

Міністерство освіти та науки України
Луцький національний технічний університет



ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Методичні вказівки
до виконання курсового проєкту
для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
освітньої програми
«Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
галузі знань 14 Електрична інженерія
спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка,
денної та заочної форм навчання

Луцьк 2025

УДК 621.311 (07)

E75

До друку

Голова вченої ради факультету архітектури, будівництва та дизайну
_____ О.В. Андрійчук

Електронна копія друкованого видання передана для внесення в репозитарій ЛНТУ

Директор бібліотеки _____ Н.П. Поліщук

Затверджено вченою радою факультету архітектури, будівництва та дизайну ЛНТУ, протокол № від « » 2025 року.

Розглянуто і схвалено на засіданні кафедри електричної інженерії ЛНТУ, протокол № 4 від «13» листопада 2025 року.

Завідувач кафедри електричної інженерії _____ Ю.В. Грицюк

Укладач: _____ Н.В. Коменда, кандидат технічних наук, доцент кафедри електричної інженерії ЛНТУ.

Рецензент: _____ Л.В. Давиденко, доктор технічних наук, професор кафедри електричної інженерії ЛНТУ.

Відповідальний за випуск: _____ Ю.В. Грицюк, кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри електричної інженерії ЛНТУ.

E75 Електропостачання [Текст]: Методичні вказівки до виконання курсового проєкту для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти освітньої програми «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» галузі знань 14 Електрична інженерія спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка денної та заочної форм навчання / уклад. Н.В. Коменда. Луцьк : ЛНТУ, 2025. 95 с.

В методичних вказівках наведені загальні відомості до виконання пояснювальної записки та графічної частини курсового проєкту в якому розробляється система внутрішньозаводського електропостачання промислового підприємства на напрузі 10 кВ.

© Н.В. Коменда, 2025

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА	5
ЗАГАЛЬНІ ВКАЗІВКИ	6
ОФОРМЛЕННЯ КУРСОВОГО ПРОЄКТУ	8
ЗАХИСТ КУРСОВОГО ПРОЄКТУ	9
ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ ТА ПРИКЛАД РОЗРАХУНКУ КУРСОВОГО ПРОЄКТУ	10
1. КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ПІДПРИЄМСТВА	10
1.1 Характеристика електроприймачів	10
1.2 Характеристика джерел живлення	11
2. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ	11
2.1 Розрахунок силових електричних навантажень	14
2.2 Розрахунок освітлювальних навантажень за допомогою метода коефіцієнту попиту	17
2.3 Розрахунок сумарних навантажень	21
3. РОЗРАХУНОК КАРТОГРАМИ НАВАНТАЖЕНЬ І ВИЗНАЧЕННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО ЦЕНТРУ НАВАНТАЖЕНЬ	24
4. ВИБІР КІЛЬКОСТІ І ПОТУЖНОСТІ ТРАНСФОРМАТОРІВ ЦТП І КОМПЕНСУЮЧИХ ПРИСТРОЇВ	27
5. КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ В УМОВАХ ПІДПРИЄМСТВА	36
6. РОЗРАХУНОК НАВАНТАЖЕНЬ НА ВИЩИХ РІВНЯХ СЕП ЗА ДОПОМОГОЮ ІЄРАРХІЧНОГО ПІДХОДУ	39
7. ВИБІР СХЕМИ ЗОВНІШНЬОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ	45

