

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
АЕРОКОСМІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ  
КАФЕДРА АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ  
Завідувач випускової кафедри  
\_\_\_\_\_ В.П. Захарченко  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 р.

**ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ**  
**(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)**

ВИПУСКНИЦІ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВР

ЗА СПЕЦІАЛЬНІСТЮ 141 «ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА  
ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА»

**Тема: «Система електропостачання виробничо-складського комплексу»**

Виконавець \_\_\_\_\_ студентка групи ЕС-411Б Швецова Аліна Олександрівна  
(студент, група, прізвище, ім'я, по батькові)

Керівник \_\_\_\_\_ к.т.н. Мазур Тетяна Аркадіївна  
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові)

Нормоконтролер: \_\_\_\_\_ Т.А. Мазур  
(підпис) (ПБ)

КИЇВ 2021

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет аерокосмічний

Кафедра автоматизації та енергоменеджменту

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»  
(шифр, найменування)

Освітньо-професійна програма «Енергетичний менеджмент»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

В.П.Захарченко

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 р.

**ЗАВДАННЯ**

**на виконання дипломної роботи (проекту)**

Швецової Аліни Олександрівни

(П.І.Б. випускника)

1. Тема роботи (проекту) «Система електропостачання виробничо-складського комплексу»

затверджена наказом ректора від «05» квітня 2021 р. № 558/ст.

2. Термін виконання роботи (проекту): з 18.05.2021 р. по 21.06.2021 р.

3. Вихідні дані до роботи (проекту): технологічний процес комплексу, дані електрообладнання, ввідна напруга 10 кВ, категорії електропостачання .

4. Зміст пояснювальної записки: проектування системи електропостачання виробничо-складського комплексу. розрахунок електричних навантажень системи електропостачання виробничо-складського комплексу.

5. Перелік обов'язкового ілюстративного матеріалу: схема електропостачання виробничо-складського комплексу (генплан); схема електропостачання внутрішньо-цехової системи живлення; електрична схема електропостачання комплексу; схема управління та автоматики системи електропостачання виробничо-складського комплексу

## 6. Календарний план-графік

№ пор.	Завдання	Термін Виконання	Підпис керівника
1.	Вивчення інформаційних джерел	12.04 – 17.04.21	
2.	Збір інформації, аналіз класичних систем електропостачання типових промислових підприємств та обробка технічного матеріалу	18.04 – 02.05.21	
3.	Робота над розділом №1	03.05 – 20.05.21	
4.	Робота над розділом №2	21.05 – 06.06.21	
5.	Розробка та оформлення обов'язкового ілюстрованого матеріалу	15.05 – 15.06.21	
6.	Перевірка роботи на добросовісність. Підготовка до захисту	Після передзахисту	

7. Дата видачі завдання: «18» травня 2021 р.

Керівник дипломної роботи (проекту)

\_\_\_\_\_ Мазур Т.А.  
(підпис керівника) (П.І.Б.)

Завдання прийняв до виконання

\_\_\_\_\_ Швецова А.О.  
(підпис випускника) (П.І.Б.)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломного проекту «Система електропостачання виробничо-складського комплексу»: 64 с., 9 рис., 26 табл., 12 використаних джерел.

**СИСТЕМА ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ, ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ, ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ, ВИРОБНИЧО-СКЛАДСЬКИЙ КОМПЛЕКС.**

**Об'єкт дослідження** – процеси електропостачання виробничо-складського комплексу.

**Предмет дослідження** – технічні засоби комплектації системи електропостачання 0,4 і 10 кВ.

**Мета дипломного проекту** – комплексне проектування системи електропостачання виробничо-складського комплексу.

Методи дослідження – теоретичні основи електротехніки, електричні системи та мережі.

Матеріали дипломного проекту можуть бути використані для удосконалення або подальшого розвитку систем електропостачання промисловими підприємствами.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ	
ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ	ВИРОБНИЧО-СКЛАДСЬКОГО
КОМПЛЕКСУ.....	9
1.1. Опис технологічного процесу.....	9
1.2. Характеристика споживачів електроенергії виробничо-складського комплексу.....	11
1.3. Розрахунок розподільної мережі ділянки цеху механічної обробки.....	12
1.4. Визначення електричних навантажень.....	25
1.5. Вибір схеми і розрахунок мережі напругою до 1 кВ.....	28
РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ СИСТЕМИ	
ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ВИРОБНИЧО-СКЛАДСЬКОГО	
КОМПЛЕКСУ.....	32
2.1. Розрахунок електричних навантажень.....	32
2.2. Картограма електричних навантажень.....	38
2.3. Компенсація реактивної потужності.....	40
2.4. Розробка схеми електропостачання на напругу вище 1 кВ.....	43

2.5. Розрахунок струмів короткого замикання.....	45
2.6. Вибір перетинів струмопровідних елементів і електричних апаратів напругою вище 1 кВ.....	50
2.7. Організація управління енергогосподарством.....	61
ВИСНОВКИ.....	62
СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ...	64

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ГПП - головна понижувальна підстанція  
ДРЛ - дугова ртутна лампа  
ДРП - джерело реактивної потужності  
ЕА - електричний апарат  
ЕП - електроприймач  
ЕРС - електрорушійна сила  
КБ - конденсаторна батарея  
КЗ - коротке замикання  
КУ - конденсаторна установка  
ЛЕП - лінія електропередачі  
НН - низька напруга  
РП - розподільний пункт  
СД - синхронний двигун  
СЕП - система електропостачання  
ТЕО - техніко-економічне обґрунтування  
ТН - трансформатор напруги  
ТП - трансформаторна підстанція  
ТС - трансформатор струму  
ЦЕН - центр електричних навантажень  
ЦРП - центральний розподільний пункт

## ВСТУП

**Актуальність:** Основною метою сучасних промислових підприємств є висока конкурентоспроможність. Це, в свою чергу, вимагає постійного розвитку самих компаній, які хочуть залишатися успішними в своїй сфері діяльності.

Склади є важливим елементом у діяльності промислових підприємств, оскільки призначені для вирівнювання тимчасової різниці між випуском продукції та її споживанням, що дозволяє в свою чергу здійснювати безперервне виробництво та постачання. Від ефективності управління складською діяльністю залежить оптимальність роботи виробничого підприємства. Отже, використання складських приміщень повинно бути ефективним і грамотно організованим.

Виробничо-складські приміщення та комплекси - це склади, де відбуваються процеси виробництва, контролю та керування підприємством. За використанням складських приміщень поділяються на:

- Безпосередньо виробничий склад, де знаходяться цехи та виробниче обладнання(забезпечується повний цикл виробництва);
- Сховища для техніки та матеріалів;
- Офіси адміністративного апарату;
- Приміщення, де виробляються та зберігаються вибухонебезпечні та горючі матеріали.

В дипломному проекті увагу приділено першому типу складських приміщень.

Обов'язковою умовою для роботи будь-якого виробничо-складського комплексу є його стабільне і повноцінне електропостачання.

При оцінці якості складів враховується також енергоефективність приміщень. Європейська директива енергетичної ефективності будівель (EPBD) встановила мінімальні стандарти споживання енергії у всіх приміщеннях, у тому числі складських.

Для виробничо-складського комплексу основними джерелами енергії залишаються електрика і газ. Для скорочення споживання енергії в складських



приміщеннях ведеться розробка розумних систем внутрішнього і зовнішнього освітлення, створення замкнених схем електропостачання на підприємстві, удосконалюються герметичність приміщень і теплоізоляція. Це дозволяє економно витратити електроресурси, грамотно розподіляти потужності всередині мережі. Використання застарілих технологій освітлення збільшує рівень споживання електроенергії для освітлення складу до 70%. Установка датчиків руху і високоефективне освітлення може заощадити від 30 до 90% електроенергії. Таким чином, при розробці та проектуванні енергозберігаючої системи електропостачання має застосовуватися комплексний підхід, який враховує всі особливості будівлі, від яких залежить ефективність системи.

Ще однією особливістю, яку варто відзначити при проектуванні СЕП виробничо-складського комплексу, є низький коефіцієнт потужності споживачів та різко змінне навантаження. Тому для зниження високочастотних гармонік і підвищення коефіцієнта потужності до значень 0,92-0,95 актуальним заходом є використання установок компенсації реактивної потужності. Це дозволить уникнути перевантажень і додаткових втрат в шинопроводах, а також вибрати менший перетин кабелю живлення і номінал ввідних апаратів.

**Мета дипломного проекту** – комплексне проектування системи електропостачання виробничо-складського комплексу.

**Об'єкт дослідження** – процеси електропостачання виробничо-складського комплексу.

**Предмет дослідження** – технічні засоби комплектації системи електропостачання 0,4 і 10 кВ.

**Практичне значення отриманих результатів:** Матеріали дипломного проекту можуть бути використані для удосконалення або подальшого розвитку систем електропостачання промисловими підприємствами.

**Завдання до дипломного проекту:**

—Проаналізувати виробничо-складський комплекс як об'єкт електропостачання.

—Розрахувати електричні навантаження системи електропостачання виробничо-складського комплексу та здійснити вибір місця ЦРП, РП і ЦТП

—Розрахувати та обрати складові системи електропостачання комплексу напругою 0,4 та 10 кВ

# РОЗДІЛ 1

## ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ВИРОБНИЧО-СКЛАДСЬКОГО КОМПЛЕКСУ

### 1.1. Опис технологічного процесу

Заготовчий цех. Початкові матеріали для заготовчого цеху поступають з інших заводів. Початковим матеріалом для цеху є листовий і прутковий метал, а також метал у вигляді брусків. Цех обладнаний ножицями, гільйотин, для різання листа товщиною від 0,5 до 70 мм, відрізними верстатами для круга діаметром до 350 мм, гаммою кривошипних пресів для штампування і заготівки з листового металу, пресом зусиллям 1000 т для листових деталей розміром 2000x3000 мм. У даному цеху проводиться заготівка деталей для їх подальшої обробки в інших цехах. Прокат і прутки ріжуться на заготовки на ножицях, гільйотинах, кривошипних пресах, а також на відрізних верстатах. Для заготівки деталей з крупних листів застосовується прес. Для переміщення заготовок по території цеху застосовуються кран-балки.

Цех механічної обробки. У цеху механічної обробки віддаляються зайві припуски, контури заготовок максимально наближаються до майбутніх деталей. У цеху розташовується наступне устаткування:

- координатно-розточувальні, шліфувальні верстати, що мають високу точність обробки та подовжньо-оброблювальні верстати фрезерної й строгальної груп з габаритом деталей до 6000 мм.

- ділянка верстатів з ЧПУ, що включають оброблювальні центри і верстати з програмним управлінням;

- метизна ділянка з групою токарно-револьверних напівавтоматів і автоматів, шести шпінделів, для обробки матеріалу, прутків, товщиною від 8 до 40 мм;

- термоконстантного відділення з поряд прецизійних шліфувальних верстатів для обробки точних тіл обертання, гвинтових пар і шпінделів;

- ділянка зубчатих коліс, що включає зубообробні верстати для косозубих і прямозубих зубчатих коліс, зокрема конічних, з діаметром до 1000 мм і модулем до 12, черв'ячних передач з модулем до 4, рейкових до 8 мм.

- ділянка виготовлення гідроциліндрів діаметром від 50 до 160 мм і довжиною ходу 1440 мм.

Для переміщення заготовок по території цеху застосовуються кран-балки.

Ковальський цех. Обладнаний молотами зусиллям до 1 тони. Молоти застосовуються для штампування найбільш крупних деталей. Для переміщення заготовок по території цеху застосовуються кран-балки.

Інструментальний цех. Оснащений устаткуванням для нормалізації заготовок в соляних ваннах. Для переміщення заготовок по території цеху застосовуються кран-балки.

Гальванічний цех. У цьому цеху знаходиться устаткування для нанесення покриттів методом хромування, цинкування і хімічного оксидування, виготовлення табличок методом фотодруку. Для переміщення заготовок по території цеху застосовуються кран-балки.

Складально-зварювальний цех. Обладнаний стендами для зварювальних робіт і напівавтоматами для зварки в середовищі вуглекислого газу. Зварювальні конструкції виготовляються будь-якої маси, габаритів і ступеня складності з використанням ручної дугової зварки й автоматичної зварки в CO<sub>2</sub>. Для переміщення заготовок по території цеху застосовуються кран-балки.

Склад готової продукції. Для переміщення продукції по території складу застосовуються кран-балки.

**1.2. Характеристика споживачів електроенергії виробничо-складського комплексу**

До першої категорії відносяться електроприймачі, перерва електропостачання яких може спричинити за собою небезпека для життя людей, значний збиток народному господарству, пошкодження дорогого обладнання, масовий брак продукції, розлад складного технологічного процесу, порушення функціонування особливо важливих елементів комунального господарства. З їх складу виділяється особлива група електроприймачів, безперебійна робота яких необхідна для безаварійного останову підприємства з метою запобігання загрози життя людей, вибухів, пожеж і пошкодження дорогого основного устаткування.

У другу категорію входять електроприймачі, перерва електропостачання яких приводить до масового недовипуску продукції, масовим простоєм робочих, механізмів і промислового транспорту.

До третьої категорії відноситься вся решта електроприймачів, не відповідних під визначення першої і другої категорій.

На проектованому виробничо-складському комплексі відповідно до вище викладеним визначимо категорії по надійності електропостачання кожного цеху. Дані зведемо в табл. 1.1.

Таблиця 1.1

Характеристика споживачів по ступеню надійності електропостачання

№ цехи	Найменування цеху	Категорія надійності
1	Заготовчий цех	1
2	Цех механічної обробки	2
3	Ковальський цех	2
4	Термічний цех	2
5	Гальванічний цех	2

6	Складально-зварювальний цех	2
7	Склад готової продукції	2
8	Адміністративний корпус	2

### 1.3. Розрахунок розподільної мережі ділянки цеху механічної обробки

#### 1.3.1. Вибір електродвигунів.

Електродвигуни для приводів виробничих механізмів вибираємо по напрузі, потужності, режиму роботи, частоті обертання і умовам навколишнього середовища.

Умова вибору електродвигуна

$$P_H > P_{\text{мех}}, \quad (1.1)$$

де  $P_H$  - номінальна потужність електродвигуна, кВт;  $P_{\text{мех}}$  - потужність приводного механізму, кВт.

Як розрахункового приймаємо як цех механічної обробки. Виходячи з [4], табл.1.2 і умови вибору, вибираємо електродвигуни для устаткування. Виходячи з того, що приміщення відноситься до категорії В1а вибираємо асинхронні електродвигуни у вибухозахищеному виконанні із ступенем захисту IP 54.

Для прикладу виберемо двигун до токарно-револьверного напівавтомата 16-18.

$$7,5 \text{ кВт} > 6,9 \text{ кВт.}$$

Приймаємо електродвигун АИР112М2  $P_{\text{ном}}=7,5\text{кВт}$ ;  $\eta=87,5\%$ ;  $\cos\phi=0,8$ ;  $\frac{I_{\text{пуск}}}{I_H}$   
 $=7,5$ ;  $U_{\text{ном}}=380 \text{ В}$ .

Розрахуємо номінальний струм електродвигуна по формулі

$$I_H = \frac{P_H \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos\phi_H \cdot \eta_H} \cdot \quad (1.2)$$

$$I_H = \frac{7,5 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,88 \cdot 0,875} = 14,8 \text{ А.}$$

Розрахуємо пусковий струм електродвигуна по формулі

$$I_{\text{пуск}}=I_{\text{н}} \cdot K_{\text{п}}, \quad (1.3)$$

де  $K_{\text{п}}$ - коефіцієнт пуску.

$$I_{\text{пуск}}=14,8 \cdot 7,5=110,9 \text{ А.}$$

Вибір двигунів до решти електроприймачів проводимо аналогічно.

Початкові дані по встановленій потужності електродвигунів і результати вибору знесені в таблицю 1.2. Паспортні і розраховані дані вибраних двигунів представлені в таблиці 1.3.

Таблиця 1.2

### Результати вибору електродвигунів

N	Найменування верстата	P <sub>мех</sub> , кВт	Марка двигуна	P <sub>н</sub> , кВт
12,20,27,35	Вентилятор	0,4	AIP71A4	0,55
1-8	Верстати з програмним управлінням	2,8	AIP100S4	3
		5	AIP112M4	5,5
9-11	Оброблювальний центр	10	AIP132M4	11
		6,6	AIP112M2	7,5
		2,8	AIP100S4	3
13,31,37	Вертикально-свердлувальний верстат	29	AIP180M4	30
		6,9	AIP112M2	7,5
14,15,21 24-26,38-44	Кругло-шліфувальний верстат	7,2	AIP112M2	7,5
16-18	Токарно-револьверний напівавтомат	6,9	AIP112M2	7,5
19	Шестишпіндельний автомат	21	AIP180S2	22
		2,9	AIP100S4	3
22,23,45-48	Токарний верстат	9	AIP132M4	11
28-30	Шліфувальна установка	10	AIP132M4	11



		2,7	АИР100S4	3
32,36	Зубообробний верстат	2,9	АИР100S4	3
33,34	Зубообробний верстат	21	АИР180S2	22
49-51	Заточний верстат	3	АИР100S4	3
		0,49	АИР71A4	0,55
52-56,83-86	Фрезерний верстат	7,4	АИР112M2	7,5
57-65	Токарний верстат	6,9	АИР112M2	7,5
66,67,69-80	Строгальний верстат	5	АИР112M4	5,5
		2,9	АИР100S4	3
68	Подовжньо-обробний верстат	7,4	АИР112M2	7,5
81,82	Координатно-розточувальні верстати	10,5	АИР132M4	11
		2,8	АИР100S4	3
		0,52	АИР71A4	0,55

Номінальна потужність електродвигунів повторно-короткочасного режиму (кран-балка) повинна приводитися до тривалого режиму по формулі

$$P_{ном.д} = P_n \sqrt{ПВ_n}, \quad (1.4)$$

де  $P_n$  - паспортна потужність електродвигуна, кВт;  $ПВ_n$  - паспортна тривалість включення у відносних величинах.

