac{T_{зм} - T_{пр.}}{T_{зм}},$$

де $K_{пр}$ – коефіцієнт, який визначає втрати робочого дня з незалежних від підприємства та працівника причин;

$T_{зм}$ и $T_{пр}$ – час робочої зміни і час простою, хв.

Наприклад, при втраті 30 хвилин робочого часу через незалежну від неї причину, поправочний коефіцієнт до норм чисельності або обслуговування при 7-ми годинній робочій зміні дорівнює:

$$K = \frac{(480 - 30)}{480} = 0.937.$$

					MP 3.8.141.476 ПЗ	Арк.
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		72

На практиці ці втрати не перевищують 50 хвилин.

Введення таких коефіцієнтів дозволяє точніше визначити необхідну кількість персоналу і, крім того, дати об'єктивну оцінку виконання встановлених нині норм обслуговування. Аналіз нормування праці виконується для усіх спеціальностей. У процесі аналізу виявляються всі чинники, що впливають на відхилення фактичних витрат праці від нормативних, і навіть відповідність встановлених норм умовам виконання робіт.

Явочна чисельність визначається за нижченаведеними залежностями.

При розрахунку за нормами часу обслуговування:

$$Ч_{я} = \frac{(T_{HO(1)} \cdot N_1 + T_{HO(2)} \cdot N_2 + T_{HO(n)} \cdot N_n)}{T_{зм}}$$

При розрахунку за нормами обслуговування:

$$Ч_{я} = \frac{N_1}{H_{O(1)}} + \frac{N_2}{H_{O(2)}} + \dots + \frac{N_n}{H_{O(n)}}$$

де $Ч_{я}$ – явочна чисельність;

$T_{HO(1)} T_{HO(2)} - T_{HO(n)}$ – норма часу обслуговування;

$T_{см}$ – змінний фонд робочого часу;

$H_{O(1)} H_{O(2)}, \dots H_{O(n)}$ – норма обслуговування.

Облікова чисельність ($Ч_{об}$) може бути визначена за такою формулою:

$$Ч_{об} = Ч_{я} \cdot K_n,$$

де K_n – коефіцієнт, що враховує плановані невиходи під час відпустки, через хворобу тощо.

Для обслуговування КП електрослюсарями приймається 5 чол./зм.

Кількість робітників за розрядами знаходиться виходячи з умови:

					MP 3.8.141.476 ПЗ	Арк.
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		73

- електрослюсар 5 розряду – до 30% від нормативної чисельності;
- електрослюсар 3 і 4 розряду - решта нормативу чисельності робітників.

Загальна нормативна чисельність електрослюсарів 4 та 5 розрядів:

Електрослюсар 5 розряду $N=50,3=1,5$ чол./зм.

Приймаємо 2 чол./см.

Електрослюсарі 3 та 4 розрядів приймаємо відповідно 3 чол./см.

Таблиця 4.1 - Розрахунок чисельності співробітників

Професія, посада	Чисельність			Обсяг робіт або кількість виходів	Комплексна ставка, розцінка та тарифна ставка	Місячний фонд з/п		
	явочна	K_{cc}	списочная			K_d		з допла- тами, грн
Електрослюсар		11,47	5	73,5	18	22	13230	26460
Всього:		-				-		26460

4.2 Економічні аспекти завдання компенсації потужності

Усі параметри режиму роботи мережі залежать від активної та реактивної потужності. Однак, якщо для зміни активної потужності потрібно змінювати технологічний режим роботи споживачів електроенергії, то зміна реактивної потужності досягається просто: за допомогою компенсуючих пристроїв (КП), найбільш поширеними з яких є батареї конденсаторів (БК).

Установка додаткових БК пов'язана із витратами коштів на придбання, доставку, монтаж та обслуговування як самих БК, так і додаткового обладнання.

1. Лімітоване (неоплачуване) середньомісячне споживання реактивної енергії:

$$Q_L = W \cdot \operatorname{tg} \varphi = 5783940 \cdot 0.48 = 2776291 \text{ кВАр} \cdot \text{год}$$

					MP 3.8.141.476 ПЗ	Арк.
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		74

2. Перевищення лімітованого споживання реактивної енергії:

$$\Delta Q = Q - Q_L = 4034250 - 2776291 = 1257959 \text{ кВАр}\cdot\text{год}$$

3. У середньому протягом року оплата перевищення ліміту споживання реактивної енергії П складатиме:

$$П = \Delta Q \cdot 0.1 \cdot 12 = 1257959 \cdot 0.1 \cdot 12 = 1509551 \text{ грн.}$$