7.1	Схеми зовнішнього електропостачання підприємств	47
7.2	Розрахунок перерізу ліній електропередачі ...	55
7.2.1	Розрахунок перерізу повітряних ЛЕП ...	55
7.2.2	Розрахунок перерізу кабельних ліній напругою понад 1 кВ	57
7.3	Вибір схеми та напруги зовнішнього електропостачання	61
7.4	Вибір перерізу кабельних ліній	61
8.	ВИБІР СХЕМИ ВНУТРІШНЬОЗАВОДСЬКОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ	64
8.1.	Вибір напруги внутрішньозаводської мережі	65
8.2.	Схеми внутрішнього електропостачання промислових підприємств	67
8.3.	Загальні рекомендації по вибору схеми заводської високовольтної розподільчої мережі	76
8.4	Обґрунтування вибору схеми внутрішньозаводського електропостачання	78
8.5	Розрахунок перерізів кабельних ліній, що живлять ЦТП	78
	ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	82
	ДОДАТОК А Бланк завдання до курсового проєкту	84
	ДОДАТОК Б Титульний аркуш	90
	ДОДАТОК В Приклад оформлення специфікації	91
	ДОДАТОК Г Приклад оформлення переліку елементів ...	92
	ДОДАТОК Д Генеральний план підприємства	93
	ДОДАТОК Е Однолінійна схема підприємства	94

ПЕРЕДМОВА

Навчальною програмою з дисципліни «Електропостачання» передбачається виконання курсового проєкту студентами денної та заочної форм навчання підготовки бакалаврів спеціальності *141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка*.

Виконання курсового проєкту розвиває в студентів навички самостійного використання знань, отриманих при вивченні теоретичного матеріалу, для розв'язання комплексного завдання проєктного характеру з освоєнням конкретних методик розрахунків.

При виконанні курсового проєкту потрібно розробити систему електропостачання (СЕП) промислового підприємства напругою понад 1 **кВ** (конкретно напругою 6-10 **кВ**). Така система складається з повітряних ліній електропередачі (ЛЕП), що живлять підприємство від енергосистеми, пункту прийому електроенергії – головної понижувальної підстанції (ГПП), ліній напругою 6-10 **кВ**, які розподіляють електроенергію по території підприємства, цехових трансформаторних підстанцій (ЦТП) і розподільчих пунктів (РП), якщо вони потрібні.

Студент повинен розробити систему внутрішньозаводського електропостачання, яка зможе забезпечити споживачів електричною енергією відповідної якості та в необхідній кількості при заданій надійності електропостачання.

В пояснювальній записці повинні бути наведені вихідні дані на проєктування, пояснення ходу та послідовності розглянутих питань з обґрунтуванням прийнятих рішень і посиланнями на літературу, вказані методи розрахунків і розрахункові формули в загальному вигляді, зроблені необхідні числові підстановки в них та отримані результати розрахунків. В одному прикладі це робиться детально, інші аналогічні розрахунки наводяться в таблиці.

ЗАГАЛЬНІ ВКАЗІВКИ

Курсове проектування з дисципліни „Електропостачання”, має своєю метою систематизувати, розширити і поглибити теоретичні знання студентів, навички самостійної роботи з нормативною, довідниковою, методичною та навчальною літературою. При виконанні курсового проєкту, студенти повинні ознайомитись з сучасними досягненнями в галузі проектування та застосовувати ці досягнення в своїх розробках.

Мета курсового проєкту – закріпити та поглибити теоретичні знання, отримані студентами при вивченні дисципліни “Електропостачання”, зокрема, розділів: “Електричні навантаження”, “Цехові електричні мережі”, “Внутрішньозаводські електричні мережі”, “Компенсація реактивної потужності”, “Техніко-економічні розрахунки в електропостачанні”.

Курсовий проєкт виконується у відповідності з індивідуальним завданням, яке наведено в додатку А, і складається з двох частин:

I. Пояснювальна записка виконується на форматі А4:

— для курсового проєкту складається з 35-45 сторінок.

II. Графічна частина:

Для курсового проєкту 2 листи А1 формату:

а) Генеральний план підприємства

б) Схема однолінійна принципова електропостачання підприємства.

При виконанні курсового проєкту необхідно спроектувати систему електропостачання машинобудівного заводу. На території підприємства встановлений РП-10. Живлення заводу здійснюється від ГПП 110/10 кВ, яка віддалена від території

підприємства на 2,5 км. Вихідні дані до проекту наведені в Додатку А.

Зміст пояснювальної записки курсового проекту:

Вступ.