Таблиця 1.3

#### Паспортні дані електродвигунів

Тип двигуна	$P_n$ , кВт	ККД %	$\cos \varphi$	$\frac{I_{пуск}}{I_n}$	$I_{ном}$ , А	$I_{пуск}$ , А
АИР71A4	0,55	71	0,73	5	1,6	8
АИР100S4	3	82	0,83	7	6,7	47
АИР112M4	5,5	85,5	0,86	7	11,4	79,6
АИР112M2	7,5	87,5	0,88	7,5	14,8	110,9
АИР132M4	11	88,5	0,85	7,5	22,2	166,8

АИР180S2	22	90,5	0,89	7	41,5	290,8
АИР180М4	30	92	0,87	7	57	399

Визначимо номінальну потужність приведену до тривалого режиму, для двигуна кран-балки: МТКФ312–6,  $P_n=15$  кВт і  $PВ=40$  % по формулі (1.4)

$$P_{ном.д}=15 \sqrt{0,4} =9,49 \text{ кВт.}$$

Розрахунок номінальної потужності для решти електродвигунів кран-балки аналогічний. Результати зводимо в табл. 1.4.

Таблиця 1.4

Результат вибору електродвигунів для кран-балки

№	Тип двигуна	$P_{мех},$ кВт	$P_n,$ кВт	$P_{ном},$ кВт	ПВ, %	ККД %	$\cos \varphi$	$I_{ном},$ А	$I_{пуск},$ А
1	МТКФ312-6	14,2	15	9,49	40	81,0	0,78	22,8	205
2	МТКФ112-6	4,8	5	3,16	40	74,0	0,74	8,76	53
3	МТКФ311-6	10	11	6,96	40	77,5	0,76	17,9	130

1.3.2. Вибір пускової і захисної апаратури.

Для прикладу проведемо вибір для електродвигуна токарно-револьверного напівавтомата 16-18. Як комутаційні апарати вибираємо магнітні пускачі серії ПМЛ. Вибір здійснюється по ступеню захисту від дії навколишнього середовища, номінальній напрузі і по нерівності:

$$I_{нп} > I_p, \quad (1.5)$$

де  $I_{нп}$  – номінальний струм контактів пускача, А;  $I_p$  – розрахунковий струм приймача, А; для одного двигуна приймаємо рівним номінальному струму.

Розрахунковий струм двигуна напівавтомата рівний 14,8 А. По (1.5) і по [2] вибираємо магнітний пускач ПМЛ 221002  $I_{\text{пн}}=22\text{А}$ , IP54.

Для захисту двигуна від перевантажень вибираємо теплові реле серії РТЛ по формулі:

$$I_{\text{тр}} > I_{\text{р}}, \quad (1.6)$$

де  $I_{\text{тр}}$  – струм теплового розчіплювача, А.

По (1.6) і по [2] вибираємо теплове реле РТЛ102104  $I_{\text{тр}}=25\text{ А}$ ;  $I_{\text{ср}}=13\text{-}18\text{ А}$ .

Для захисту двигуна від струмів КЗ вибираємо автоматичні вимикачі

$$I_{\text{на}} > I_{\text{трив}}; \quad (1.7)$$

$$I_{\text{нр}} > I_{\text{трив}}, \quad (1.8)$$

де  $I_{\text{на}}$  - номінальний струм автоматичного вимикача, А;  $I_{\text{нр}}$  - номінальний струм розчіплювача автоматичного вимикача, А;  $I_{\text{трив}}$  – тривалий струм лінії, А.

По (1.7) і (1.8) і по [2] вибираємо автоматичний вимикач типу ВА51Г–25  $I_{\text{на}}=25\text{ А}$   $I_{\text{нр}}=16\text{ А}$ .

Визначаємо необхідне значення кратності струмового відсічення:

$$K_{\text{то}} = \frac{1,25 I_{\text{пуск}}}{I_{\text{нр}}}, \quad (1.9)$$

де  $I_{\text{пуск}}$  – пусковий струм двигуна, А.

$$K_{\text{то}} = \frac{1,25 \cdot 110,9}{16} = 8,6.$$

Приймаємо  $K_{\text{то}}=10$ .

Струм спрацьовування автоматичного вимикача:

$$I_{\text{ср}} = K_{\text{то}} \cdot I_{\text{нр}}. \quad (1.10)$$

$$I_{\text{ср}} = 10 \cdot 16 = 160\text{ А}.$$

Перевіряємо умову неспрацьовування апарату при пуску:

$$I_{CP} \geq 1,25 I_{пуск} \cdot \quad (1.11)$$

$$160 \geq 1,25 \cdot 110,9 = 138,6 \cdot$$

Остаточно приймаємо даний автоматичний вимикач.

Для захисту мережі від струмів КЗ вибираємо запобіжники за наступними умовами. Номінальний струм плавкої вставки  $I_{вс}$  запобіжника визначається:

$$I_{вс} \geq I_p, \quad (1.12)$$

$$I_{вс} \geq \frac{I_{пик}}{\alpha} = \frac{I_{пуск}}{\alpha}. \quad (1.13)$$

де  $I_{пик}$  і  $I_{пуск}$  - відповідно піковий і пусковий струми, А;  $\alpha$  - коефіцієнт короткочасного теплового перевантаження.

При виборі запобіжника для одного електродвигуна IP приймається як його номінальний струм  $I_n$ , а як ІКР - пусковий струм  $I_{по}$  (1.12) і (1.13) і по [2] вибираємо запобіжник ПН2-100/63  $\alpha = 2,5$  оскільки умови пуску легені:

Проведемо такі ж розрахунки для дводвигунового приводу шліфувальної установки 28-30. Схеми двох і тривдвигунного приводу показані на рис. 1.1.

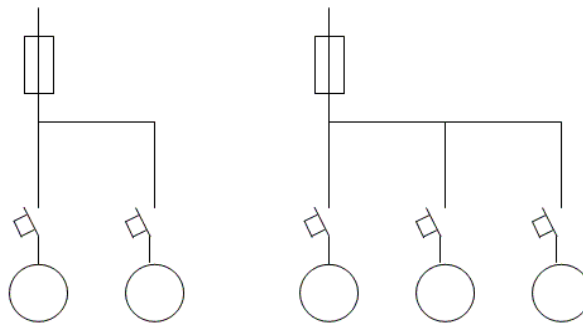


Рис. 1.1. Схеми багаторухових приводів

Вибрані двигуни АИР100S4А;  $P_n=3$  кВт  $\cos\varphi=0,83$ ,  $\eta=0,82$ ,  $I_n/I_n=7$  і АИР132М4  $P_n=11$  кВт  $\cos\varphi=0,85$ ,  $\eta=0,885$ ,  $I_n/I_n=7,5$

Окремо для кожного двигуна проводимо такі ж розрахунки, як описувалося вище, тобто проводимо вибір захисної і комутаційної апаратури.

По [2] визначаємо коефіцієнт використання  $k_{и}=0,12$ , коефіцієнт потужності  $\cos\varphi=0,4$ ,  $\operatorname{tg}\varphi=2,29$ .

Знаходимо ефективне число електроприймачів

$$n_{e\phi} = \frac{\left(\sum_{i=1}^n P_i\right)^2}{\sum_{i=1}^n P_i^2}, \quad (1.14)$$

де  $P_i$  - потужності двигунів у верстаті, кВт.

$$n_{e\phi} = \frac{(3+11)^2}{3^2+11^2} = 1,5.$$

Приймаємо  $n_{e\phi}=1$ .

Знаходимо коефіцієнт розрахункового навантаження  $k_p$ .

Інтерполюємо  $k_p$  по формулі

$$k_p = \frac{k_{IB} - k_I}{k_{IB} - k_{IM}} (k_{PB} - k_{PM}) + k_{PM}. \quad (1.15)$$

$$k_p = \frac{(0,15 - 0,12)}{(0,15 - 0,1)} (8 - 4,33) + 4,33 = 6,59$$

Визначаємо активне розрахункове навантаження

$$P_p = k_I \cdot k_p \cdot \sum_{i=1}^n P_{номі}. \quad (1.16)$$

$$P_p = 6,59 \cdot 0,12(11+3) = 11,1 \text{ кВт.}$$

Визначаємо розрахункове реактивне навантаження при  $n_{e\phi} \leq 10$

$$Q_p = 1,1 \cdot k_I \cdot \operatorname{tg}\varphi \cdot \sum_{i=1}^n P_{номі}. \quad (1.17)$$

При  $n_{e\phi} > 10$

$$Q_p = k_I \cdot \operatorname{tg}\varphi \cdot \sum_{i=1}^n P_{номі}. \quad (1.18)$$

$$Q_p = 1,1 \cdot (0,12 \cdot 2,29(11+3)) = 4,23 \text{ кВАр.}$$

Визначаємо розрахунковий струм

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{\sqrt{P_p^2 + Q_p^2}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}. \quad (1.19)$$

$$I_p = \frac{\sqrt{11,1^2 + 4,23^2}}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 18,05 \text{ А.}$$

Піковий струм в лінії при  $n = 2$  розраховуємо по формулі

$$I_{пик} = I_{пmax} + I_{ном min}, \quad (1.20)$$

де  $I_{пmax}$  - пусковий струм найбільшого електродвигуна, А;  $I_{ном min}$  - номінальний струм меншого по потужності двигуна, А.

$$I_{пик} = 166,8 + 6,7 = 173,5 \text{ А.}$$

По (1.12) і (1.13) і по [2] вибираємо запобіжник ПН2-100/80  $\alpha = 2,5$  оскільки умови пуску легкі.

Результати вибору комутаційної і захисної апаратури представлені в таблиці 1.5.

Проведемо такі ж розрахунки для тридвигунного приводу оброблювального центру 9-11.

Вибрані двигуни АИР132М4;  $P_H=11$  кВт  $\cos\varphi=0,85$ ,  $\eta=0,885$ ,  $I_n/I_H=7,5$ ,

АИР112М2  $P_H=7,5$  кВт  $\cos\varphi=0,88$ ,  $\eta=0,875$ ,  $I_n/I_H=7,5$ ,

АИР100S4  $P_H=3$  кВт  $\cos\varphi=0,83$ ,  $\eta=0,82$ ,  $I_n/I_H=7$ .

Окремо для кожного двигуна проводимо такі ж розрахунки, як описувалося вище, тобто проводимо вибір захисної і комутаційної апаратури.

По [2] визначаємо коефіцієнт використання  $k_B = 0,2$ , коефіцієнт потужності  $\cos\varphi=0,6$ ,  $\text{tg } \varphi = 1,33$ .

Знаходимо ефективне число електроприймачів по формулі (1.14)

$$n_{ef} = \frac{(3+11+7,5)^2}{3^2 + 11^2 + 7,5^2} = 2,48.$$

Приймаємо  $n_{\text{эф}}=2$ .

Знаходимо коефіцієнт розрахункового навантаження  $k_p=3,39$ .

Визначаємо активне розрахункове навантаження по формулі (1.16)

$$P_p = 3,39 \cdot 0,2(7,5 + 11 + 3) = 14,6 \text{ кВт.}$$

Визначаємо розрахункове реактивне навантаження по формулі (1.17)

$$Q_p = 1,1 \cdot (0,2 \cdot 1,33(7,5 + 11 + 3)) = 6,3 \text{ кВАр.}$$

Визначаємо розрахунковий струм по формулі (1.19)

$$I_p = \frac{\sqrt{14,6^2 + 6,3^2}}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 24,2 \text{ А.}$$

Піковий струм в лінії при  $n=3$  розраховуємо по формулі:

$$I_{\text{пik}} = I_{\text{пускмакс}} + (I_p - k_v \cdot I_{\text{номмакс}}), \quad (1.21)$$

де  $I_{\text{пускмакс}}$  - пусковий струм найбільшого електродвигуна, А;

$I_{\text{номмакс}}$  - номінальний струм більшого по потужності двигуна, А.

$$I_{\text{пik}} = 166,8 + (24,2 - 0,2 \cdot 22,2) = 185,6 \text{ А.}$$

По (1.12) і (1.13) і по [2] вибираємо запобіжник ПН2-100/80  $\alpha = 2,5$  оскільки умови пуску легкі. Результати вибору комутаційної і захисної апаратури представлені в табл. 1.5.

### 1.3.3. Вибір дротів.

Дроти і кабелі вибираємо за наступними умовами:

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{I_{\text{ДЛ}}}{k_{\text{П}}}, \quad (1.22)$$

де  $I_{\text{доп}}$  – допустимий струм дроту, А;  $k_{\text{П}}$  - поправочний коефіцієнт, що враховує температуру в цеху.

Перевіряємо вибраний перетин по умові відповідності апарату  
максимальному струмового захисту

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{I_3 \cdot k_3}{k_{\text{П}}}, \quad (1.23)$$

де  $k_3$  - кратність тривало-допустимого струму провідника по відношенню до  
номінального струму або струму спрацьовування захисного апарату;

$I_3$  - номінальний струм (струм спрацьовування) захисного апарату.

Для відгалуження до електродвигуна

$$I_{\text{доп}} \geq 1,25 \cdot I_{\text{ном}}. \quad (1.24)$$

Для прикладу виберемо дроти для шліфувальної установки 28-30 для  
двигуна потужністю 11 кВт (приклад вибору захисної і комутаційної апаратури  
для цього верстата показаний в пункті 1.3.2). Проводи прокладаємо в сталевих  
трубах у підлозі. Вибираємо провід АПВ-4(1×4), оскільки виконується умова  
(1.22) 23>22.

Таблиця 1.5

### Вибір комутаційної і захисної апаратури

N	Найменування верстата	$P_{\text{ном}}$ кВт	Пускач	Теплове реле	Автоматичний вимикач $I_{\text{на}}/I_{\text{нр}}$ А	Запобіжник
12,20,27,35	Вентилятор	,55	ПМЛ121002	РТЛ100704	ВА51Г-25-25/1,6	ПН2-100/63
1-8	Верстати з програмним управлінням	,5	ПМЛ121002 ПМЛ221002	РТЛ101204 РТЛ101604	ВА51-25-25/8 ВА51-25-25/12,5	ПН2-100/40
9-11	Оброблювальний центр	1 ,5	ПМЛ321002 ПМЛ221002 ПМЛ121002	РТЛ102204 РТЛ102104 РТЛ101204	ВА51-25-25/25 ВА51-25-25/16 ВА51-25-25/8	ПН2-100/80



13,31,37	Вертикально-свердлувальний верстат	0,5	ПМЛ321002 ПМЛ221002	РТЛ206104 РТЛ102104	ВА51Г-31-100/63 ВА51-25-25/16	ПН2-250/200
14,15,21 24-26,38-44	Круглошліфовальний верстат	,5	ПМЛ221002	РТЛ102104	ВА51-25-25/16	ПН2-100/63
16-18	Токарно-револьверний напівавтомат	,5	ПМЛ221002	РТЛ102104	ВА51-25/16	ПН2-100/63
19	Автомат, шестишпінделя	2	ПМЛ321002 ПМЛ121002	РТЛ101204	ВА51-31-100/50 ВА51-25-25/8	ПН2-250/125
22,23,45-48	Токарний верстат	1	ПМЛ321002	РТЛ102204	ВА51-25-25/25	ПН2-100/80
28-30	Шліфувальна установка	1	ПМЛ321002 ПМЛ121002	РТЛ102204 РТЛ101204	ВА51-25-25/25 ВА51-25-25/8	ПН2-100/80
32,36	Зубообробний верстат		ПМЛ121002	РТЛ101204	ВА51-25-25/8	ПН2-100/31,5
33,34	Зубообробний верстат	2	ПМЛ321002		ВА51-31-100/50	ПН2-250/125
49-51	Заточувальний верстат	,55	ПМЛ121002 ПМЛ121002	РТЛ101204 РТЛ100704	ВА51-25-25/8 ВА51Г-25-25/1,6	ПН2-100/31,5
52-56,83-86	Фрезерний верстат	,5	ПМЛ221002	РТЛ102104	ВА51-25-25/16	ПН2-100/63
57-65	Токарний верстат	,5	ПМЛ221002	РТЛ102104	ВА51-25-25/16	ПН2-100/63
66,67,69-80	Стругальний верстат	,5	ПМЛ221002 ПМЛ121002	РТЛ101604 РТЛ101204	ВА51-25-25/12,5 ВА51-25-25/8	ПН2-100/40
68	Подовжньо-оброблювальний верстат	,5	ПМЛ221002	РТЛ102104	ВА51-25-25/16	ПН2-100/63
81,82	Координатно-розточувальні верстати	1,55	ПМЛ321002 ПМЛ121002 ПМЛ121002	РТЛ102204 РТЛ101204 РТЛ100704	ВА51-25-25/25 ВА51-25-25/8 ВА51Г-25-25/1,6	ПН2-100/80
87	Кран-балка	5	ПМЛ321002 ПМЛ121002	РТЛ102204 РТЛ101404	ВА51-31-100/40 ВА51-25-25/16	ПН2-250/200

		1	ПМЛ221002	РТЛ102204	ВА51-31-100/31,5	
--	--	---	-----------	-----------	------------------	--

Таблиця 1.6

Дані використовуваних магнітних пускачів

Тип пускача	Ступінь захисту	Номінальний струм, А
ПМЛ221002	IP54	22
ПМЛ121002	IP54	10
ПМЛ321002	IP54	36
ПМЛ321002	IP54	60

Таблиця 1.7

Дані використовуваних теплових реле

Тип теплового реле	Ном. струм пускача, А	Номінальний струм теплового реле, А	Струм теплового елемента, А	
			Середнє значення	Межі регулювання
РТЛ102204	25	25	21,5	18-25
РТЛ101204	10	25	6,8	5,5-8,8
РТЛ101604	10	25	12	9,5-14
РТЛ206104	60	62,5	66	55-77
РТЛ102104	10	25	16	13-18
РТЛ100704	10	25	2	1,5-2,6
РТЛ101404	10	8	8,5	7-10

Виконуємо перевірку перетину по умові відповідності автоматичному вимикачу по (3.23), при цьому  $k_3$  приймаємо рівним 1

$$23 < \frac{25 \cdot 1}{1}.$$

Умова не виконується, приймаємо провід більшого перетину. Вибираємо провід АПВ-4(1х6) $I_{\text{доп}}=30$  А.

$$I_{\text{доп}} = 30 \text{ А} \geq 1,25 \cdot 22,2 = 27,75 \text{ А.}$$

Умова виконується, остаточно приймаємо дріт АПВ-4(1х6).