4. Необхідна сумарна потужність пристроїв компенсації (при щоденному - 30 днів, двозмінному - 16 годин, режимі роботи протягом місяця):

$$Q_k = \frac{\Delta Q}{16 \cdot 30} = \frac{1257959}{16 \cdot 30} = 2621 \text{ кВАр}$$

5. При встановленні в 3-х цехових ТП 2×1000 кВ та підключенні до низьковольтних збірних шин ТП 6-ти (за кількістю встановлених силових трансформатрів) автоматизованих конденсаторних установок потужністю $Q_{кп} = 450$ кВАр на номінальну напругу 400 В місячне споживання реактивної електроенергії зменшиться до величини:

$$Q_1 = Q - Q_{кп} \cdot 16 \cdot 30 = 4034250 - 450 \cdot 6 \cdot 16 \cdot 30 = 2738250 \text{ кВАр},$$

що не перевищить середньомісячного лімітованого споживання реактивної енергії - Q_L .

6. Економію коштів за рік, внаслідок зниження споживання реактивної енергії, можна прийняти рівною її середньорічної оплати:

$$П = 1509.55 \text{ тис.грн.}$$

					MP 3.8.141.476 ПЗ	Арк.
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		75

7. Інвестиції, які необхідні для реалізації даного варіанту, складаються з вартості автоматизованих установок компенсації, виробництва та витрат на їх транспортування та монтаж (приймаємо рівними 10% вартості установки, з урахуванням ПДВ):

$$З = 6 \cdot (C + 0.1 \cdot C) = 6 \cdot (180000 + 0.1 \cdot 180000) = 1188000 \text{ грн.}$$

8. Економію, внаслідок зниження втрат активної енергії в розподільчій мережі підприємства, з урахуванням активних втрат електроенергії в конденсаторних установках прийmemo рівною 1% від споживаної активної енергії:

$$\Pi_1 = W \cdot 0.1 \cdot 12 \cdot 1.4 = 5783940 \cdot 0.01 \cdot 12 \cdot 1.4 = 971701 \text{ грн.}$$

9. Загальний економічний ефект - ЕЕ від застосування компенсації надлімітного споживання реактивної енергії становитиме:

$$EE = \Pi + \Pi_1 = 1509.55 + 971.701 = 2481.252 \text{ тис.грн.}$$

10. Термін відшкодування даного варіанта компенсації:

$$E = \frac{З}{EE} = \frac{1188}{2481.252} = 0.5 \text{ рік}$$

Висновки по розділу

У даному розділі було проведено економічний розрахунок витрат на впровадження компенсуючих пристроїв. Визначили нормативну кількість електрослюсарів на технічне обслуговування та ремонт КП

Також виконали розрахунок терміну відшкодування установки компенсуючого пристрою.

					MP 3.8.141.476 ПЗ	Арк.
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		76

ВИСНОВКИ

Серед численних галузей народного господарства енергетика є однією з провідних та найбільш високоорганізованих галузей. Рівень розвитку енергетики та електрифікації у найбільш загальному вигляді відображає досягнутий промисловий потенціал будь-якої країни. Енергетика забезпечує електроенергією та теплом промислові підприємства, сільське господарство, транспорт, комунально-побутові потреби міст тощо, та є стрижнем будівництва та розвитку економіки.

Близько 70% всієї електроенергії, що виробляється в країні, споживається промисловістю, тому питанням електропостачання промислових підприємств надається велике значення. Для цього вся система розподілу та споживання електричної енергії, що отримується від енергосистеми, будується таким чином, щоб задовольнялися основні вимоги споживачів електроенергії: надійність, якість та економічність електропостачання.

Реалізація цих вимог забезпечує зниження капітальних витрат та збільшення електроозброєності праці. Отже, зростання електроозброєності праці визначається не тільки збільшенням вироблення електроенергії на електростанціях, а й раціональним її використанням у різних пристроях та установках споживачів.

Зниження реактивних навантажень споживачів може здійснюватись:

- 1) виконанням заходів, що не вимагають установки компенсуючих пристроїв для зниження реактивної потужності;
- 2) установкою компенсуючих пристроїв для часткової або повної компенсації реактивної потужності.