1. Коротка характеристика підприємства.
 - 1.1. *Характеристика електроприймачів.*
 - 1.2. *Характеристика джерела живлення.*
2. Розрахунок електричних навантажень.
 - 2.1. *Розрахунок силових навантажень.*
 - 2.2. *Розрахунок освітлювальних навантажень за допомогою методу коефіцієнта попиту.*
 - 2.3. *Розрахунок сумарних навантажень.*
3. Розрахунок картограми навантажень і визначення теоретичного центру навантажень.
4. Вибір кількості і потужності трансформаторів ЦТП і компенсуючих пристроїв.
5. Компенсація реактивної потужності в умовах підприємства.
6. Розрахунок навантажень на вищих рівнях СЕП за допомогою ієрархічного підходу.
7. Вибір схеми зовнішнього електропостачання.
 - 7.1. *Вибір схеми та напруги зовнішнього електропостачання.*
 - 7.2. *Вибір перерізу живлячих ліній.*
8. Вибір схеми внутрішньозаводського електропостачання.
 - 8.1. *Обґрунтування вибору схеми внутрішньозаводського електропостачання.*
 - 8.2. *Розрахунок перерізів кабельних ліній, що живлять ЦТП.*

Зміст графічної частини курсового проєкту:

2 креслення формату А1:

- 1) генеральний план підприємства з нанесеною картографією електричних навантажень і вибраними до встановлення трансформаторними підстанціями і кабельними лініями електропередачі;
- 2) однолінійна схема СЕП підприємства (схема електрична принципова).

ОФОРМЛЕННЯ КУРСОВОГО ПРОЄКТУ

Пояснювальна записка є технічним документом курсового проєкту і повинна оформлюватись у відповідності до вимог єдиної системи конструкторської документації (ЕСКД).

Пояснювальна записка має наступну структуру:

1-ша сторінка - титульний аркуш (Додаток Б);

2-га – 3-тя сторінки - бланк завдання підписаний керівником та студентом (Додаток А);

4-та сторінка – зміст;

5-та сторінка – вступ;

6-та сторінка і далі - 8 розділів пояснювальної записки; перелік посилань; додатки (специфікація (Додаток В) та перелік елементів (Додаток Г)).

Послідовність викладення матеріалу у пояснювальній записці, повинна відповідати змісту заданого курсового проєкту. Всі розділи записки повинні викладатись грамотно і по можливості коротко.

Графічна частина проєкту ілюструє текст розрахунково-пояснювальної записки.

Обсяг та зміст графічної частини визначається завданням на проєктування (додаток А). Всі креслення необхідно виконувати у відповідності з єдиною системою

конструкторської документації (ЄСКД) з дотриманням стандартів позначень і масштабу.

Розрахунково-пояснювальна записка курсового проекту та графічний матеріал повинні бути оформлені згідно з вимогами кафедри, які висвітлені у методичних вказівках [7, 8].

ЗАХИСТ КУРСОВОГО ПРОЄКТУ

Закінчений проєкт викладач перевіряє, при правильному виконанні підписує його і допускає до захисту. Якщо проєкт в цілому або частково виконаний неправильно, викладач його повертає з зауваженнями на доопрацювання.

Курсовий проєкт допускається до захисту за наявності підписаної керівником розрахунково-пояснювальної записки та листів креслень, звіту про перевірку на плагіат. Захист відбувається за участі комісії.

На захисті студент доповідає про свою роботу: доводить тему завдання, дає коротку характеристику об'єкта проєктування, повідомляє основні технічні рішення, які він застосував. Під час захисту курсового проєкту, студенту можуть бути задані питання, як по проєкту, так і по всьому курсу предмету.

При оцінюванні курсового проєкту враховується його зміст, обґрунтованість прийнятих рішень, якість та послідовність викладення матеріалу, розрахунків, зовнішнє оформлення та якість відповідей на питання комісії під час захисту. Після захисту виставляється диференційована оцінка.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ ТА ПРИКЛАД РОЗРАХУНКУ КУРСОВОГО ПРОЄКТУ

1. КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ПІДПРИЄМСТВА

1.1 Характеристика електроприймачів

Спроекувати систему електропостачання машинобудівного заводу. На території підприємства встановлено РП – 10 *кВ*. Час використання максимального активного навантаження $T_{\max} = 3000 \text{ год}$, режим роботи підприємства однозмінний, при 8 годинній зміні.