Результати вибору перетину дротів приведені в таблиці 1.8.

При цьому враховуємо, що від двигуна до автоматичного вимикача прокладаємо чотири проводи, від автоматичного вимикача до СП прокладаємо п'ять проводів.

Всі проводи марки АПВ за винятком кран-балки, у якій від автоматичних вимикачів до тролєї прокладаємо гнучкий кабель марки КГ.

Таблиця 1.8

### Вибір дротів

N	Найменування верстата	$I_{\text{ном}}$ , А	Марка проводу	$I_{\text{доп}}$ , А
12,20,27,35	Вентилятор	1,6	АПВ-4(1х2,5)	19
1-8	Верстати з програмним управлінням	6,7	АПВ-4(1х2,5)	19
		11,4	АПВ-4(1х2,5)	19
9-11	Оброблювальний центр	22,2	АПВ-4(1х6)	30
		14,8	АПВ-4(1х2,5)	19
		6,7	АПВ-4(1х2,5)	19
13,31,37	Вертикально-свердлувальний верстат	57	АПВ-3(1х35)+1(1х25)	85
		14,8	АПВ-4(1х2,5)	19
14,15,21 24-26,38-44	Круглошліфовальний верстат	14,8	АПВ-4(1х2,5)	19
16-18	Токарно-револьверний напівавтомат	14,8	АПВ-4(1х2,5)	19

19	Автомат, шестишпінделя	41,5	АПВ-4(1x16)	55
		6,7	АПВ-(1x2,5)	19
22,23,45-48	Токарний верстат	22,2	АПВ-4(1x6)	30
28-30	Шліфувальна установка	22,2	АПВ-3(1x6)	30
		6,7	АПВ-4(1x2,5)	19
32,36	Зубообробний верстат	6,7	АПВ-4(1x2,5)	19
33,34	Зубообробний верстат	41,5	АПВ-4(1x16)	55
49-51	Заточний верстат	6,7	АПВ-4(1x2,5)	19
		1,6	АПВ-4(1x2,5)	19
52-56,83-86	Фрезерний верстат	14,8	АПВ-4(1x2,5)	19
57-65	Токарний верстат	14,8	АПВ-4(1x2,5)	19
66,67,69-80	Стругальний верстат	11,4	АПВ-4(1x2,5)	19
		6,7	АПВ-4(1x2,5)	19
68	Подовжньо-оброблювальний верстат	14,8	АПВ-4(1x2,5)	19
81,82	Координатно-розточувальні верстати	22,2	АПВ-4(1x6)	30
		6,7	АПВ-4(1x2,5)	19
		1,6	АПВ-4(1x2,5)	19
87	Кран-балка	22,8	КГ-4(1x6)	42
		8,76	КГ-4(1x1,5)	20
		17,9	КГ-4(1x4)	35

Провід від автомата до розподільної шафи

$$I_{\text{доп}} = 30A \geq \frac{I_p}{k_n} = \frac{18,05}{1} = 18,05A,$$

$$I_{\text{доп}} = 30A \geq \frac{\kappa_z \cdot I_z}{k_n} = \frac{0,33 \cdot 80}{1} = 26,4A.$$

Остаточно приймаємо до установки дрід АПВ-5(16)  $I_{\text{доп.}}=30A$ .

Дані зведені в табл 1.9.

Розрахунок тролейної лінії для кран-балки 87.

## Результати вибору проводів і кабелів до розподільних щитів

N	Найменування верстата	$I_{розр}, A$	Марка дроти	$I_{дон} A$
12,20,27,35	Вентилятор	1,6	АПВ-5(1х3)	21
1-8	Верстати з програмним управлінням	9,6	АПВ-5(1х2,5)	19
9-11	Оброблювальний центр	24,2	АПВ-5(1х5)	27
13,31,37	Вертикально-свердлувальний верстат	39,3	АПВ-4 (1х35)+1(1х25)	85
14,15,21 24-26,38-44	Круглошліфовальний верстат	14,8	АПВ-5(1х3)	21
16-18	Токарно-револьверний напівавтомат	14,8	АПВ-5(1х3)	21
19	Автомат, шестишпінделя	32,3	АПВ-5(1х16)	55
22,23,45-48	Токарний верстат	22,2	АПВ-5(1х5)	27
28-30	Шліфувальна установка	18,05	АПВ-5(1х5)	27
32,36	Зубообробний верстат	6,7	АПВ-5(1х3)	21
33,34	Зубообробний верстат	41,5	АПВ-5(1х16)	55
49-51	Заточний верстат	6,75	АПВ-5(1х3)	21
52-56,83-86	Фрезерний верстат	14,8	АПВ-5(1х3)	21
57-65	Токарний верстат	14,8	АПВ-5(1х3)	21
66,67,69-80	Стругальний верстат	6,88	АПВ-5(1х2,5)	19
68	Подовжньо-оброблювальний верстат	14,8	АПВ-5(1х2,5)	19
81,82	Координатно-розточувальні верстати	15,3	АПВ-5(1х6)	30
87	Кран-балка	54,7	КГ- 4(1х25)+1(1х16)	105

Розрахунок зводиться до вибору розмірів кутової сталі або типу тролейного шинопроводу, задовольняючого умовам нагріву і допустимій втраті напруги.

$$I_{\text{доп}} \leq I_{\text{макс}} \cdot \quad (1.25)$$

Величину струму  $I_{\text{макс}}$  визначають по формулі

$$I_{\text{макс}} = \frac{\sqrt{(P_{\text{потр}} \times \kappa_{\text{зо}})^2 + (P_{\text{потр}} \times \kappa_{\text{зо}} \times \text{tg}\varphi)^2}}{\sqrt{3} \times U_{\text{ном}}}, \quad (1.26)$$

де  $P_{\text{потр}}$  - споживана потужність установки, крана, при номінальному навантаженні, кВт;  $\kappa_{\text{зо}}$  - коефіцієнт попиту для установки, крана, визначуваний залежно від режиму роботи і приведенного числа електроприймачів;  $\text{tg}\varphi$  - середнє значення коефіцієнта потужності.

Величина споживаної потужності

$$P_{\text{потр}} = \sum_{i=1}^n \frac{P_{\text{номі}}}{\eta_i}, \quad (1.27)$$

де  $n$  – число електродвигунів установки, крана;  $\eta_i$  - ккд  $i$ -ого двигуна.

При  $P_1 = 15$  кВт;  $P_2 = 5$  кВт;  $P_3 = 11$  кВт і  $\eta_1 = 0,81$ ;  $\eta_2 = 0,74$ ;  $\eta_3 = 0,775$ :

$$P_{\text{потр}} = \frac{15}{0,81} + \frac{5}{0,74} + \frac{11}{0,775} = 39,46 \text{ кВт.}$$

При  $P_{\text{потр}} = 39,46$  кВт;  $\kappa_{\text{зо}} = 0,5$ ;  $\text{tg}\varphi = 1,73$  по формулі (1.26)

$$I_{\text{MAX}} = \frac{\sqrt{(39,46 \cdot 0,5)^2 + (39,46 \cdot 0,5 \cdot 1,73)^2}}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 59,9 \text{ А.}$$

Визначаємо піковий струм по формулі (1.21):

$$I_{\text{нік}} = 205 + (34,8 - 0,35 \cdot 22,8) = 231 \text{ А.}$$

Приймаємо кутову сталь 50Ч50Ч5 при  $I_{нік} = 315$  А з коефіцієнтом питомих втрат напруги  $m = 0,07\%/м$ .

Вибраний розмір кутової сталі перевіряємо на допустиму втрату напруги:

$$\Delta U = m \cdot l, \quad (1.28)$$

де  $m$  – питома втрати напруги  $\%/м$ ;  $l$  – відстань від точки приєднання живлячої лінії до найбільш видаленого кінця тролєї, м.

При  $m = 0,07 \%/м$  і  $l = 66,7$  м:

$$\Delta U = 0,07 \cdot 66,7 = 4,69 \%$$

Напруга на затисках електродвигунів крана при всіх режимах роботи повинні бути не нижче 85% номінального. Остаточо приймаємо кутову сталь 50Ч50Ч5.

#### 1.4. Визначення електричних навантажень

Визначення електричних навантажень проводимо методом розрахункових коефіцієнтів. Для кожного електроприймача по довіднику підбирається середнє значення коефіцієнтів використання  $K_v$ , активної і реактивної потужності.

Дані про групи електроприймачів знесемо в табл. 1.10. Як приклад проведемо розрахунок електричних навантажень для групи А1.

Груповий коефіцієнт використання обчислюємо за формулою

$$K_e = \frac{\sum_{i=1}^n k_{vi} \cdot P_{номі}}{\sum_{i=1}^n P_{номі}}. \quad (1.29)$$

$$K_e = \frac{0,55 \cdot 0,8 + 6,3 \cdot 0,2 \cdot 8 + 15,9 \cdot 0,2 \cdot 3}{0,55 + 6,3 \cdot 8 + 15,9 \cdot 3} = 0,2.$$

Ефективне число електроприймачів по формулі (1.14)

$$n_{ef} = \frac{(0,55 + 6,3 \cdot 8 + 15,9 \cdot 3)^2}{0,55^2 + (6,3 \cdot 8)^2 + (15,9 \cdot 3)^2} = 2,02.$$

Приймаємо  $n_{ef}=2$ .

Визначимо коефіцієнт розрахункового навантаження, який приймається залежно від ефективного числа електроприймачів групи  $n_{ef}$  і групового коефіцієнта використання  $K_v$ , причому при розрахунку розподільних шаф, пунктів, та інших пристроїв, що живляться за допомогою дротів і кабелів, значення  $K_p$  беруться з [1]:  $K_p = 3,39$ .

Визначаємо розрахункове активне навантаження по формулі (1.13)

$$P_p = 3,39(0,55 \cdot 0,8 + 6,3 \cdot 0,2 \cdot 8 + 15,9 \cdot 0,2 \cdot 3) = 68 \text{ кВт.}$$

Визначаємо розрахункове реактивне навантаження по формулі (1.16)



$$Q_p = 1,1(0,55 \cdot 0,8 \cdot 0,75 + 6,3 \cdot 0,2 \cdot 8 \cdot 1,33 + 15,9 \cdot 0,2 \cdot 3 \cdot 1,33) = 29,1 \text{ кВАр.}$$

Таблиця 1.10

## Дані про групи електроприймачів

Група	Позиція	Найменування	$P_{\Sigma P}$ кВт	Кв	cos/tgφ
1	2	3	4	5	6
A1	12	Вентилятор	0,55	0,8	0,8/0,75
	1-4	Верстати з програмним управлінням	6,3	0,2	0,6/1,33
	9	Оброблювальний центр	15,9	0,2	0,6/1,33
A2	5-8	Верстати з програмним управлінням	6,3	0,2	0,6/1,33
	10,11	Оброблювальний центр	15,9	0,2	0,6/1,33
A3	13	Вертикально-свердлувальний верстат	25,8	0,12	0,4/2,29
	14,15	Кругло-шліфувальний верстат	7,5	0,12	0,4/2,29
	16-18	Токарно-револьверний напівавтомат	7,5	0,12	0,4/2,29
A4	21	Кругло-шліфувальний верстат	7,5	0,12	0,4/2,29
	19	Шестишпіндельний автомат	21,2	0,2	0,6/1,33
	20	Вентилятор	0,55	0,8	0,8/0,75
	22,23	Токарний верстат	11	0,12	0,4/2,29
A5	27	Вентилятор	0,55	0,8	0,8/0,75
	24-26	Кругло-шліфувальний верстат	7,5	0,12	0,4/2,29
	28-30	Шліфувальна установка	11,9	0,12	0,4/2,29
A6	35	Вентилятор	0,55	0,8	0,8/0,75
	33,34	Зубообробний верстат	22	0,12	0,4/2,29
	32,36	Зубообробний верстат	3	0,12	0,4/2,29
	31,37	Вертикально-свердлувальний верстат	25,8	0,12	0,4/2,29
A7	38-44	Кругло-шліфувальний верстат	7,5	0,12	0,4/2,29
	57-65	Токарний верстат	7,5	0,12	0,4/2,29
	45-47	Токарний верстат	11	0,12	0,4/2,29
	68	Подовжньо-оброблювальний верстат	7,5	0,12	0,4/2,29
	66,67,69,70,75,76	Стругальний верстат	4,5	0,12	0,4/2,29
A8	48	Токарний верстат	11	0,12	0,4/2,29

	71-74,77-80	Стругальний верстат	4,5	0,12	0,4/2,29
	49-51	Заточний верстат	4,4	0,12	0,4/2,29
	81,82	Координатно-розточувальні верстати	10,1	0,12	0,4/2,29
	52-56,83-86	Фрезерний верстат	7,5	0,12	0,4/2,29
A9	87	Кран-балка	39,5	0,35	0,5/1,73

Визначаємо повну розрахункову потужність по формулі

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} \quad (1.30)$$

$$S_p = \sqrt{68^2 + 29,1^2} = 73,9 \text{ кВА.}$$

Визначаємо розрахунковий струм по формулі (1.17)

$$I_p = \frac{73,9}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 112,4 \text{ А.}$$

Для решти груп проводимо аналогічний розрахунок. Результати зносимо в табл. 1.11.

Таблиця 1.11

Результати розрахунку навантажень по групах електроприймачів

Номер	$K_i$	$n_{\text{эф}}$	$K_p$	$P_p$ , кВт	$Q_p$ , кВАр	$S_p$ , кВА	$I_p$ , А
A1	0,208	1	4	34,64	12,39	36,79	55,8
A2	0,2	1	4	45,6	16,67	48,5	73,77
A3	0,12	2	5,43	41,24	19,1	45,46	69,08
A4	0,16	2	4,33	36,59	15,48	38,8	58,97
A5	0,126	2	5,44	40,38	17,95	44,2	67,15
A6	0,125	1	6,52	56,4	21,1	60,2	91,4
A7	0,12	3	3,02	65,23	54,4	84,9	129,1
A8	0,12	2	5,12	71,5	35,2	79,7	121,1
A9	0,15	-	-	12,73	3,79	13,2822	20,2

Визначаємо навантаження по цеху.

Визначаємо ефективне число електроприймачів по формулі

$$n_{\text{еф}} = \frac{2 \sum_{i=1}^n P_{\text{ном}i}}{P_{\text{ном max}}} \quad (1.31)$$

$$n_{\text{еф}} = \frac{2 \cdot 749}{37,5} = 39,9.$$

Приймаємо  $n_{\text{еф}} = 39$ .

По формулі (1.1) визначаємо середньозважений коефіцієнт використання

$$K_B = \frac{4 \cdot 0,55 \cdot 0,8 + 588 \cdot 0,12 + 119,3 \cdot 0,2 + 39,5 \cdot 0,35}{4 \cdot 0,55 + 588 + 119,3 + 39,5} = 0,146.$$

Знаходимо коефіцієнт розрахункового навантаження  $K_p$  по [2],  $K_p = 1,13$ .

Розрахункове активне навантаження групи визначаємо по формулі (1.16)

$$P_p = 1,13 \cdot (4 \cdot 0,55 \cdot 0,8 + 588 \cdot 0,12 + 119,3 \cdot 0,2 + 39,5 \cdot 0,35) = 124,3 \text{ кВт.}$$

Розрахункове реактивне навантаження групи визначаємо по формулі (1.18)

$$Q_p = 4 \cdot 0,55 \cdot 0,8 \cdot 0,75 + 588 \cdot 0,12 \cdot 2,29 + 119,3 \cdot 0,2 \cdot 1,33 + 39,5 \cdot 0,35 \cdot 1,73 = 218 \text{ кВАр.}$$

Розрахунковий струм визначаємо по формулі (1.19)

$$I_p = \frac{\sqrt{124,3^2 + 218^2}}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 381 \text{ А.}$$

### 1.5. Вибір схеми і розрахунок мережі напругою до 1 кВ

Живлення груп споживачів здійснюватимемо від розподільних шаф, які в свою чергу живитимемо від КТП, розташованої в цеху.

Для живлення групи споживачів А7 і А8 приймаємо шинопровід ШРА4-250  $I_H=250$  А при  $I_p=185$  А, електродинамічна стійкість 7 кА, ступінь захисту IP44.