Предметом аналізу є наступні питання:

а) заміна мало завантажених асинхронних двигунів (АД) двигунами меншої потужності. Для АД з номінальним коефіцієнтом потужності $\cos\phi_{ном} = 0,91 - 0,93$ реактивна потужність холостого ходу становить близько 50% реактивної потужності при номінальному завантаженні двигуна. Для двигунів

					MP 3.8.141.476 ПЗ	Арк.
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		77

із $\cos\varphi_{\text{ном}} = 0,77 - 0,79$ вона досягає 70%. Наприклад, якщо для якогось конкретного двигуна при 100%-й завантаженні $\cos\varphi = 0,8$, то при 50%-й завантаженні він дорівнює 0,65, а при 30%-й - 0,51%. Отже, заміна систематично мало завантажених АТ двигунами меншої потужності сприяє підвищенню потужності промислових електроустановок.

б) обмеження холостого ходу двигунів та зварювальних трансформаторів;

в) застосування синхронних двигунів замість асинхронних двигунів у разі, коли це можливо за умовами технологічного процесу;

г) застосування найбільш доцільної силової схеми вентильного перетворювача (переважно використовувати схеми з меншим споживанням реактивної потужності).

Як правило, значне зниження споживання реактивної потужності природними методами неможливе, тому на додаток до природних заходів застосовують штучні методи компенсації реактивної потужності.

					MP 3.8.141.476 ПЗ	Арк.
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		78

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Неклепаев Б. Н. Крючков И. П. Электрическая часть электростанций и подстанций: Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: Учебн. Пособие для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 608 с.: ил.
2. Правила устройства электроустановок. – М.: Энергоатомиздат, 1985.
3. Рожкова Л. Д., Козулин В. С. Электрооборудование станций и подстанций: Учебник для техникумов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 648 с.: ил.
4. Идельчик В.И. Электрические системы и сети: Учебник для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1989.
5. Петровський М.В. Електроосвітлення: конспект лекцій для студ. спец. 7.050701 «Електротехнічні системи електроспоживання» всіх форм навчання / М.В. Петровський. - Суми: СумДУ, 2012. - 227 с.Е.Н. Беяева. Как рассчитать ток короткого замыкания. – М.: Энергоатомиздат, 1983, 136 с.
6. Програма курсу, контрольні завдання і методичні вказівки до виконання курсового проекту «Електрична частина станцій та підстанцій» для студентів спеціальності 6.05070103 «Електротехнічні системи електроспоживання» усіх форм навчання / Укладачі: Д.В. Муриков, І.Л. Лебединський, П.О. Василега. – Суми: Вид-во СумДУ, 2013.- 37 с.
7. Гуменюк О.Л. Методичні вказівки до проведення розрахунків з розділу ОП в ДП для студентів ОКР бакалавр спеціаліст магістр галузей знань інформатика та обчислювальна техніка менеджмент і адміністрування - Розрахунок захисного заземлення [Electronic resource]. URL: https://cpo.stu.cn.ua/Oksana/rozrah_rozd_OP_DP_bak_spec_mag/90.html (accessed: 23.11.2021).
8. Методичні вказівки і завдання до розрахунково-графічних робіт з курсу «Освітлення промислових споруд та житлових будинків» / Укладач М. В. Петровський. – Суми: Вид-во СумДУ, 2019. – 29 с.

					MP 3.8.141.476 ПЗ	Арк.
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		79

9. Трансформатори силові масляні типу ТМ [Electronic resource] // Трансформатор сервис. URL: <http://transf.com.ua/ua/russkij-produktsiya/russkij-transformatory-silovye-maslyanye/transformatori-silovi-maslyani-tipu-tm/> (accessed: 28.11.2021).

10. Рудницький В.Г. Внутрішньозаводське електропостачання. Курсове проектування: навч. посіб. – Суми: Університет. кн., 2006. – 163 с.

11. Рудницький В.Г. Внутрішньоцехове електропостачання. Курсове проектування: навч. посіб. – Суми: Університет. кн., 2007. – 280 с.

12. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів. Харків – „Індустрія”. 2007.

13. А.А. Чунихин. Электрические аппараты. М. – Энергия, 1967.535 с.

14. А.С. Овчаренко, М.Л. Рабинович. Справочник по электроснабжению промышленных предприятий. Проектирование и расчет. Киев – „Техника”, 1985.

15. Каталог «Южкабель» - <https://yuzhcable.com.ua/>

16. Методические рекомендации по компенсации реактивной мощности на предприятиях химической промышленности. Отделение научно-исследовательского института технико-экономических исследований. – Черкасы, 1984 г.36 с

17. Б.С. Рогальский, Г.Б. Завальнюк. Використання синхронних двигунів для забезпечення технічних значень вхідних реактивних потужностей, заданих енергопостачальною компанією.// Промэлектро. -2006. - №6. – с 54-58.