Склад цехів підприємства з вихідними даними до проекту наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Структура підприємства

№ цеху	Назва цеху	$P_{\text{вст}}$, <i>кВт</i>	K_n	$\cos\varphi$	Категорія надійності електроприймачів
1	Механічний цех № 1	5130	0,19	0,64	2 і 3
2	Механічний цех № 2	5790	0,14	0,66	2 і 3
3	Механічно-складальний цех	6200	0,11	0,61	2
4	Інструментальний цех	6830	0,16	0,69	3
5	Цех дрібних серій	7090	0,12	0,54	2
6	Ремонтно-механічний цех	5800	0,17	0,64	3

1.2 Характеристика джерела живлення

Живлення підприємства здійснюється від ГПП 110/10, яка розміщена на відстані 2,5 км від території заводу.

2. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Електричним навантаженням називають потужність, що споживається електроустановкою в певний момент часу. Електричні навантаження характеризують споживання електричної енергії окремими споживачами, групою споживачів в цеху, групою цехів і підприємством в цілому. При змінному струмі розрізняють активне, реактивне та повне навантаження. Поняття навантаження поширюється також на електричний струм.

Розрахункове навантаження обумовлює допустиме нагрівання електричних машин, апаратів і струмопровідних частин у нормальному режимі роботи. За розрахункове навантаження приймають таке умовно незмінне за часом значення навантаження, що викликає найбільш тяжке нагрівання провідника струму за максимальною температурою (піком температури) чи за тепловим зносом ізоляції, як і фактичне змінне за часом повне навантаження, яке безперервно змінюється за часом залежно від режиму роботи електроприймача у групі.

Нагрівання є результатом впливу навантаження за визначений час. Вважається, що сталий тепловий стан тіла, яке нагрівається, настає через проміжок часу, що дорівнює трьом сталим часу нагрівання ($3T_0$). Таким чином, розрахункове навантаження можна розглядати як максимальне із середніх

значень навантаження на інтервалі часу $3T_0$. При цьому визначають активне (P_p), реактивне (Q_p) та повне (S_p) розрахункові навантаження.

Проводи та кабелі поширених малих і середніх значень поперечного перерізу звичайної конструкції в електричних мережах до 1 **кВ** мають сталу часу нагрівання порядку $T_0 = 10$ **хв**. Тому за розрахунковий інтервал при визначенні розрахункового навантаження приймають інтервал часу 30 **хв**. Для однаковості розрахункової методики півгодинний максимум розглядається як розрахункове навантаження для вибору всіх елементів електропостачання. Якщо стала часу провідника значно перевищує 10 **хв**, то півгодинний максимум можна привести до більшої тривалості.

Величину розрахункового навантаження використовують для вибору потужності та перевірки навантажувальної спроможності силових трансформаторів, вибору потужності компенсуючих та перетворювальних установок, перерізу струмопровідних частин електроустановок за нагріванням та економічною густиною струму, для визначення втрат та відхилень напруги і витрат потужності й електроенергії в електричних мережах, розрахунку захисту.

При визначенні розрахункових навантажень в СЕП промислових підприємств є шість рівнів (рисунок 2.1), які розрізняються за місцем знаходження в схемі електропостачання:

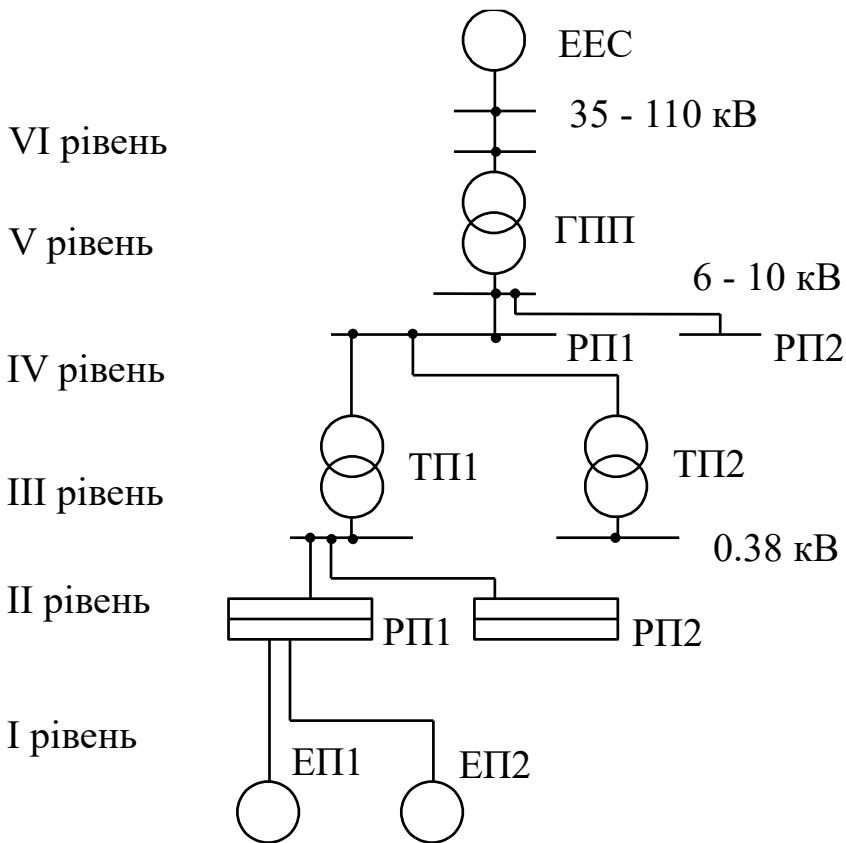


Рисунок 2.1 – Рівні електропостачання.

I рівень – електричні мережі напругою до 1 кВ, які приєднують окремі електроприймачі до силових розподільних шаф (СРШ) або до шинопроводу розподільного алюмінієвого (ШРА);

II рівень – електричні мережі напругою до 1 кВ, які приєднують СРШ чи ШРА до збірних шин низької напруги (НН) цехових ТП або до магістральних шинопроводів алюмінієвих (ШМА);

III рівень – збірні шини НН цехових ТП та ШМА;

IV рівень – збірні шини напругою 6-10 кВ РП;

V рівень – збірні шини напругою 6-10 кВ ГПП, ПГВ або ЦРП (якщо РП відсутні, то IV та V рівні збігаються);

VI рівень – межа розподілу балансової належності електричних мереж енергосистеми та споживача.

2.1 Розрахунок силових електричних навантажень

Обчислення розрахункового навантаження цехів та підприємства здійснюється методом коефіцієнта попиту [2]. Цей метод дозволяє визначити розрахункове максимальне навантаження вузла електропостачання (ділянка цеху, цех, промислове підприємство) на стадії проектного завдання, при невідомій потужності окремих електроприймачів.

Величину розрахункового активного навантаження P_p та розрахункового реактивного навантаження Q_p визначають за допомогою коефіцієнта попиту K_n і коефіцієнта потужності $\cos \varphi_i$ для даної групи електроприймачів або галузі промисловості.

Коефіцієнтом попиту називають відношення розрахункового активного навантаження групи електроприймачів P_p до їх встановленої потужності при тривалому режимі (за винятком потужності резервних електроприймачів):

$$K_n = \frac{P_p}{\sum_{i=1}^n P_{вст.i}}, \quad (2.1)$$

де $P_{вст.i}$ – встановлена активна потужність i -го електроприймача, яка при коефіцієнті тривалості вмикання $TВ=100\%$ дорівнює його номінальній потужності $P_{ном.i}$; n – кількість діючих електроприймачів.