По отриманих результатах в пункті 1.4 таблиця 1.11 проведемо вибір розподільних шаф.

Умова вибору:

$$I_{вр} > I_p, \quad (1.32)$$

де  $I_{вр}$  - номінальний струм ввідного рубильника, А.

А так само кількість запобіжників і їх типорозмір повинні відповідати кількості і розміру приєднань розподільної шафи.

Проведемо вибір на прикладі групи А1.

Приймаємо шафу ШР11-73705 з  $I_{вр}=400$  А. Перевіряємо по умові (1.32)

$$400 \text{ А} > 55,8 \text{ А.}$$

Для решти груп вибір проводимо аналогічно. Результати заносимо в таблицю 1.12.

Вибір кабелів для живлення розподільних шаф і шинопроводів проведемо за умовами (1.22)-(1.23). Результати вибору знесемо в табл. 1.13.

Вибрані перетини перевіряємо по відповідності апарату захисту. Вибрані панелі комплектуються запобіжниками, які вибираються за умовами селективності на 2-3 ступені вище. Для груп А6-А9 вибираємо лінійну панель ЩО70М-06. Для груп А1-А3 і А4,А5 вибираємо панель ЩО70М-05, від яких також живиться освітлювальна мережа. Для живлення сусіднього ковальського цеху для кожної секції вибираємо панелі ЩО70М-13, 400x1 з автоматичним вимикачем ВА51-37  $I_H=400$ А. Вибираємо ввідні панелі ЩО70М-19, ВА55-41  $I_H=1600$ А. Вибираємо секційну панель ЩО70М-35, ВА53-41  $I_H=1000$ А.

Таблиця 1.12

### Результати вибору розподільних шаф

Номер групи	I <sub>p</sub> , А	РП в цеху		Тип шафи в КТП
		Тип	I <sub>вр</sub> , А.	
A1	55,8	ШР11-73705	400	ЩО70М-05 (100х6)
A2	73,77	ШР11-73705	400	
A3	69,08	ШР11-73705	400	
A4	58,97	ШР11-73711	400	ЩО70М-05 (100х6)
A5	67,15	ШР11-73705	400	
A6	91,4	ШР11-73706	400	ЩО70М-06 (200х4)
A7	129,1	ШРА4-250	250	
A8	121,1	ШРА4-250	250	
A9	20,2	ЯБПУ-2	200	

Таблиця 1.13

### Результати вибору кабелів до розподільних шаф

Номер групи	I <sub>p</sub> , А.	I <sub>лік</sub> , А	Апарат захисту	Кабель АВВГ	
				Перетин	I <sub>доп</sub> , А
A1	55,8	220,8	ВА51-31-100/63	5х25	115
A2	73,77	238,7	ВА51-31-100/80	5х25	115
A3	69,08	469,8	ВА51-31-100/80	5х25	115
A4	58,97	344,8	ВА51-31-100/63	5х25	115
A5	67,15	225,4	ВА51-31-100/80	5х25	115
A6	91,4	377,23	ВА51-31-100/100	5х25	115
A7	129,1	223,9	ВА51-33-160/160	5х35	135
A8	121,1	219,5	ВА51-33-160/125	5х35	135
A9	20,2	231	ВА51-31-100/25	5х35	135

Виберемо низьковольтні кабелі, що живлять цехи, в яких не встановлені ТП. Вибір проведемо за умовами (1.22) (1.23). Результати вибору зведені в таблицю 1.14.

## Результати вибору низьковольтних кабелів до цехів

Кабель	I <sub>p</sub> , А.	Апарат захисту	Кабель АВВГ	
			Перетин	I <sub>доп</sub> , А
2хТП1 (заготовчий цех - гальванічний цех)	282	ВА51-33-160/160	4х120+1х70	295
2хТП2 (цех механічної обробки – ковальський цех)	230	ВА51-33-160/125	4х95+1х50	255
2хТП3 (інструментальний цех – склад готової продукції)	367	ВА51-37-400/250	4х185+1х95	385
2хТП4 (складально-зварювальний цех - адміністративний корпус)	131	ВА51-31-100/80	4х35+1х16	140

Розраховану систему електропостачання виробничо-складського комплексу (низьковольтна мережа) подано на рис.1.2



## РОЗДІЛ 2

### РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ВИРОБНИЧО-СКЛАДСЬКОГО КОМПЛЕКСУ

#### 2.1. Розрахунок електричних навантажень

У табл. 2.1 наведено склад силових приймачів по цехам комплексу.

Таблиця 2.1

Склад силових електроприймачів по цехах комплексу

N цеху	Найменування цеху	Номинальна потужність груп електроприймачів, кВт	$K_b$	$\cos \phi / \operatorname{tg} \phi$	$P_{\text{наіб}}$ , кВт
1	Заготовчий цех, 800 кВт	1.Ножиці, гільйотин, 300 2.Відрізні верстати 180 3.Кривошипні преси 120 4.Прес зусиллям 1 тонну 80 5.Вентиляція 55 6.Кран. устаткування 65	0,14 0,14 0,17 0,17	0,5/1,73 0,5/1,73 0,65/1,17 0,65/1,17	80

			0,8	0,8/0,75	
			0,35	0,5/1,73	
2	Цех механічної обробки, 826 кВт	1.Вентиляція 80 2.Кран. устаткування 36 3.Металообробні верстати 570 4.Багатошпіндельні автомати 160	0,8 0,35 0,12 0,2	0,8/0,75 0,5/1,73 0,4/2,29 0,6/1,33	38
3	Ковальський цех, 530 кВт	1.Вентиляція 130 2.Кран. устаткування 150 3.Молоти 250	0,8 0,35 0,24	0,8/0,75 0,5/1,73 0,65/1,17	50
4	Інструментальний цех, 510 кВт	1.Вентиляція 120 2.Кран. устаткування 150 3.Соляні ванни 240	0,8 0,35 0,5	0,8/0,75 0,5/1,73 0,8/0,75	55
5	Гальванічний цех, 340 кВт	1.Вентиляція 70 2.Кран. устаткування 160 3.Гальванічні установки 110	0,8 0,35 0,4	0,8/0,75 0,5/1,73 0,7/1,02	60
6	Складально- зварювальний цех, 1600 кВт	1.Вентиляція 120 2.Кран. устаткування 160 3.Стенди для зварювальних робіт 720 4.Напівавтомати для зварки 600	0,8 0,35 0,2 0,2	0,8/0,75 0,5/1,73 0,4/2,29 0,4/2,29	80
7	Склад готової продукції, 410 кВт	1.Вентиляція 60 2.Кран. устаткування 350	0,8 0,35	0,8/0,75 0,5/1,73	60
8	Адміністративний корпус, 205 кВт	1.Оргтехніка 160 2.Санітарно-гігієнічна вентиляція 45	0,6 0,8	0,9/0,48 0,8/0,75	5,5

Розрахунок силових електричних навантажень проводимо методом розрахункових коефіцієнтів.

Ефективне число електроприймачів визначається по формулі

$$n_{\text{еф}} = \frac{2 \cdot \sum_{i=1}^n P_{\text{ном}i}}{P_{\text{ном.найб.}}}, \quad (2.1)$$

де  $n$  – число електроприймачів в групі;  $P_{\text{ном}i}$  – номінальна активна потужність  $i$ -го електроприймача, кВт;  $P_{\text{ном.найб.}}$  – номінальна активна потужність найбільшого електроприймача групи, кВт.

Середньозважений коефіцієнт використання визначається по формулі

$$\bar{\kappa}_e = \frac{\sum_{i=1}^n \kappa_{e,i} \cdot P_{\text{ном}i}}{\sum_{i=1}^n P_{\text{ном}i}}, \quad (2.2)$$

де  $\bar{\kappa}_e$  – коефіцієнт використання електроприймача, визначуваний [1].

Розрахункове активне навантаження групи електроприймачів визначається по формулі

$$P_p = \kappa_p \sum_{i=1}^n \kappa_{e,i} \cdot P_{\text{ном}i}; \quad (2.3)$$

де  $\kappa_p$  – коефіцієнт розрахункового навантаження, що приймається залежно від  $n_{\text{еф}}$  і  $\bar{\kappa}_e$  по [1].

Розрахункове реактивне навантаження групи електроприймачів визначається по формулі

$$Q_p = 1,1 \sum_{i=1}^n \kappa_{e,i} \cdot P_{\text{ном}i} \cdot \text{tg}\phi_i; \quad \text{при } n_{\text{еф}} \leq 10; \quad (2.4)$$

$$Q_p = 1,0 \sum_{i=1}^n K_{\epsilon,i} \cdot P_{ном,i} \cdot tg\phi_i; \quad \text{при } n_{\epsilon\phi} > 10. \quad (2.5)$$

На шинах цехових ТП

$$Q_p = K_p \cdot \sum_{i=1}^n K_{\epsilon,i} \cdot P_{ном,i} \cdot tg\phi_i. \quad (2.6)$$

Проведемо розрахунок для ковальського цеху.

По формулі (1.1) визначаємо ефективне число електроприймачів

$$n_{\epsilon\phi} = \frac{2 \cdot 530}{50} = 21,2.$$

Приймаємо  $n_{\epsilon\phi} = 21$ .

Розраховуємо середньозважений коефіцієнт використання

$$\bar{K}_{\epsilon} = \frac{130 \cdot 0,8 + 150 \cdot 0,35 + 250 \cdot 0,24}{130 + 150 + 250} = 0,408.$$

По таблиці 3.6 [1] по значеннях  $n_{\epsilon\phi}$  і  $\bar{K}_{\epsilon}$  знаходимо значення  $K_p = 0,85$ .

Коефіцієнт розрахункового навантаження ми вибираємо по таблиці для магістральних шинопроводів напругою до 1 кВ і на шинах цехових трансформаторів, оскільки в цьому цеху доцільна установка ТП.

Визначаємо розрахункове активне навантаження

$$P_p = 0,85 \cdot (130 \cdot 0,8 + 150 \cdot 0,35 + 250 \cdot 0,24) = 184 \text{ кВт.}$$

Визначаємо розрахункове реактивне навантаження

$$Q_p = 0,85 \cdot (130 \cdot 0,8 \cdot 0,75 + 150 \cdot 0,35 \cdot 1,73 + 250 \cdot 0,2 \cdot 1,17) = 193,2 \text{ кВАр.}$$

Розрахуємо освітлювальне навантаження всіх цехів методом питомих норм освітлення на одиницю виробничої площі.

Розрахункову активну потужність визначимо по формулі

$$P_{PO} = K_C \cdot P_Y \cdot F \cdot N_{II} \quad (2.7)$$

де  $K_C$  - коефіцієнт попиту;  $P_Y$  - встановлена потужність світильників, кВт;  
 $F$  - площа будівлі, м<sup>2</sup>;  $N_{II}$  - кількість поверхів будівлі.

Встановлену потужність світильників визначаємо по формулі

$$P_Y = P_{YT} \cdot \frac{E}{100 \cdot \eta}, \quad (2.8)$$

де  $P_{YT}$  - встановлена, таблична потужність світильників Вт/м<sup>2</sup>;  $E$  - нормована освітленість цеху, лк;  $\eta$  - ККД світильника.

Визначимо розрахункове навантаження для ковальського цеху.

Приймаємо світильники типу РСП 05-400,с лампами ДРЛ потужністю 400 Вт.

Тип кривої світла - P.

ККД світильника  $\eta=80\%$ , висота підвісу 6-8м.

Площа цеху  $F=3000$  м<sup>2</sup>, кількість поверхів  $N_{II}=1$ .

Нормована освітленість для ремонтно-механічного цеху  $E=300$  лк.

Встановлена, таблична потужність світильників  $P_{YT}=6$  Вт/м<sup>2</sup>.

$$P_Y = 6 \cdot \frac{300}{100 \cdot 0,8} = 22,5 \text{ кВт/м}^2$$

$$P_{PO} = 0,95 \cdot 22,5 \cdot 0,86 \cdot 1 = 18,4 \text{ кВт.}$$

Визначимо розрахункове реактивне навантаження освітлення цеху по формулі

$$Q_{po} = P_{po} \cdot \text{tg} \varphi_o \quad (2.9)$$

де  $\text{tg} \varphi_o$  - коефіцієнт реактивної потужності освітлення.

$$Q_{po} = 18,4 \cdot 1,73 = 31,9 \text{ кВАр.}$$

Для решти ділянок проведемо аналогічний розрахунок. Результати зносимо в табл. 2.2.

Таблиця 2.2

Результати розрахунку навантаження освітлення

N цеху	Назва	$P_{ут}$	$P_{ут}$	$P_{ут}$	$P_{ут}$	$P_{ут}$	$P_{ут}$	$P_{ут}$
1	Заготовчий цех	2800	0,8	200	11,1	27,5	73,15	126,3
2	Цех механічної обробки	2450	0,8	300	11,1	41,25	96	166,1
3	Ковальський цех	860	0,8	300	6	22,5	18,3	31,6
4	Інструментальний цех	1100	0,8	200	8,4	21	21,9	37,9
5	Гальванічний цех	150	0,8	300	6	22,5	3,2	5,5
6	Складально-зварювальний цех	3440	0,8	200	11,1	27,5	89,87	154
7	Склад готової продукції	3870	0,8	200	11,1	27,5	101,1	174
8	Адміністративний корпус	375	0,48	300	6	22,5	8,01	6,4

Розрахункове активне і реактивне навантаження на напрузі до 1 кВ для всього цеху визначаємо по виразах

$$P_{p.ц} = P_p + P_{p.o}, \quad (2.10)$$

$$Q_{p.ц} = Q_p + Q_{p.o}. \quad (2.11)$$

$$P_{p.ц} = 184 + 18,4 = 202,4 \text{ кВт}$$

$$Q_{p.ц} = 193,2 + 31,9 = 225,1 \text{ кВАр.}$$

Результати розрахунків зводимо в табл. 2.3.

Таблиця 2.3

Результати розрахунку навантажень

N цеху	Найменування	$k_v$	$\eta_{ef}$	$K_p$	$P_{pц}, \text{кВт}$	$Q_{pц}, \text{кВАр}$
1	Заготовчий цех, 800 кВт	0,209	14	0,8	207,5	309
2	Цех механічної обробки, 826 кВт	0,21	13	0,8	221,6	360,1
3	Ковальський цех, 530 кВт	0,408	21	0,85	202,4	225,1
4	Інструментальний цех, 510 кВт	0,526	9	0,9	263,6	265,4
5	Гальванічний цех, 340 кВт	0,45	6	0,94	149,84	178,2
6	Складально-зварювальний цех, 1600 кВт	0,26	23	0,75	401,97	734,1
7	Склад готової продукції, 410 кВт	0,415	7	0,94	261,37	407,1
8	Адміністративний корпус, 205 кВт	0,644	3	1,08	150,57	85,32

Проаналізувавши отримані результати можна об'єднати заготовчий цех номер 1 і гальванічний цех номер 5, цех механічної обробки номер 2 і ковальський цех номер 3, термічний цех номер 4 і склад готової продукції номер 7, а також складально-зварювальний цех номер 6 і адміністративний корпус номер 8. Проводимо повторний перерахунок по об'єднаних цехах по вище приведених формулах. Розраховане раніше навантаження освітлення складаємо між собою. Результати об'єднання приведені в таблиці 2.4.

## Результати об'єднання цехів

N цехи	Найменування	$k_B$	$n_{\text{еф}}$	$K_p$	$P_{\text{рц}}, \text{кВт}$	$Q_{\text{рц}}, \text{кВАр}$
1,5	Заготовчий цех, інструментальний цех, 1310 кВт	0,284	20	0,85	351,65	482,4
2,3	Цех механічної обробки, ковальський цех, 1350 кВт	0,286	25	0,85	449,75	625,9
4,7	Термічний цех, склад готової продукції, 920 кВт	0,477	16	0,85	496,11	637,5
6,8	Складально-зварювальний цех, адміністративний корпус, 1805 кВт	0,303	36	0,75	508,8	795,29

Розраховуємо навантаження по комплексу в цілому.

Визначаємо розрахункове навантаження комплексу по формулі

$$P_P = K_O \sum_{i=1}^n P_{ni} \cdot K_{ei} + \sum_{i=1}^n P_{poi}; \quad (2.12)$$

$$Q_P = K_O \sum_{i=1}^n P_{ni} \cdot K_{ei} \cdot \text{tg}\phi + \sum_{i=1}^n Q_{poi}. \quad (2.13)$$

де  $K_O$  - коефіцієнт одночасності максимумів навантаження, визначаємо по [1]

виходячи з умови  $K_O = f(\bar{K}_e, n)$ ,  $n$  – число приєднань 6(10) кВ на шини РП,

ГПП.

$$\begin{aligned} \sum P_{ni} \cdot K_{ei} &= 480 \cdot 0,14 + 200 \cdot 0,17 + 160 \cdot 0,6 + 680 \cdot 0,8 + 1071 \cdot 0,35 + 110 \cdot 0,4 + \\ &+ 570 \cdot 0,12 + 1480 \cdot 0,2 + 250 \cdot 0,24 + 240 \cdot 0,5 = 1704,4 \text{ кВт.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum P_{ni} \cdot K_{ei} \cdot \text{tg}\phi &= 480 \cdot 0,14 \cdot 1,73 + 200 \cdot 0,17 \cdot 1,1 + 160 \cdot 0,6 \cdot 0,48 + 680 \cdot 0,8 \cdot 0,75 + \\ &+ 1071 \cdot 0,35 \cdot 1,73 + 110 \cdot 0,4 \cdot 1,02 + 570 \cdot 0,12 \cdot 2,29 + 1480 \cdot 0,2 \cdot 1,33 + \end{aligned}$$



$$+250 \cdot 0,24 \cdot 1,17 + 240 \cdot 0,5 \cdot 0,75 = 2011,6 \text{ кВАр.}$$

$$\bar{K}_e = \frac{1704,4}{5241} = 0,325.$$

По [1]  $K_o = 0,85$ .

$$P_p = 0,85 \cdot 1704,4 + 411,53 = 1774,4 \text{ кВт.}$$

$$Q_p = 0,85 \cdot 2011,6 + 701,8 = 2311,1 \text{ кВАр.}$$

$$S_p = \sqrt{1774,4^2 + 2311,1^2} = 2913,4 \text{ кВА.}$$

## 2.2. Картограма електричних навантажень

Вибір місця ЦРП, РП і ЦТП зручно проводити за допомогою картограми навантажень, яка є розміщенням на генеральному плані підприємства кола. Площі обмежені цими колами, у вибраному масштабі відображають розрахункові навантаження цехів.