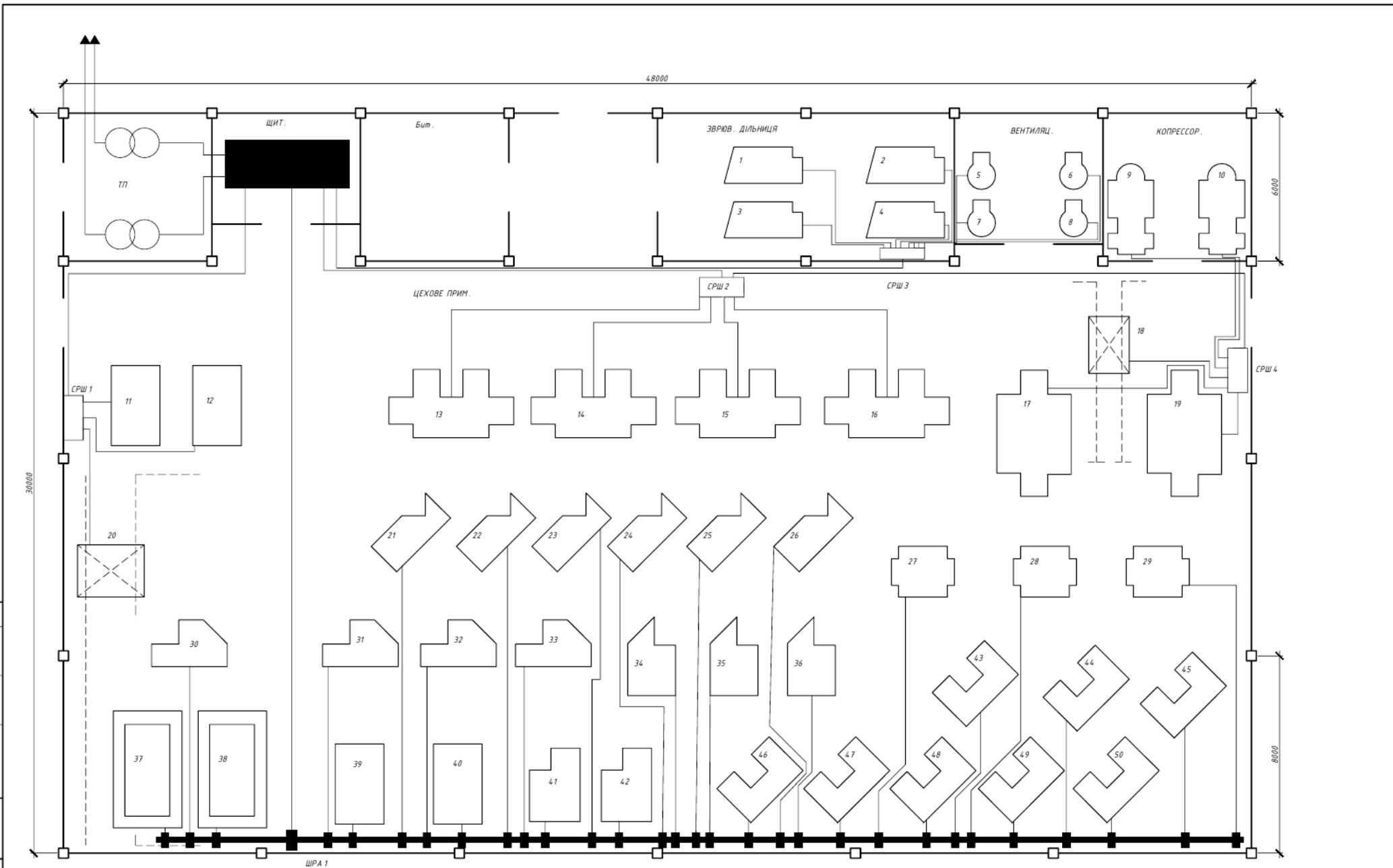
18. Долин П. А. Основы техники безопасности в электроустановках. – М. Энергоатомиздат: 1989. 425 с.