Числові значення коефіцієнта попиту K_n встановлені проектними та науково-дослідними установами на основі статистичної обробки графіків добового навантаження конкретних споживачів і наводяться у відповідній технічній літературі та сприймаються як директивні [2].

З формули (2.1) можна одержати розрахункове силове активне навантаження для окремого цеху при напрузі 0,38/0,22 кВ:

$$P_{p.c.i} = K_{n.i} \cdot P_{вст.i} , \quad (2.2)$$

де $K_{n.i}$ – коефіцієнт попиту i -го цеху (числові значення $K_{n.i}$ окремих цехів наведені в таблиці 3 завдання); $P_{вст.i}$ – встановлена активна потужність i -го цеху (числові значення $P_{вст.i}$ окремих цехів наведені в таблиці 2 завдання).

Розрахункове силове реактивне навантаження i -го цеху визначається за формулою:

$$Q_{p.c.i} = P_{p.c.i} \cdot tg\varphi_i , \quad (2.3)$$

де $tg\varphi_i$ – відповідає значенню коефіцієнта потужності $\cos\varphi_i$ i -го цеху (числові значення $\cos\varphi_i$ окремих цехів наведені в таблиці 4 завдання).

Розрахункове силове повне навантаження i -го цеху визначається як:

$$S_{p.c.i} = \sqrt{P_{p.c.i}^2 + Q_{p.c.i}^2} . \quad (2.4)$$

За формулами (2.2) – (2.4) визначаються розрахункове силове активне, реактивне та повне навантаження кожного цеху підприємства.

Обрахунки будемо проводити на прикладі механічного цеху №1.

$$P_{p.c.} = 0,19 \cdot 5130 = 974,7 \text{ кВт},$$

де $P_{вст} = 5130$ кВт, згідно з даними таблиці 2 завдання;
 $K_n = 0,19$, згідно з даними таблиці 3 завдання;

$$Q_{p.c.} = 974,7 \cdot 1,2 = 1170,2 \text{ кВАр},$$

$tg\varphi = tg(\arccos(0,64)) = 1,2$, згідно з даними таблиці 4 завдання.

$$S_{p.c.} = \sqrt{974,7^2 + 1170,2^2} = 1523 \text{ кВА}.$$

Для інших цехів підприємства розрахунок здійснюємо аналогічно.

Результати розрахунку зводимо в таблицю 2.1

Таблиця 2.1 – Визначення розрахункового силового навантаження цехів

№ цеху	Назва цеху	$P_{вст.i}$, кВт	$K_{n.i}$	$\cos \varphi_i$	$tg \varphi_i$	Результати розрахунків		
						$P_{p.c.}$, кВт	$Q_{p.c.}$, кВАр	$S_{p.c.}$, кВА
1	Механічний цех № 1	5130	0,19	0,64	1,20	974,7	1170,2	1523,0
...
Всього						5396,9	6635,0	8552,8

2.2. Розрахунок освітлювальних навантажень за допомогою метода коефіцієнту попиту

На промисловому підприємстві близько 10% споживання електричної енергії витрачається на електричне освітлення. Освітлювальні мережі живляться від цехових ТП з вторинною напругою 0,38(0,22) кВ (чотирипровідні мережі з глухозаземленою нейтралю).

Методом коефіцієнта попиту можна визначити розрахункове навантаження загального електричного освітлення цеху. Для цього необхідно з початку визначити встановлене (номінальне) активне навантаження приладів освітлення i -го цеху $P_{вст.o.i}$, якщо воно не визначалось до цього світлотехнічним розрахунком, який в курсовому проекті не проводиться. На етапі визначення загального навантаження цеху його розраховують за формулою:

$$P_{вст.o.i} = k \cdot p_{n.o.i} \cdot F_i \cdot 10^{-3}, \quad (2.5)$$

де k - коефіцієнт, що враховує потужність пускових приладів, який залежить від джерела світла (для ламп розжарювання приймається $k = 1,0$; для ламп типу ДРЛ $k = 1,1$; для люмінісцентних ламп низького тиску стартерних $k = 1,2$, безстартерних $k = 1,35$);

$P_{n.o.i}$ - питоме навантаження загального освітлення i -го цеху, $Вт / м^2$;

F_i - площа i -го цеху, що підлягає освітленню, $м^2$ (розміри цеху беруться з генерального плану підприємства).