Радіус кола в мм для кожного цеху визначаємо по виразу

$$r = \sqrt{\frac{P_{pc}}{\pi \cdot m}}, \quad (2.14)$$

де  $m$  – масштаб площі круга, кВт/мм<sup>2</sup>.

Кожен круг розділяється на сектори, відповідні силовому і освітлювальному навантаженням. Кут сектора освітлювального навантаження  $\alpha$  в градусах визначається по формулі

$$\alpha = \frac{P_{po}}{P_{pc}} 360^\circ. \quad (2.15)$$

Центр електричних навантажень визначається по формулах

$$X_{\text{ЦЕН}} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{\text{пц } i} \cdot x_i}{\sum_{i=1}^n P_{\text{пц}}}; \quad (2.16)$$

$$Y_{\text{ЦЕН}} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{\text{пц } i} \cdot y_i}{\sum_{i=1}^n P_{\text{пц}}}, \quad (2.17)$$

де  $x_i, y_i$  – координати  $i$ -го цеху.

Цехові ТП, РП і ГПП слід розташовувати якомога ближче до центру навантажень підприємства. РП розташовують на межі живлених ділянок мережі. Для складання картограми навантажень знаходимо центр навантаження для кожного цеху. Приймаємо декартову систему координат, знаходимо координати (мм) центру електричних навантажень кожного цеху. Потім знаходимо умовний центр електричних навантажень підприємства і вибираємо місце розташування РП.

Приведемо приклад розрахунку картограми навантажень для заготовчого цеху.

Для цього цеху центр навантажень  $X_{\text{ц1}}=30$  мм;  $Y_{\text{ц1}}=136$ мм. Приймаємо масштаб площі круга  $m=0,125$  кВт/мм<sup>2</sup>. Радіус кола для ділянки МКП визначаємо по виразу (2.14)

$$r = \sqrt{\frac{207,5}{3,14 \cdot 0,125}} = 23 \text{ мм.}$$

Кут сектора освітлювального навантаження для цеху визначаємо по виразу (2.14)

$$\alpha_{o,i} = \frac{73,15}{207,5} \cdot 360^\circ = 126^\circ.$$

Для решти цехів розрахунок проводимо аналогічно, результати зводимо в табл. 2.5.

Умовний центр електричних навантажень підприємства визначаємо по (2.16) і (2.17)

$$X_{уцен} = \frac{207,5 \cdot 139 + 221,6 \cdot 140 + 202,4 \cdot 212 + 263,6 \cdot 300 + 149,84 \cdot 160 + 401,97 \cdot 383 + 261,37 \cdot 368 + 150,57 \cdot 252}{207,5 + 221,6 + 202,4 + 263,6 + 149,84 + 401,97 + 261,37 + 150,57} = 265,2.$$

$$Y_{уцен} = \frac{207,5 \cdot 410 + 221,6 \cdot 272 + 202,4 \cdot 90 + 263,6 \cdot 72 + 149,84 \cdot 513 + 401,97 \cdot 442 + 261,37 \cdot 259 + 150,57 \cdot 469}{207,5 + 221,6 + 202,4 + 263,6 + 149,84 + 401,97 + 261,37 + 150,57} = 309,1.$$

Центр електричних навантажень знаходиться в точці А( 265,2;309,1).

Таблиця 2.5

Розрахунок картограми навантажень комплексу

Цех	Розрахункові потужності цеху, кВт			Координати центру навантажень		r, мм	α <sub>o</sub> , град.	α <sub>c</sub> , град.
	P <sub>pc</sub>	P <sub>p.o</sub>	P <sub>p.ц</sub>	x <sub>i</sub>	y <sub>i</sub>			
Заготовчий цех	134,35	73,15	207,5	139	410	23	127	233
Цех механічної обробки	125,6	96	221,6	140	272	23,7	156	204
Ковальський цех	184,1	18,3	202,4	212	90	22,7	32	328
Інструментальний цех	241,7	21,9	263,6	300	72	26	30	330
Гальванічний цех	146,64	3,2	149,84	160	513	19,5	8	352
Складально-зварювальний цех	312	89,87	401,97	383	442	32	80	280
Склад готової продукції	160,27	101,1	261,37	368	259	25,8	139	221
Адміністративний корпус	142,56	8,01	150,57	252	469	19,6	19	341

За даними таблиці 2.5 будемо картограму (рис.2.1).

### 2.3. Компенсація реактивної потужності

Для уніфікації електроустаткування внутрішньо заводської мережі слід прагнути до того, щоб вибрані трансформатори мали один-два типорозміри. Для цехових ТП приймаються в основному трансформатори потужністю 630-1000 кВА. У енергоємних цехах при щільності навантаження більше 0,2 кВт А/м<sup>2</sup> застосовуються трансформатори потужністю 1600-2500 кВА.

Визначаємо мінімальне число трансформаторів, необхідне для живлення розрахункового активного навантаження по формулі:

$$N_{m.мін} = \frac{P_{p.n}}{S_m \cdot \beta_m}, \quad (2.18)$$

де  $P_{p.n}$  - розрахункове активне навантаження на напрузі до 1 кВ даної групи трансформаторів, кВт;  $\beta_m$  - коефіцієнт завантаження трансформаторів, визначуваний залежно від категорії електроприймачів по надійності електропостачання, для 2-трансформаторної підстанції приймаємо 0,7, для однострансформаторної підстанції приймаємо 0,8;  $S_m$  - одинична потужність цехових трансформаторів, кВА.

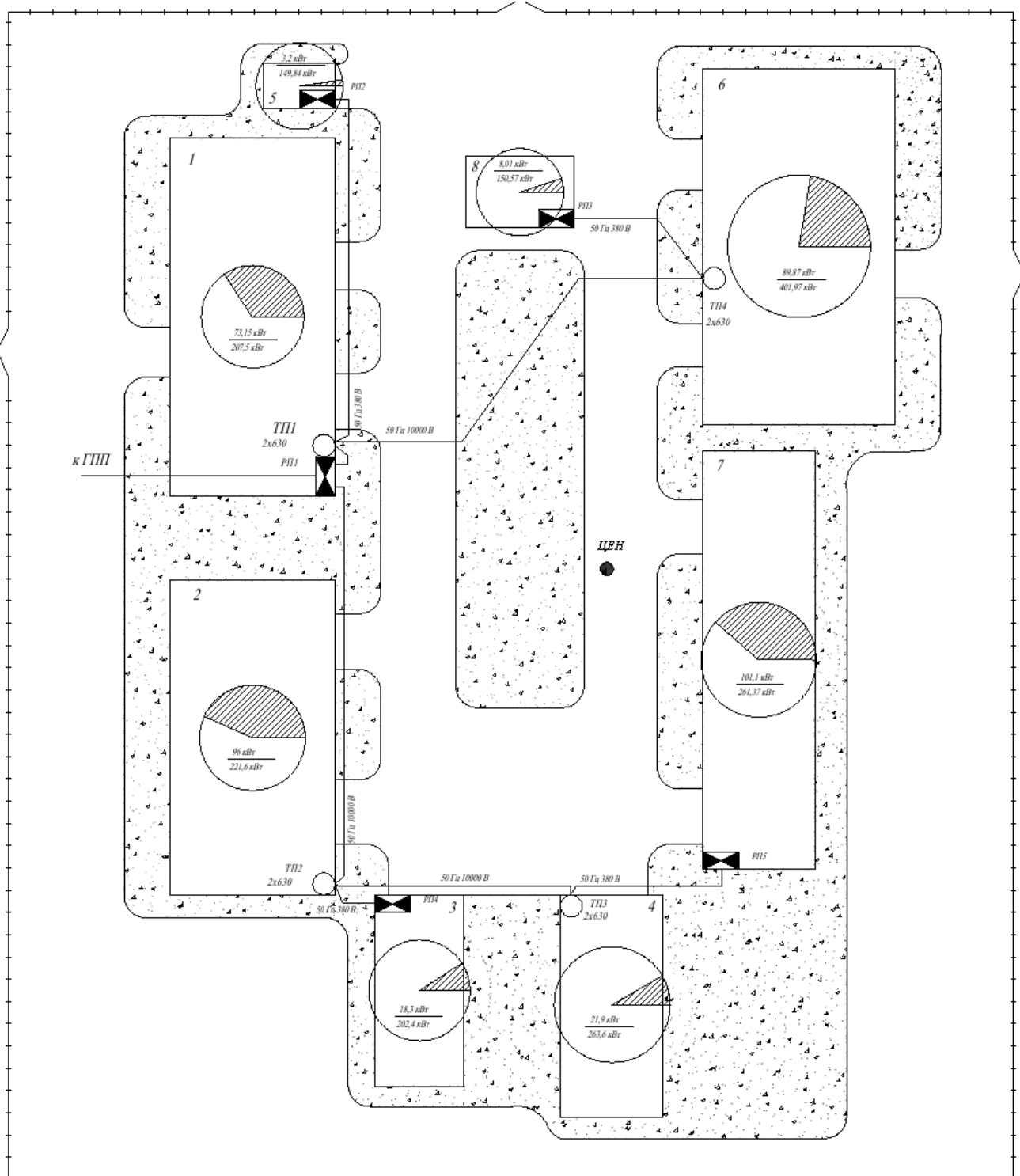


Рис.2.1 Картограма електричних навантажень виробничо-складського комплексу

Для прикладу проведемо розрахунок для цехів номер 2 (цех механічної обробки) і номер 3 (термічний цех)

$$N_{m.\min} = \frac{449,75}{630 \cdot 0,7} = 1,02.$$

По результатах приймаємо два трансформатори ТМЗ 630/10.

Найбільше значення реактивної потужності  $Q_m$ , яке може бути передане через трансформатори в мережу 0,4 кВ:

$$Q_m = \sqrt{(1,1 \cdot S_m \cdot N_m \cdot \beta_m)^2 - P_{p.c.}^2}. \quad (2.19)$$

$$Q_m = \sqrt{(1,1 \cdot 630 \cdot 2 \cdot 0,7)^2 - 449,75^2} = 801 \text{ кВАр.}$$

Потужність компенсувальних пристроїв по критерію вибору трансформаторів мінімальної потужності

$$Q_{н.к.1} = Q_{p.н} - Q_m. \quad (2.20)$$

$$Q_{н.к.1} = 625,9 - 801 < 0.$$

Оскільки  $Q_{н.к.1} < 0$ , то установка КП не потрібна, а  $Q_{н.к.1}$  приймаємо рівним 0.

Далі визначаємо новий коефіцієнт завантаження з урахуванням компенсації по формулі

$$\beta_T = \frac{\sqrt{P_{PЦ}^2 + (Q_{PЦ} - Q_{КУ})^2}}{S_{HPM}}; \quad (2.21)$$

$$\beta_T = \frac{\sqrt{449,75^2 + (625,9 - 0)^2}}{2 \cdot 630} = 0,65.$$

У таблиці 2.6 приведені дані по вибору цехових трансформаторів і компенсації реактивної потужності.

Втрати активної і реактивної потужності в двообмоточних трансформаторах

$$\Delta P_m = (\Delta P_x + \Delta P_k \cdot \beta_m^2) \cdot N_m \quad (2.22)$$

$$\Delta Q_m = \frac{S_{т.ном}}{100} \cdot \left( I_x \cdot N_m + \frac{U_k}{N_m} \cdot \beta_m^2 \right) \quad (2.23)$$

де  $\Delta P_x$  – втрати холостого ходу, кВт;  $\Delta P_k$  – втрати короткого замикання, кВт;

$U_k$  – напруга КЗ, %;  $I_x$  – струм холостого ходу %.

Таблиця 2.6

### Вибір трансформаторів і конденсаторних установок

Місце установки	$P_{р.ц}$ кВт	$Q_{р.ц}$ кВАр	$N_T$ шт	$S_{т.ном}$ кВА	Тип трансформатора	$Q_T$ квар	$Q_{н.к.1}$ кВАр	Тип БНК	$\beta_T$
ТП-1 1,5	351,65	482,4	2	630	ТМЗ-630/10	904	0	ні	0,51
ТП-2 2,3	449,75	625,9	2	630	ТМЗ-630/10	801	0	ні	0,65
ТП-3 4,7	496,11	637,5	2	630	ТМЗ-630/10	833	0	ні	0,69
ТП-4 6,8	508,8	795,29	2	630	ТМЗ-630/10	826	0	ні	0,78

Номінальні дані вибраних силових трансформаторів і втрати активної і реактивної потужності в них дані в таблиці 2.7.

Таблиця 2.7

### Дані по вибраних силових трансформаторах

Місце установки	Тип трансформатора	$S_{т.ном}$ кВА	$N_T$ шт	$\Delta P_x$ кВт	$\Delta P_k$ , кВт	$U_k$ , %	$I_x$ %	$\beta_T$	$\Delta P_T$ , кВт	$\Delta Q_T$ , кВАр
-----------------	--------------------	--------------------	-------------	---------------------	--------------------	-----------	---------	-----------	--------------------	---------------------

ТП-1	ТМЗ-630/10	630	2	1,31	7,6	5,5	1,8	0,47	5,97	13,9
ТП-2	ТМЗ-630/10	630	2	1,31	7,6	5,5	1,8	0,61	8,27	16,52
ТП-3	ТМЗ-630/10	630	2	1,31	7,6	5,5	1,8	0,64	7,12	17,17
ТП-4	ТМЗ-630/10	630	2	1,31	7,6	5,5	1,8	0,75	8,8	19,8
Сумарні втрати потужності в трансформаторах									30,16	67,39

#### 2.4. Розробка схеми електропостачання на напругу вище 1 кВ

Виробничо-складський комплекс, для якого проектується схема мережі електропостачання, складається з восьми корпусів з різною розрахунковою потужністю. При виборі трансформаторів понижувальних підстанцій вже була закладена попередня структура розміщення ТП по території цехів.

Споживачі комплексу відносяться до другої і третьої категорій надійності по електропостачанню, тому можливо застосування магістрального живлення підстанцій (для зменшення загальної протяжності кабельних мереж). Трансформатори двотрансформаторних підстанцій повинні бути підключені до різних секцій шин РП комплексу.

Всі кабельні лінії прокладені в землі. Можливі варіанти організації зовнішнього електропостачання (напруга 10 кВ) представлені на рис. 2.2 і рис. 2.3.