19. Князевский Б. А. Охрана труда в энергетике. – М.: Энергоатомиздат 1985

					MP 3.8.141.476 ПЗ	Арк.
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		80

ДОДАТКИ

					MP 3.8.141.476 ПЗ	Арк.
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		81



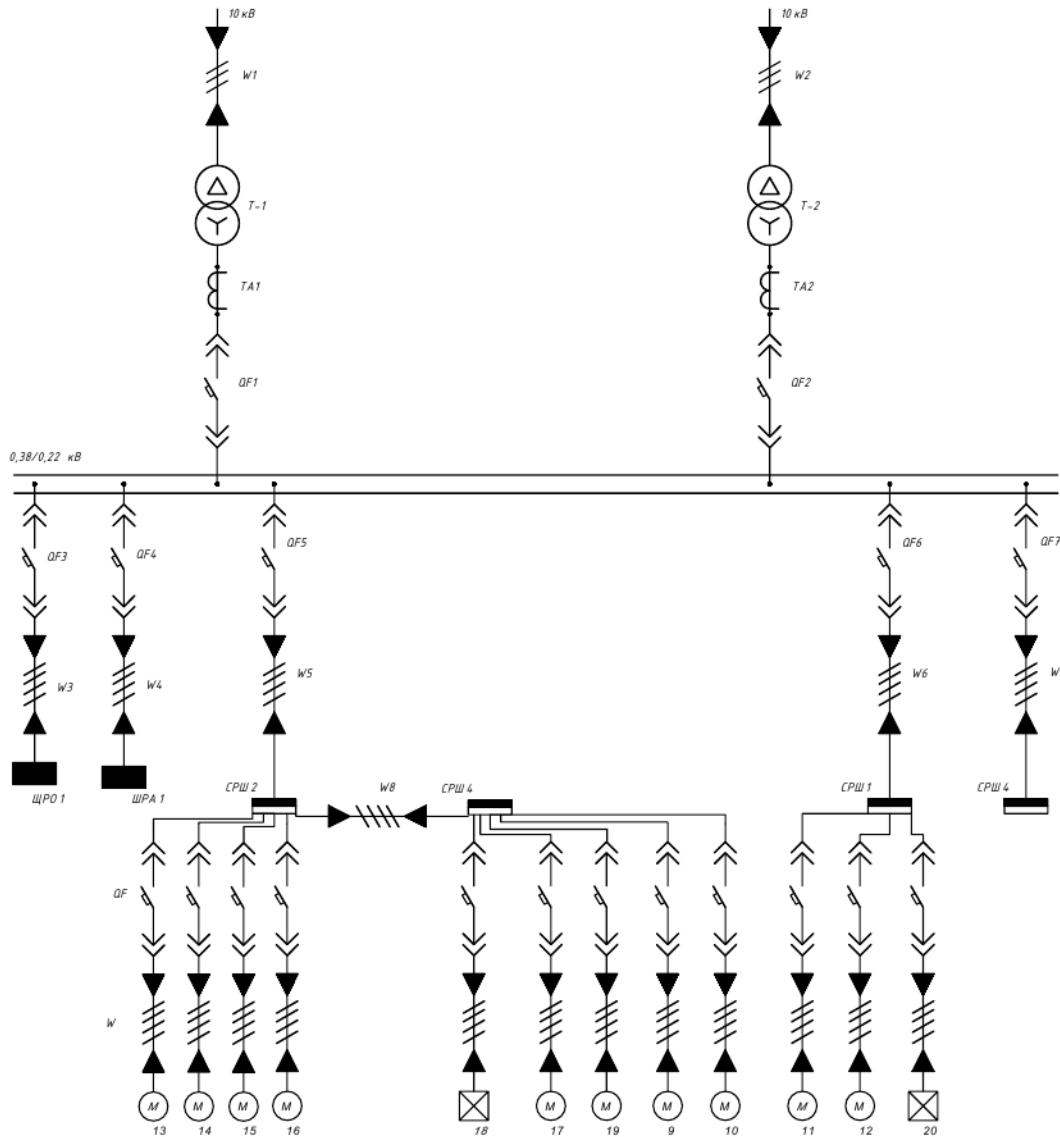
Погоджено

Зам. № в. №

Підпис і дата

№ в. №

						МР 3.8.14.14.76	
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата	План розташування обладнання та приміщень інструментального цеху	
Розробив	Фісичко						Масштаб
Перев.	Дягобиченко						1:100
Нач. констр.	Никифаров					СунДУ ЕТ.м.-01	
Затверд.	Леbedинський						



Перелік апаратів та обладнання

W	Кабельна лінія
T	Трансформатор
TA	Трансформатор струму
QF	Автоматичний вимикач
13-16	Горизонтально-розточувальні верстати
20	Мостовий кран
17,19	Стругальні верстати
18	Кран-балка
11,12	Алмазно-розточувальні верстати
9,10	Компресори

Погоджено

Ім'я, пр. Підпис, дата
Зам. ім'я, N

MP 3.8.14.1476						
Зм.	Кільк.	Арк.	Модок.	Підпис	Дата	
Розробив	Фісєнко					Масштаб
Перев.	Договиченко					1:100
Норм. контр.	Никифаров					СунДУ ЕТ.Н-01
Затверд.	Левдинський					