Розрахункове активне навантаження загального освітлення i -го цеху визначається за формулою:

$$P_{p.o.i} = K_{n.o} \cdot P_{act.o.i}, \quad (2.6)$$

де $K_{n.o}$ - коефіцієнт попиту загального освітлення.

Для невеликих виробничих будівель, цехів, приймається коефіцієнт попиту загального освітлення $K_{n.o} = 1$. Для виробничих будівель, що складаються з окремих прольотів $K_{n.o} = 0,95$. Для виробничих будівель, що складаються з багатьох окремих приміщень $K_{n.o} = 0,85$ [8]. У курсовому проекті рекомендується приймати $K_{n.o} = 0,95$ незалежно від виду джерела світла.

Розрахункове реактивне навантаження загального освітлення i -го цеху визначається як:

$$Q_{p.o.i} = P_{p.o.i} \cdot tg\varphi_{o.i}, \quad (2.7)$$

де $\operatorname{tg}\varphi_{o,i}$ - відповідає значенню коефіцієнта потужності $\cos\varphi_{o,i}$, i -го цеху залежно від типу джерела світла, що задається в таблиці 5 завдання (величина коефіцієнта потужності $\cos\varphi_{o,i}$ для різних типів ламп наведена в примітках до таблиці 5 завдання).

Розрахункове повне навантаження загального освітлення i -го цеху визначається за формулою:

$$S_{p.o,i} = \sqrt{P_{p.o,i}^2 + Q_{p.o,i}^2}, \quad (2.8)$$

За формулою (2.5) розраховуємо встановлене (номінальне) активне навантаження загального освітлення. За формулами (2.6); (2.7); (2.8) розраховуємо активне, реактивне, повне навантаження загального освітлення кожного цеху підприємства.

Обрахунок будемо проводити на прикладі механічного цеху №1:

$$P_{\text{вст.o,i}} = 1,35 \cdot 11 \cdot 4608 \cdot 10^{-3} = 68,4 \text{ кВт};$$

$$P_{p.o,i} = 0,95 \cdot 68,4 = 65,0 \text{ кВт};$$

$$Q_{p.o,i} = 65,0 \cdot 0,33 = 21,4 \text{ кВАр};$$

$$S_{p.o,i} = \sqrt{65,0^2 + 21,4^2} = 68,4 \text{ кВА}.$$

Результати розрахунку для інших цехів наведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Визначення розрахункового навантаження загального електричного освітлення цехів

Назва цеху	F_i , м ²	Тип лампи	$P_{n.o.i}$ Вт/м ²	$\cos \varphi_{o.i}$	$tg \varphi_{o.i}$	$K_{n.o}$	Результати розрахунку				
							$P_{вст.o.i}$, кВт	$P_{p.o.i}$, кВт	$Q_{p.o.i}$, кВАр	$S_{p.o.}$, кВА	
1	Механічний цех №1	4608	ЛЛ	11	0,95	0,33	1,35	68,4	65,0	21,4	68,4
2	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
Всього								478,7	454,8	283,0	535,6

2.3 Розрахунок сумарних навантажень

Розрахункове навантаження підприємства необхідне для вибору номінальної потужності трансформаторів ГПП, визначення економічного значення реактивної потужності, яка споживається від енергосистеми, розрахунку потужності пристроїв компенсації реактивної потужності споживача.

Для визначення розрахункового навантаження підприємства необхідно обчислити загальне розрахункове навантаження цехів. При розрахунку загального розрахункового навантаження цеху з врахуванням розрахункового навантаження загального електричного освітлення, приймається коефіцієнт одночасності збігання максимумів навантаження $K_0 = 1$. Необхідні розрахункові дані (розрахункове силове навантаження цеху і розрахункове навантаження загального електричного освітлення цеху) беруться відповідно з таблиць 2.1, 2.2.