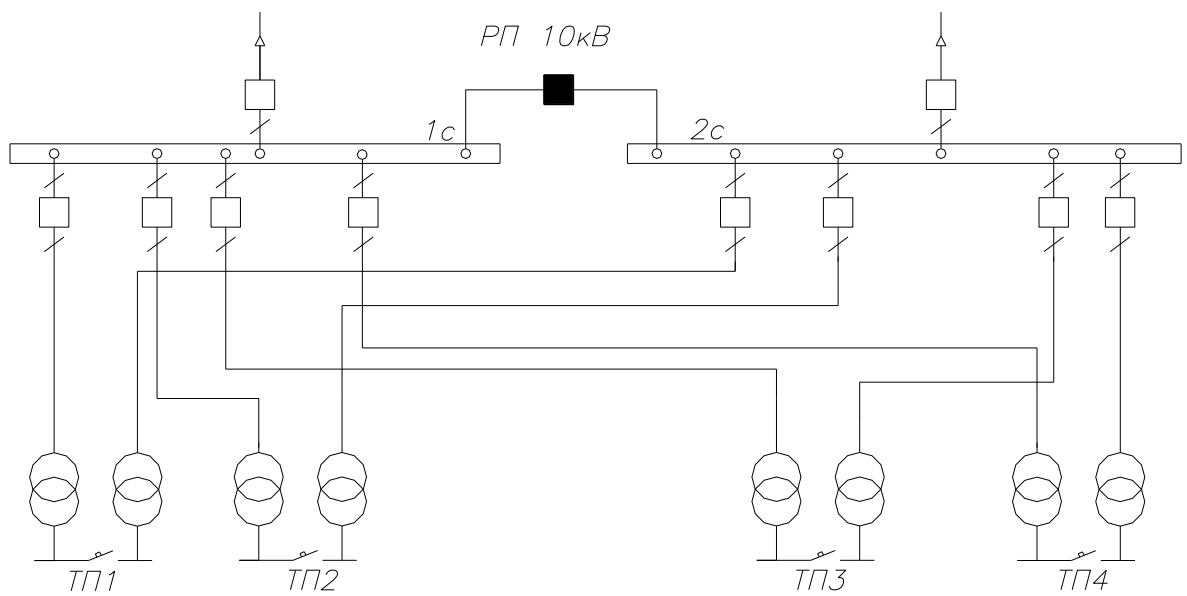


Рис. 2.2. Варіант 1 схеми електропостачання

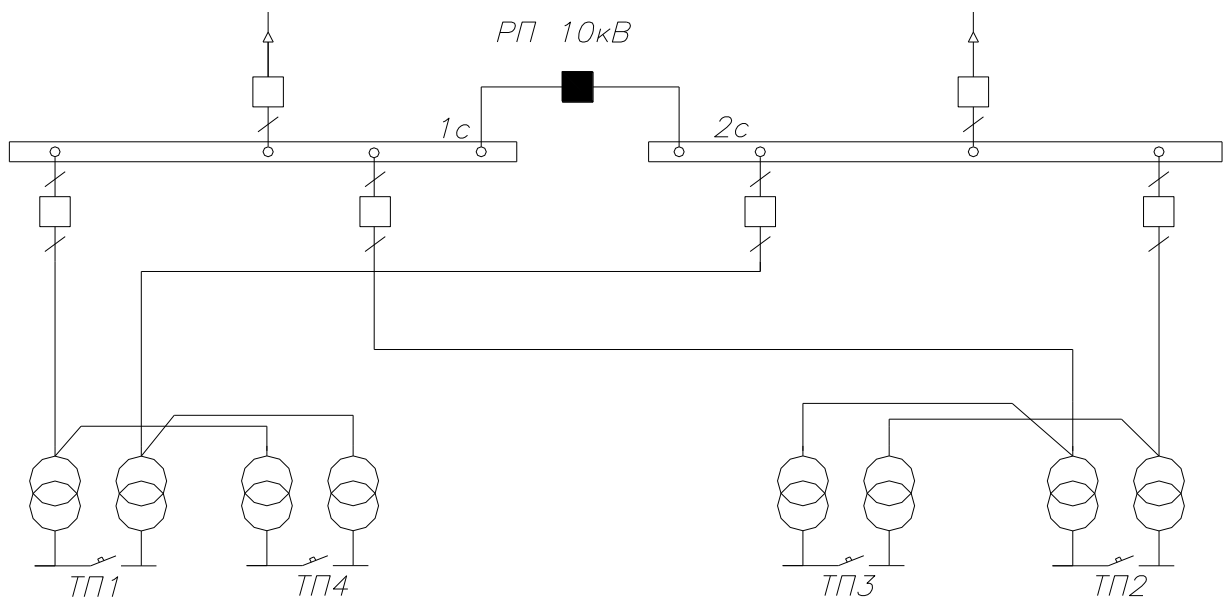


Рис.2.3. Варіант 2 схеми електропостачання

Всі лінії внутрішньозаводської мережі виконані кабельними з прокладкою в землі в траншеях. У місцях перетину КЛЕП з автомобільними дорогами кабелі прокладені в асбоцементних трубах.

## 2.5. Розрахунок струмів короткого замикання

Обчислення струмів КЗ проводиться з метою: вибору електричних апаратів; перевірки стійкості елементів схеми при електродинамічній і термічній дії струмів КЗ; розрахунку релейного захисту.

Для обчислення струмів КЗ складається розрахункова схема, що включає всі елементи, по яких протікають струми до вибраних точок. На схемі приводяться основні параметри устаткування, які буде потрібно для подальшого розрахунку. По розрахунковій схемі складається схема заміщення, в якій кожен елемент замінюється своїм опором. Генератори, трансформатори, високовольтні лінії і короткі ділянки розподільних мереж звичайно представляються індуктивними опорами.

Розрахунок струмів КЗ може виконуватися у відносних або іменованих одиницях. У мережах напругою вище 1кВ найбільшого поширення набув метод розрахунку у відносних величинах, при якому всі розрахункові дані наводяться до базисних напругі і потужності.

Розрахунок струмів КЗ проведемо у відносних одиницях. За базисну потужність приймаємо  $S_b=1000$  МВА, за базисну напругу  $U_b=10,5$  кВ.

Для обчислення струмів КЗ складемо розрахункову схему (рис. 2.4), що включає всі елементи, по яких протікають струми до вибраних точок. На схемі приведемо основні параметри устаткування, яке буде потрібно для подальшого розрахунку. По розрахунковій схемі складемо схему заміщення (рис. 2.5), в якій кожен елемент замінюється своїм опором.

Базисний струм визначаємо по виразу

$$I_B = \frac{S_B}{\sqrt{3} \cdot U_B} \quad (2.24)$$

$$I_B = \frac{1000 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 54985,74 \text{ A} = 54,986 \text{ кА.}$$

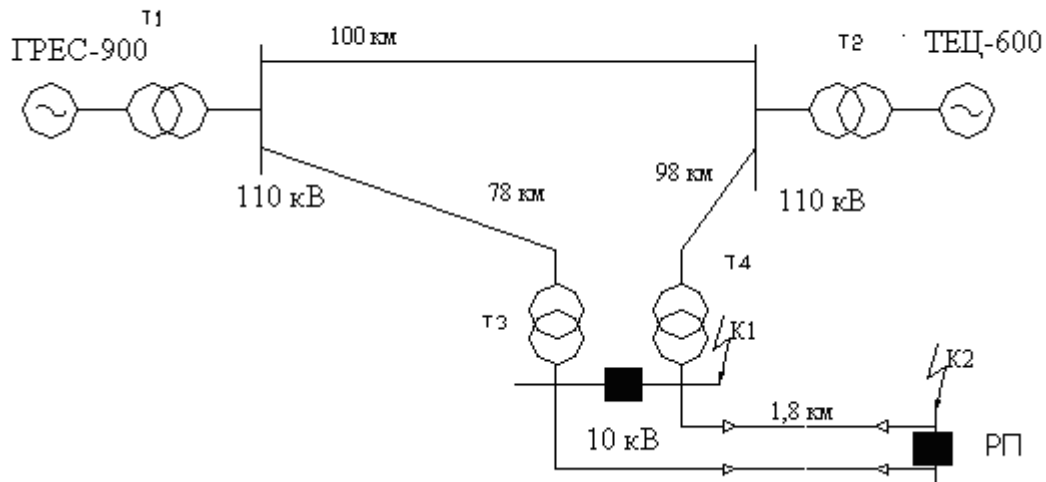


Рис. 2.4. Розрахункова схема

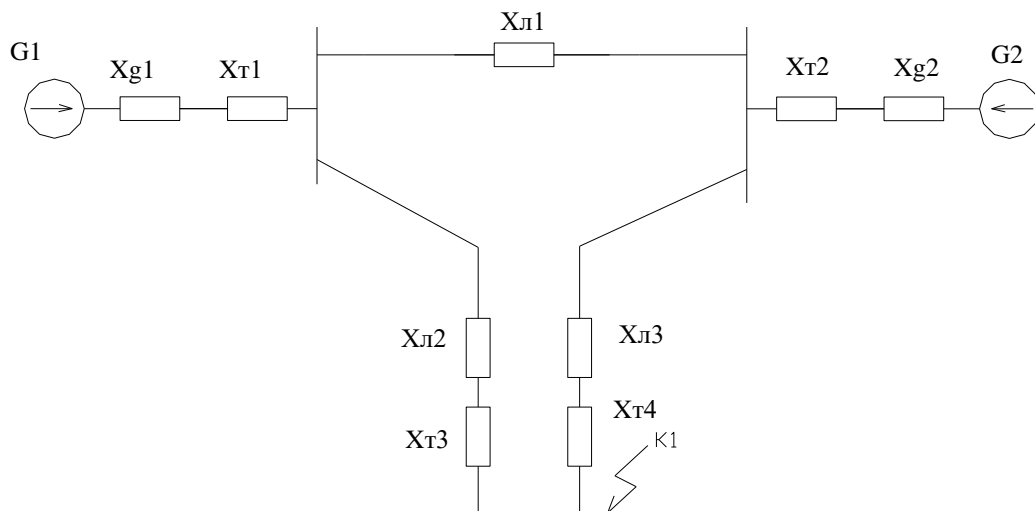


Рис. 2.5. Схема заміщення мережі

Приведення опорів до базисних умов проводиться по наступних формулах.

Генератори.

$$x_T = x_d'' \frac{S_B}{P_H} \cos \varphi_H, \quad (2.25)$$

де  $x_d''$  – надперехідний відносний індуктивний опір генератора;  $P_H$  – активна номінальна потужність, МВт;  $\cos \varphi_H$  – номінальне значення коефіцієнта потужності генератора.

Двообмоточні трансформатори.

$$x_T = \frac{S_B}{S_{HT}} \cdot \frac{U_{k\%}}{100}, \quad (2.26)$$

де  $U_{k\%}$  – напруга короткого замикання, %;  $S_{HT}$  – номінальна потужність трансформатора, МВА.

Кабельні лінії.

Індуктивний опір.

$$x_l = \frac{S_B}{U_{cp}^2} \cdot x_0 \cdot l, \quad (2.27)$$

де  $x_0$  – індуктивний опір одного км лінії, що приймається рівним для повітряних ліній 6...10 кВ  $x_0=0,4$  Ом/км, кабельних ліній  $x_0=0,08$  Ом/км;  $l$  – довжина кабельної лінії, км.

ЕРС генератора знаходимо по формулі

$$E = \sqrt{(I_o \cdot x_d'' \cdot \cos \varphi_o)^2 + (U_o + I_o \cdot x_d'' \cdot \sin \varphi_o)^2}. \quad (2.28)$$

Генератори G1, G2 марки ТГВ-300-2УЗ  $P_H=300$  МВт;  $U_H=20$  кВ;  $x_d''=0,195$ ,  $\cos \varphi_o=0,85$ .

Трансформатори T1,T2 марки ТДЦ-400000/110  $U_k=10,5\%$ ,  $P_H=400$  МВА,  $P_x=320$  кВт,  $P_k=900$  кВт,  $l_x=0,45$  %.

Використовується необхідна кількість генераторів для отримання заданої потужності. На ТЕЦ два генератори, на ГРЕС - три. Кожен генератор з'єднується з системою через окремий трансформатор на малюнку показаний Т1, Т2.

Т3,Т4 – ТДН-16000/10  $U_{ВН}=10,5$  кВ;  $U_k=10,5\%$ ,  $S_H=16$ МВА,  $P_x=19$  кВт,  $P_k=84$  кВт,  $I_x=7\%$ .

По формулі (2.28) розрахуємо ЕРС генераторів G1...G7

$$E = \sqrt{(1 \cdot 0,195 \cdot 0,85)^2 + (1 + 1 \cdot 0,195 \cdot 0,527)^2} = 1,09.$$

По формулах (2.26), (2.27) розрахуємо опір трансформаторів

$$x_{T1,T2} = \frac{10,5}{100} \cdot \frac{1000}{400} = 0,263,$$

$$x_{T3,T4} = \frac{10,5 \cdot 1000}{100 \cdot 16} = 6,56.$$

Опір генераторів обчислюємо за формулою (2.25)

$$x_{G1,G2} = 0,195 \cdot \frac{1000}{300} \cdot 0,85 = 0,533.$$

Розрахуємо опір лінії електропередач:

$$x_{л1} = 0,4 \cdot 100 \cdot \frac{1000}{115^2} = 3,02,$$

$$x_{л2} = 0,4 \cdot 78 \cdot \frac{1000}{115^2} = 2,35,$$

$$x_{л3} = 0,4 \cdot 98 \cdot \frac{1000}{115^2} = 2,96.$$

Для подальших розрахунків необхідно перетворити схему заміщення (рис. 2.6), використовуючи спосіб струморозподілення і склавши опори трансформаторів Т3 і Т4 з опорами приєднаних ним ліній.

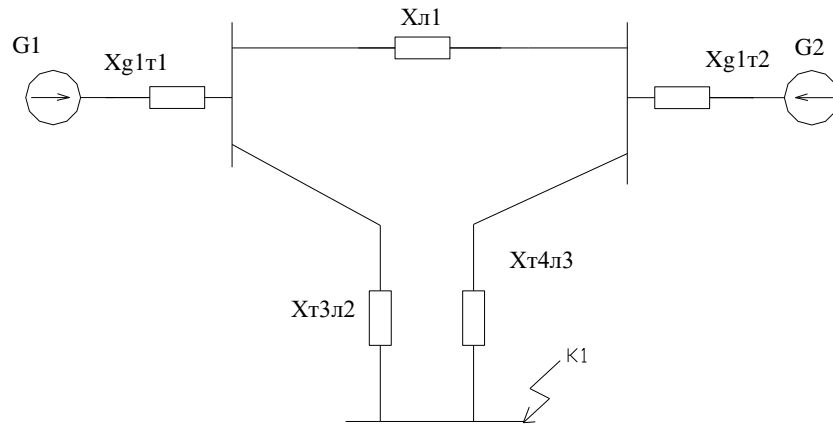


Рис. 2.6. Схема заміщення мережі

$$x_{G1,T1} = \frac{x_{G1} + x_{T1}}{3} = \frac{0,533 + 0,263}{3} = 0,265,$$

$$x_{G2,T2} = \frac{x_{G2} + x_{T2}}{2} = \frac{0,533 + 0,263}{2} = 0,398,$$

$$x_{T4,Л3} = x_{T4} + x_{Л3} = 6,56 + 2,96 = 9,52,$$

$$x_{T3,Л2} = x_{T3} + x_{Л2} = 6,56 + 2,35 = 8,91.$$

Далі проведемо перетворення трикутника опорів.

$$x_{T4T3} = \frac{x_{T4Л3} \cdot x_{T3Л2}}{x_{T4Л3} + x_{T3Л2} + x_{Л1}} = \frac{9,52 \cdot 8,91}{9,52 + 8,91 + 3,02} = 3,95,$$

$$x_{G1T1Л1} = \frac{x_{Л1} \cdot x_{T3Л2}}{x_{T4Л3} + x_{T3Л2} + x_{Л1}} + x_{G1T1} = \frac{3,02 \cdot 8,91}{9,52 + 8,91 + 3,02} + 0,265 = 1,519,$$

$$x_{G2T2Л1} = \frac{x_{Л1} \cdot x_{T4Л3}}{x_{T4Л3} + x_{T3Л2} + x_{Л1}} + x_{G2T2} = \frac{3,02 \cdot 9,52}{9,52 + 8,91 + 3,02} + 0,398 = 1,738.$$

Струм постійного КЗ в початковий момент часу визначається як

$$I_{П,0} = \frac{E''}{x_{\Sigma}} \cdot I_B. \quad (2.29)$$

Ударний струм КЗ визначається по формулі

$$i_y = \sqrt{2}k_y I_{п,0}, \quad (2.30)$$

де  $k_y$  – ударний коефіцієнт.

Для точки К1 приведемо схему до простого вигляду.

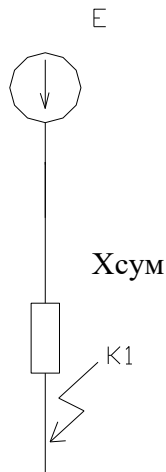


Рис. 2.7. Схема заміщення мережі

$$x_{\Sigma} = \frac{x_{G1T1Л1} \cdot x_{G2T2Л1}}{x_{G1T1Л1} + x_{G2T2Л1}} + x_{T3T4} = \frac{1,519 \cdot 1,738}{1,519 + 1,738} + 3,95 = 4,76.$$

$$I_{п,0} = \frac{1,09}{4,76} \cdot 54,98 = 12,59 \text{ кА},$$

$$i_y = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 12,59 = 32,06 \text{ кА}.$$

Щоб порахувати струм КЗ в точці К2, необхідно знати перетин кабелю від ГПП до РП. Згідно [1] питомі опори вибраного кабелю ГПП - РП будуть

$$x_0 = 0,077 \text{ Ом/км} \text{ і } r_0 = 0,208 \text{ Ом/км}.$$

Тоді по формулі (2.27) активний і індуктивний опори у відносних одиницях

$$r_{кл} = \frac{0,208}{2} \cdot 1,8 \frac{1000}{10,5^2} = 1,695 \text{ і } r_{кл} = \frac{0,078}{2} \cdot 1,8 \frac{1000}{10,5^2} = 0,635.$$

Результуючий опір до точки КЗ К2 буде

$$x_{рез} = 4,76 + 1,695 = 6,455.$$

Активний опір не враховуємо, оскільки відношення

$$x_{рез} / R_{рез} = 6,455 / 0,635 > 3.$$

При  $x/R = 10$  по [2]  $k_y = 1,72$ .

$$I_{П,0} = \frac{1,09}{6,455} \cdot 54,98 = 9,28 \text{ кА},$$

$$i_y = \sqrt{2} \cdot 1,72 \cdot 9,28 = 22,59 \text{ кА}.$$

## 2.6. Вибір перетинів струмопровідних елементів і електричних апаратів напругою вище 1 кВ

### 2.6.1. Вибір кабелів напругою вище 1 кВ.

Перетини жив кабелів вибираються по економічній щільності струму і перевіряються по нагріву і термічній стійкості при КЗ.

Для прикладу виберемо кабелі для варіанту 1 електропостачання.

Покажемо на прикладі вибір кабелю для ТП1.

Перетини жив кабелю по економічній густині струму

$$F_e = \frac{I_{рл}}{j_e}, \quad (2.31)$$

де  $j_e$  – економічна густина струму, А/мм<sup>2</sup>. Приймаємо для кабелів з пластмасовою ізоляцією при  $T_{\max} = 4500$  год  $j_e = 1,7$  А/мм<sup>2</sup>;  $I_{рл}$  – розрахунковий струм кабелю в нормальному режимі роботи, А.



$$I_{pi} = \frac{S'_{III}}{\sqrt{3} \cdot U_H}, \quad (2.32)$$

де  $S'_{III}$  – розрахункове навантаження ліній з урахуванням втрат.

$$I_{pi} = \frac{\sqrt{(351,65 + 5,97)^2 + (482,4 + 13,9 - 0)^2}}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 2} = 17,65 \text{ А};$$

$$F_e = \frac{17,65}{1,7} = 10,4 \text{ мм}^2.$$

Вибираємо кабель ААБ-3х16 з допустимим струмом  $I_{доп}=75 \text{ А}$ .

Мінімальний допустимий перетин кабелю по термічній стійкості

$$F_{\tau} = \frac{\sqrt{B_k}}{C}, \quad (2.33)$$

де  $B_k$  – тепловий імпульс від струму КЗ  $A^2 \cdot c$ ;  $C$  – розрахунковий коефіцієнт, приймаємо  $C = 100$ .

Результуючий тепловий імпульс струму КЗ

$$B_k = I_n^2 \cdot (t_{омк} + T_a), \quad (2.34)$$

де  $I_n$  – діюче значення періодичної складової струму КЗ на початку лінії;  $t_{омк}$  – час відключення КЗ;  $T_a$  – постійна часу загасання аперіодичної складової струму КЗ, в розподільних мережах 10 кВ можна прийняти  $T_a=0,01 \text{ с}$ .

$$B_k = (9,28 \cdot 10^3)^2 \cdot (0,6 + 0,01) = 52,5 \cdot 10^6 \text{ А}^2 \cdot \text{с}.$$

$$F_m = \frac{\sqrt{52,5 \cdot 10^6}}{100} = 52,5 \text{ мм}^2.$$

Вибираємо кабель ААБ-3х70 з допустимим струмом  $I_{доп}=165 \text{ А}$ .

З двох знайдених перетинів (по економічній густині струму і термічної стійкості) приймаємо більше.

Далі необхідно провести перевірку по нагріву максимальним розрахунковим струмом лінії  $I_{pmax}$

$$I_{pmax} = \frac{\sum_{n,m}^{N_T} S_{n,m}}{\sqrt{3} \cdot U_n} \quad (2.35)$$

$$I_{pmax} = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 10} = 36,4 \text{ А.}$$

Вибраний перетин кабелю повинен задовольняти умові

$$I_{доп} \geq \frac{I_{pmax}}{K_n} \quad (2.36)$$

де  $K_n$  – поправочний коефіцієнт що враховує фактичну температуру навколишнього середовища, число працюючих кабелів, прокладених в одній траншеї, фактичний питомий тепловий опір землі, приймаємо 1.

Струм післяаварійного режиму розраховується по формулі

$$I_{на} = \frac{1,4S_{нт}}{\sqrt{3} \cdot U_n} \quad (2.37)$$

$$I_{на} = \frac{1,4 \cdot 630}{\sqrt{3} \cdot 10} = 50,9 \text{ А.}$$

Післяаварійний режим може виникнути у випадках, коли одна з ліній відключається, а залишилася несе подвійне навантаження. Перетин жив кабелю для такого режиму вибирається по умові

$$I_{на} \leq I_{доп} \cdot K_{пер}, \quad (2.38)$$

де  $I_{на}$  – струм навантаження в післяаварійному режимі, А;

$K_{пер}$  – коефіцієнт допустимого післяаварійного перевантаження, приймаємо рівним 1,3.

Остаточно приймаємо кабель ААБ-3х70з допустимим струмом  $I_{доп}=165$  А.

$50,9 < 165 \cdot 1,3$ .

Результати вибору кабелів 10 кВ приведені в таблиці 2.8. Всі вибрані кабелі марки ААБ.

Таблиця 2.8

Результати розрахунку вибору перетину кабелів для варіанту 1

Лінія	$S'_{тп}$ , кВА	$I_{рл}$ , А	$I_{р\max}$ , А	$F_e$ , мм <sup>2</sup>	$F_T$ , мм <sup>2</sup>	$F$ , мм <sup>2</sup>	$I_{доп}$ , А	$I_{па}$ , А
2хРП-ТП1	611	17,65	36,4	10,4	52,5	70	165	50,9
2хРП-ТП2	788	22,75	36,4	13,38	52,5	70	165	50,9
2хРП-ТП3	825	23,8	36,4	14	52,5	70	165	50,9
2хРП-ТП4	956	27,65	36,4	16,3	52,5	70	165	50,9
Лінія живлення	2913	84,2	145,7	49,5	98	120	240	168,4

Аналогічно вибираємо кабелі для варіанту 2. Результати вибору заносимо в таблицю 2.9. При цьому враховуємо, що схема електропостачання варіанту 2 є магістральною.

Таблиця 2.9

Результати розрахунку вибору перетину кабелів для варіанту 2

Лінія	$S'_{тп}$ , кВА	$I_{рл}$ , А	$I_{р\max}$ , А	$F_e$ , мм <sup>2</sup>	$F_T$ , мм <sup>2</sup>	$F$ , мм <sup>2</sup>	$I_{доп}$ , А	$I_{па}$ , А
2хРП-ТП1	611	40,4	72,8	23,7	52,5	70	165	91,3
2хТП2-ТП3	825	22,75	36,4	13,38	52,5	70	165	50,9
2хТП1-ТП4	956	23,8	36,4	14	52,5	70	165	50,9
2хРП-ТП2	788	22,75	36,4	13,38	52,5	70	165	50,9

Лінія живлення	2913	84,2	145,7	49,5	98	120	240	168,4
----------------	------	------	-------	------	----	-----	-----	-------

### 2.6.2. Вибір збірних шин.

Шини розподільних пристроїв вибираються по нагріву максимальним розрахунковим струмом  $I_{рм}$  і перевіряються на електродинамічну і термічну стійкість.

При виборі шин по нагріву враховуються найбільш важкі післяаварійні і ремонтні режими. Допустимий струм шини  $I_{доп}$  повинен бути не менше  $I_{рм}$ .

$$I_{доп} \geq I_{р.м.}, \quad (2.43)$$

При розташуванні шин навзаки (велика грань смуги знаходиться в горизонтальній площині) допустимий струм, вказаний в [2], повинен бути зменшений на 5% для смуг вширшки до 60мм і на 8% - для смуг більшої ширини.

Перевірка на електродинамічну стійкість виконується порівнянням механічної напруги в матеріалі шини  $\sigma_p$  з допустимими значеннями  $\sigma_{доп}$

$$\sigma_{доп} \geq \sigma_p. \quad (2.44)$$

Механічні напруги в матеріалі шини, що виникають під дією вигинаючого моменту, МПа

$$\sigma_p = \sqrt{3} \cdot 10^{-8} \frac{i_y^2 \cdot l^2}{a \cdot W}, \quad (2.45)$$

де  $i_y$  – ударний струм КЗ, А;  $l$  – відстань між опорними ізоляторами, см, яке в нашому випадку приймаємо рівним  $l=1$  м;  $a$  – відстань між осями шин суміжних фаз, см, яке в нашому випадку приймаємо рівним  $a=0,25$  м;  $W$  – момент опору шини щодо осі, перпендикулярної дії зусилля, см<sup>3</sup>, який при розташуванні шин навзаки обчислюється як

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6}, \quad (2.46)$$

де  $b$  і  $h$  – відповідно менший і більший розміри сторін поперечного перетину шини.

Перевірка шин на термічну стійкість зводиться до визначення мінімального допустимого перетину

$$F = \frac{\sqrt{B_k}}{C}, \quad (2.47)$$

де  $C$  – розрахунковий коефіцієнт,  $C = 91 \text{ А} \cdot \text{с}^{0,5} / \text{мм}^2$ .

Проведемо вибір шини РП напругою 10 кВ і перевіримо їх на електродинамічну і термічну стійкість до струмів КЗ.

Вибираємо по нагріву шини вширшки до 60мм. В цьому випадку умову вибору прийме вигляд

$$I_{\text{доп}} \cdot 0,95 = 480 \cdot 0,95 = 456 \text{ А};$$

$$456 \text{ А} > 168 \text{ А}.$$

Приймаємо шини розміром 40х4мм, перетини, що мають площу, 160 мм<sup>2</sup> і  $I_{\text{доп}}=456 \text{ А}$ .

$$B_k = 9,28^2 \cdot (1,1 + 0,01) = 101,44 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

$$F_{\text{min}} = \frac{\sqrt{101,44 \cdot 10^6}}{91} = 110,6 \text{ мм}^2.$$

Що менше прийнятого нами перетину рівного 160 мм<sup>2</sup>.

Виконаємо перевірку на електродинамічну стійкість. Момент опору шин при розташуванні їх навзнаки

$$W = \frac{0,4 \cdot 4^2}{6} = 1,06 \text{ см}^3.$$

Розрахункові напруги в матеріалі шини

$$\sigma_p = \sqrt{3} \cdot 10^{-8} \cdot \frac{22590^2 \cdot 1^2}{0,25 \cdot 1,06} = 38,6 \text{ МПа}.$$

Для матеріалу шин марки АДО  $\sigma_{\text{доп}}=49 \text{ МПа}$ . Оскільки умова

$$\sigma_{\text{доп}} = 49 \text{ МПа} > \sigma_p = 38,6 \text{ МПа}.$$

виконується, вибрані шини динамічно стійкі.

### 2.6.3. Вибір вимикачів і розчіплювачів.

Вибір вимикача здійснюється за наступними умовами:

- по напрузі  $U_{уст} \leq U_{ном}$ ;
- по струму  $I_{ном} \leq I_{ном}$ ;  $I_{макс} \leq I_{ном}$  - по відключаючій здатності  $S_K \leq S_{отк}$ ;
- по динамічній стійкості  $i_y \leq i_{удин}$ ;
- по термічній стійкості  $B_K \leq I_T \cdot t_T$ .

Вибір розчіплювачів здійснюється за наступними умовами

- по напрузі  $U_{уст} \leq U_{ном}$ ;
- по струму  $I_{макс} \leq I_{ном}$ ;
- по динамічній стійкості  $i_y \leq i_{удин}$ ;
- по термічній стійкості  $B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$ .

Розглянемо вибір вимикача і розчіплювача на лінії РП-ТП1.

Вибір вимикача:

- по напрузі 10 кВ=10 кВ;
- по струму

40,4 А < 630 А;

72,8 А < 630 А.

До установки приймаємо вимикач ВВ/TEL – 10 – 630/16.

- по відключаючій здатності, визначимо відключаючу потужність

$$S_{отк} = \sqrt{3} \cdot I_{ном.откл} \cdot U_{ном}, \quad (2.48)$$

$$S_{отк} = \sqrt{3} \cdot 16 \cdot 10 = 277,1 \text{ МВА.}$$

$$S_K = \sqrt{3} \cdot I_K \cdot U_{CH}. \quad (2.49)$$

$$S_K = \sqrt{3} \cdot 9,28 \cdot 10,5 = 173,8 \text{ МВА.}$$

173,8 МВА < 277,1 МВА.

- по динамічній стійкості

22,59 кА < 41 кА.

- по термічній стійкості  $55,75 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} < 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$

### Вибір розчіплювача

- по напрузі  $10 \text{ кВ} = 10 \text{ кВ}$
- по струму  $72,8 \text{ А} < 630 \text{ А}$ .

До установки приймаємо розчіплювач РВЗ–10–630

- по динамічній стійкості  $22,59 \text{ кА} < 51 \text{ кА}$ ;
- по термічній стійкості  $55,75 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} < 20^2 \cdot 1 = 400 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$ .

Аналогічно проводимо вибір решти вимикачів і розчіплювачів результати вибору заносимо в табл. 2.10.

Таблиця 2.10

### Результати вибору вимикачів і розчіплювачів

Номер цеху	Цех	З'єднання	Вимикач	Розчіплювач
1,5	Заготовчий цех, гальванічний цех, 1310 кВт	РП-ТП1	ВВ/ТЕЛ–10–630–УЗ	РВЗ 10–630–УЗ
2,3	Цех механічної обробки, ковальський цех, 1350 кВт	РП-ТП2	ВВ/ТЕЛ–10–630–УЗ	РВЗ 10–630–УЗ
4,7	Інструментальний цех, склад готової продукції, 920 кВт	РП-ТП3	ВВ/ТЕЛ–10–630–УЗ	РВЗ 10–630–УЗ
6,8	Складально-зварювальний цех, адміністративний корпус, 1805 кВт	РП-ТП4	ВВ/ТЕЛ–10–630–УЗ	РВЗ 10–630–УЗ
Живляча лінія			ВВ/ТЕЛ–10–630–УЗ	РВЗ 10–630–УЗ

### 2.6.4. Вибір трансформаторів струму і напруги.

Трансформатори струму вибираються по тих же умови, що і раніше вибрані апарати напругою вище за 1кВ. Проведемо вибір трансформатора струму для живлячої лінії.

Номінальна потужність вторинної обмотки трансформатора струму  $S_2$  повинна бути не менше суми потужності, споживаної приладами  $S_{пр}$ , і потужності, що втрачається в дротах і перехідних контактах

$$S_2 \geq S_{np} + I_2^2 \cdot (r_{np} + r_k), \quad (2.50)$$

де  $r_{np}$ ,  $r_k$  – опір дротів і контактів, Ом.

Опір всіх перехідних контактів приймають рівним 0,1 Ом, величину струму  $I_2=5A$ . Тоді опір дротів між трансформатором струму і вимірювальними приладами

$$r_{np} = (S_2 - S_{np} - I_2^2 \cdot r_k) / I_2^2. \quad (2.51)$$

При з'єднанні в зірку трьох трансформаторів струму перетин дротів, мм<sup>2</sup>

$$F = \sqrt{3} \cdot \rho \cdot l / r_{np}, \quad (2.52)$$

де  $\eta$  - питомий опір дротів, мкОм, який приймаємо для алюмінієвих дротів рівним 0,0262 мкОм;  $l$  – довжина сполучних дротів, яку приймаємо рівною  $l=5m$ .  
Вибираємо ТС ТПОЛ – 10 – 600/5  $S_2=10 B \cdot A$ .

Навантаження на фази А і С

- амперметр Э335 з  $S_{п.а}=0,5 B \cdot A$ ;
- лічильник повного обліку EMS – 112.40.3  $S_{п.а}=5 B \cdot A$ ;

$$S_{np} = S_{n.a.} + S_{n.c.a.} + S_{n.c.p.} = 0,5 + 2,5 + 2,5 = 5,5 B \cdot A.$$

Опір дротів між трансформатором струму і вимірювальними приладами

$$r_{np} = \frac{10 - 5,5 - 5^2 \cdot 0,1}{5^2} = 0,08 \text{ Ом.}$$

При з'єднанні в неповну зірку двох трансформаторів струму перетин дротів, мм<sup>2</sup>

$$F = \frac{\sqrt{3} \cdot 0,0262 \cdot 5}{0,08} = 2,836 \text{ мм}^2.$$

Приймаємо до установки кабель типу АКВРТ, перетином 3 мм<sup>2</sup>.

Аналогічно проводимо вибір решти трансформаторів струму, результати вибору заносимо в таблицю 2.11.

По динамічній стійкості

$$i_y \leq i_{удин} \quad (2.53)$$



24,32 кА < 81 кА.

По термічній стійкості  $55,75 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} < 32^2 \cdot 3 = 3072 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$ .

Таблиця 2.11

Результати вибору трансформаторів струму

Номер цеху	Цех	З'єднання	Трансформатор струму
1,5	Заготовчий цех, гальванічний цех, 1310 кВт	РП-ТП1	ТПК-10-100/5
2,3	Цех механічної обробки, ковальський цех, 1350 кВт	РП-ТП2	ТПК-10-100/5
4,7	Інструментальний цех, склад готової продукції, 920 кВт	РП-ТП3	ТПК-10-100/5
6,8	Складально-зварювальний цех, адміністративний корпус, 1805 кВт	РП-ТП4	ТПК-10-100/5
Живляча лінія			ТПОЛ-10-600/5
РП (секційний)			ТПОЛ-10-400/5

Трансформатори напруги вибирають по номінальних параметрах, класі точності і навантаженні. Номінальна потужність трансформатора напруги  $S_H$  повинна бути рівна або більше сумарної активної і реактивної потужності, споживаної паралельними котушками приладів і реле  $S_2$

$$S_H \geq S_2 = \sqrt{P_\Sigma^2 + Q_\Sigma^2}, \quad (2.54)$$

де  $P_\Sigma$  – сумарна активна потужність, споживана котушками приладів, Вт

$$P_\Sigma = S_{np} \cdot \cos \phi_{np}, \quad (2.55)$$

$Q_\Sigma$  – реактивна потужність, ВАр

$$Q_\Sigma = P_{np} \cdot \operatorname{tg} \phi_{np}. \quad (2.56)$$

Трансформатори напруги на шинах РП приймаємо типа НАМИ-10, сполучення  $Y_0/Y_0/\Delta-0$ ,  $U_H=10$  кВ з вбудованими запобіжниками ПКН-10. Вторинне навантаження трансформатора визначимо як сумарну з таблиці 2.12.

$$S_2 = \sqrt{12^2 + 38,7^2} = 40,52 \text{ В}\cdot\text{А}.$$

Вибраний трансформатор напруги має номінальну потужність в класі точності  $K_T=0,5$   $S_{\text{НОМ}}=120 \text{ В}\cdot\text{А}$ .

Таблиця 2.12

### Вторинне навантаження ТН

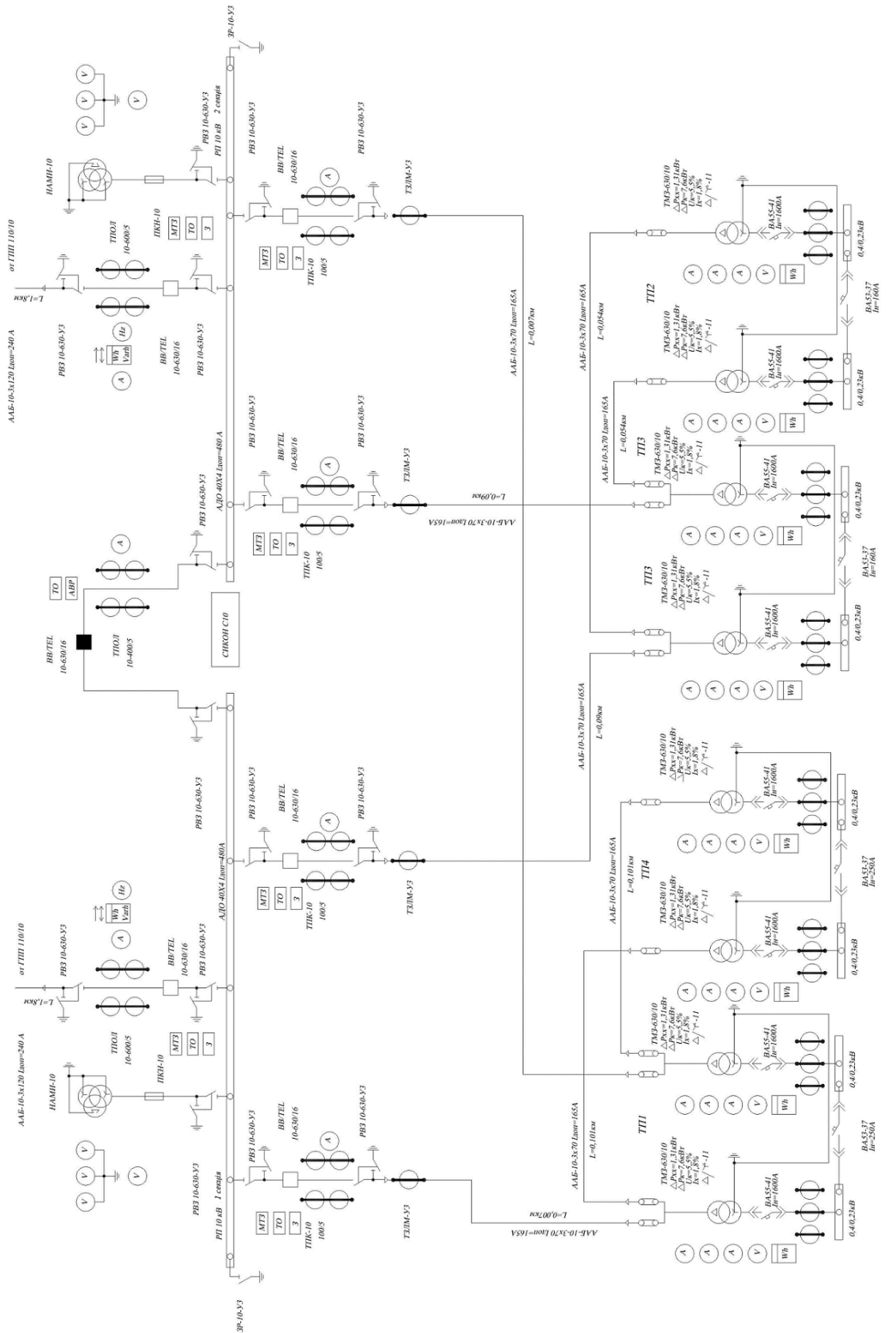
Найменування приладу	Тип приладу	Споживана потужність однієї котушки	Число котушок	cosφ	sinφ	Загальна споживана потужність	
						P <sub>пр</sub> , Вт	Q <sub>пр</sub> , вар
Вольтметр	Э335	2,0 ВА	1	1,00	0	2,0	0
Лічильник повного обліку	EMS – 112.40.3	5,0 Вт	2	0,25	0,97	10,0	38,7
Сумарна активна і реактивна потужності, споживані котушками приладів						12,0	38,7

Умова виконується.

$$120 \text{ В}\cdot\text{А} > 40,52 \text{ В}\cdot\text{А}.$$

Для релейного захисту, на кабельних лініях, що відходять, передбачаємо установку трансформаторів струму нульової послідовності типу ТЗЛМ-УЗ.

Розроблену високовольтну систему електропостачання зображено на рис.2.8



## 2.7. Організація управління енергогосподарством

На виробничо-складському комплексі застосовується централізована побудова енергоремонтної служби.

При централізованій організації ремонтно-експлуатаційної служби підвищена відповідальність відділу головного енергетика і енергоцеху за стан цехового електроустаткування і електричних мереж. При цьому забезпечується більш кваліфікована робота ремонтно-експлуатаційних ділянок, підвищується контроль над станом електричних мереж і устаткування, їх експлуатацією, а також якістю виконуваних ремонтних робіт і використанням робочої сили.

Категорію енергогосподарства ковальського корпусу визначаємо по загальній розрахунковій активній потужності. Тоді, згідно [8] для  $P_p=1,8$  МВт енергогосподарство заводу має 3 категорію. На рис. 2.9 приведена загальна схема організаційної структури відділу головного енергетика (ВГЕ).

На чолі енергетичного господарства стоїть головний енергетик.

Основні функції головного енергетика:

- безпосереднє адміністративне і технічне керівництво ВГЕ і енергоцехи;
- технічне і методичне керівництво службами цехових енергетиків;
- нагляд за правильною експлуатацією електроустаткування;
- нормування енергоресурсам і їх раціональне використання.

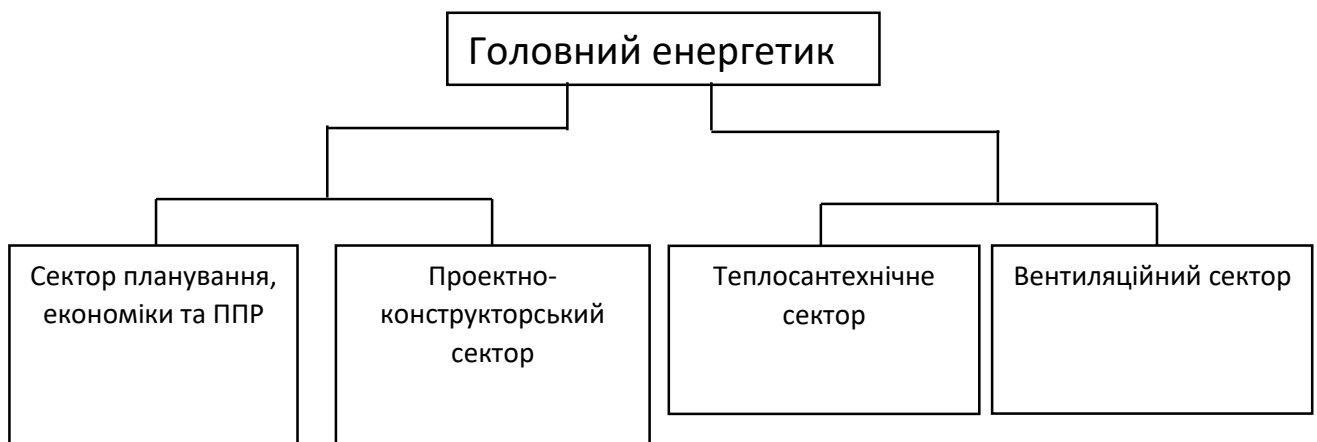


Рис. 2.9. Схема організаційної структури ВГЕ

Штат ВГЕ включає:

- головний енергетик – 1 чол.;
- сектор планування, економіки та ППР – 1 чол.;
- проектно-конструкторський сектор – 1 чол.;
- теплосантехнічний сектор – 1 чол.;
- вентиляційний сектор – 1 чол.;

разом інженерно-технічних працівників – 5 чол.

- кількість службовців – 0 чол.;

загальний штат ВГЕ - 5 чол.

Штат ІТП лабораторій ВГЕ відсутній.

У функції сектору планування, економіки та ППР входять:

- облік енергетичного устаткування і мереж, що перебувають на балансі підприємства і знаходяться в експлуатації, на складах і в русі на підприємстві; видача дозволу на переміщення устаткування; розробка і впровадження класифікаторів устаткування і мереж;

- оформлення введення в експлуатацію і списання в установленому порядку енергетичного устаткування і мереж; розробка і конкретизація окремих нормативів системи ППР стосовно умов підприємства;

- ведення ремонтної картотеки;

- складання річних, сезонних і щомісячних планів ППР енергетичного устаткування і мереж.

Основним завданням проектно-конструкторського сектору є технічне забезпечення експлуатації, ремонтних і монтажних робіт, що ведуться енергетичним цехом. У цих цілях сектор виконує наступні функції:

- складання і коректування виконавчих креслень, схем і кабельних журналів на всі експлуатовані електромережі і установки;

- розробка і впровадження єдиної по підприємству системи нумерації мереж, мережевих пристроїв, технічної документації;

- забезпечення експлуатаційних і ремонтних ділянок принциповими, розгорненими і монтажними схемами на електроустаткування.

Теплосантехнічний сектор виконує ті ж функції, що і проектно-конструкторський сектор, але для теплового і сантехнічного господарства підприємства. Крім проектно-конструкторських функцій несе функції інспекторського контролю, а також функції наладки відповідного устаткування і мереж.

Вентиляційний сектор несе функції, аналогічні функціям, але для вентиляційного господарства підприємства.

Диспетчерське управління енергогосподарством є однією з важливих форм оперативного втручання у виконання змінно-добових завдань на окремому робочому місці, ділянці і підприємства в цілому.

Схема оперативно-диспетчерського управління енергогосподарством представлена на рис. 2.10.

Диспетчеризація в енергогосподарстві полягає в здійсненні безперервного контролю і координуванні роботи окремих елементів схеми електропостачання, теплопостачання, неполадок, що виникають в процесі експлуатації.

У функції диспетчерської служби входять:

- систематичний контроль і забезпечення ритмічності виконання виробничої програми по кількості, асортименту, даті випуску продукції
- координація роботи виробничих цехів і рішення поточних питань по випуску продукції
- попередження і оперативне усунення аварій.

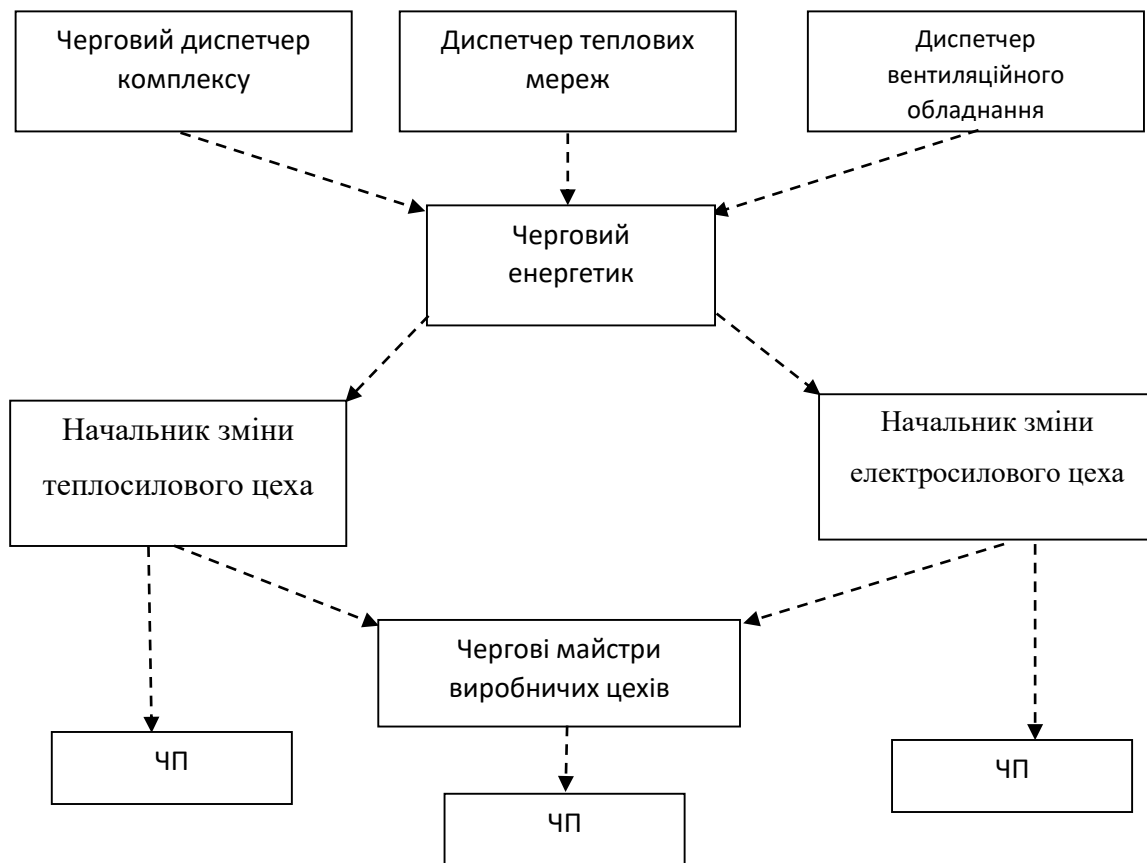


Рис. 2.10. Схема оперативно-диспетчерського управління в енергогосподарстві, ЧП – черговий персонал

Черговий енергетик підпорядкований черговому диспетчеру заводу, адміністративно і технічно головному енергетику, а по лінії управління електричними і тепловими мережами, що пов'язують підприємство з енергосистемою, диспетчеру електричних мереж і диспетчеру теплових мереж.

Відповідно до виробничих інструкцій черговий енергетик керує перемиканнями в заводських мережах, здійснює контроль за запуском великого електроустаткування, виводить і вводять на ремонт електроустаткування. У аварійних ситуаціях керує операціями по ліквідації аваріями з викликом персоналу і керівництва.

## ВИСНОВКИ

У процесі виконання дипломного проекту було отримано навички самостійного застосування відомостей, які були отримані при вивченні теоретичного матеріалу, та рішення комплексного завдання проектного характеру, освоєння конкретних методик розрахунків. Відбулося засвоєння на практиці теоретичних та практичних знань, отриманих при вивченні базових дисциплін спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

Під час виконання проекту було розроблено систему електропостачання (СЕП) виробничо-складського комплексу напругою 0,4 і 10 кВ. Така система складається з ліній, що живлять підприємство, пункту прийому електроенергії, лінії, що розподіляють електроенергію по підприємству, і цехових трансформаторних підстанцій.

У першому розділі роботи було здійснено загальну характеристику підприємства, опис технологічних процесів у проектованій СЕП виробничо-складського комплексу. Визначено розрахункове навантаження підприємства, прораховане силове та освітлювальне навантаження всіх цехів, а також спроектовано топологію системи електропостачання комплексу.

У другому розділі було визначено центр електричних навантажень даного комплексу, складено картограму навантажень. Потім було вибрано кількість та потужність трансформаторів для ГПП. Для компенсації реактивної потужності вибираються компенсуючі пристрої. Розроблено схему електропостачання вище 1 кВ (10 кВ), виконано розрахунок струмів короткого замикання, визначено перетин струмопровідних елементів та обрано електричні апарати вище 1 кВ. Розроблено структуру управління енергогосподарством виробничо-складського комплексу на базі відділу головного енергетика.



Основним завданням при виконанні даного проекту було розробити таку систему внутрішньозаводського електропостачання, яка зможе забезпечити споживачів електроенергією необхідної якості при заданій надійності електропостачання. Для вирішення цього завдання проводимо розрахунки працездатності СЕП в нормальних і аварійних режимах.

## СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ

### ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Федоров А.А., Каменева В.В. Основы электроснабжения промышленных предприятий: Учеб. для вузов. - 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1984. - 472 с.
2. Справочник по проектированию электроснабжения / Под ред. Ю.Л. Барыбина и др. - М.: Энергоатомиздат, 1990. - 576 с.
3. Неклепаев Б.И., Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций. Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: Учеб. пособие для вузов. - 4-е изд., перераб. и доп. — М.: Энергоатомиздат, 1989. - 608 с.
4. Дирацу В.С. и др. Электроснабжение промышленных предприятий. - К.: Вища шк., 1974. - 280 с.
5. Князевский Б.А., Липкин Б.Ю. Электроснабжение промышленных предприятий: Учеб. для студ. вузов.- 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Высш. шк., 1986.- 400с.
6. Правила устройства электроустановок / Минэнерго СССР. - 6-е изд.. перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1986. - 648 с.
7. Захарченко В.П., Тихонов В.В. Проектування електропостачання авіаційного підприємства: Навчально-методичний посібник – К.: НАУ, 2006.-68с.
8. Захарченко В.П., Тихонов В.В. Електропостачання: Методичні рекомендації і завдання-К.: НАУ, 2006.-32с.
9. Козлов В.Д., Єнчев С.В. Електричні апарати. Модуль 3. Вимірювальні, контрольні та захисні апарати: Посібник.-К.: НАУ, 2007.-72с.

10. Наказ № 19 від 17.01.02 р. Міністерства палива та енергетики України.

11. Комплектные распределительные устройства напряжением 6(10) кВ «Классика» серии D-12P. Руководство по эксплуатации. – Электротехнический завод «Вектор». – 85 с.

12. Бохан А.Н. Проектирование подстанций систем электроснабжения: учеб. пособие. – Гомель : ГГТУ им. П.О. Сухого, 2017. – 311 с.