Загальне розрахункове активне навантаження i -го цеху визначається за формулою:

$$P_{p.ц.i} = P_{p.c.i} + P_{p.o.i}, \quad (2.9)$$

Загальне розрахункове реактивне навантаження i -го цеху визначається за формулою:

$$Q_{p.ц.i} = Q_{p.c.i} + Q_{p.o.i}, \quad (2.10)$$

Таким чином, загальне розрахункове повне навантаження i -го цеху:

$$S_{p.ц.i} = \sqrt{P_{p.ц.i}^2 + Q_{p.ц.i}^2}, \quad (2.11)$$

За формулами (2.9); (2.10); (2.11) здійснюємо розрахунок сумарних активних, реактивних і повних навантажень. Обчислення здійснюємо на прикладі механічного цеху №1:

$$P_{p.c.} = 974,7 + 65 = 1039,7, \text{ кВт}$$

$$Q_{p.c.i} = 1170,2 + 21,4 = 1191,6, \text{ кВАр}$$

$$S_{p.c.i} = \sqrt{1039,7^2 + 1191,6^2} = 1581,4, \text{ кВА}$$

Результати розрахунку для інших цехів наведені в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Розрахунок сумарного навантаження

Найменування вузлів живлення	Силowe навантаження		Освітлювальне навантаження		Сумарне навантаження		
	$P_{p.c.i}$, кВт	$Q_{p.c.i}$, кВАр	$P_{p.o.i}$, кВт	$Q_{p.o.i}$, кВАр	$P_{p.c.i}$, кВт	$Q_{p.c.i}$, кВАр	$S_{p.c.i}$, кВА
Механічний цех №1	974,7	1170,2	65	21,4	1039,7	1191,6	1581,4
.....
Всього					5851,70	6917,90	9060,89

Загальне розрахункове активне та реактивне навантаження кількох груп або цехів усього підприємства визначають з урахуванням коефіцієнта одночасності збігання максимумів навантаження цих груп або цехів:

$$P_p = K_o \cdot \sum_{i=1}^m P_{p.c.i}, \tag{2.12}$$

$$Q_p = K_o \cdot \sum_{i=1}^m Q_{p.u.i}, \quad (2.13)$$

де m – кількість розрахункових груп (цехів) підприємства.

Коефіцієнт одночасності збігання максимумів навантаження приймають в інтервалі $K_o = 0,85 - 0,95$.

$$P_p = 0,89 \cdot 5851,7 = 5208,013 \text{ кВт}$$

$$Q_p = 0,89 \cdot 6917,9 = 6156,931 \text{ кВАр}$$

Розрахункову повну потужність визначають за формулою:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \quad (2.14)$$

$$S_p = \sqrt{5208,013^2 + 6156,931^2} = 8064,192 \text{ кВА}$$

3 РОЗРАХУНОК КАРТОГРАМИ НАВАНТАЖЕНЬ І ВИЗНАЧЕННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО ЦЕНТРУ НАВАНТАЖЕНЬ

Розташування джерела живлення (ДЖ) проєктованої СЕП повинно сприяти досягненню мінімуму витрат на всю СЕП. Для цього необхідно звести до мінімуму довжину мережі, внаслідок чого вартість втрат енергії та напруги в живильній та розподільчій мережах СЕП промислового підприємства буде мінімальною. З цією метою визначається умовна точка на плані підприємства, що відповідає центру ваги площини підприємства, на якій електричні навантаження умовно замінені на еквівалентні ваги [3]. Ця умовна точка називається центром електричних навантажень (ЦЕН).

Для наочності визначення ЦЕН на генеральний план підприємства наноситься картограма навантажень. При цьому для кожного цеху креслиться коло, центр якого збігається із ЦЕН цеху. Навантаження кожного з цехів зображають колом площа якого пропорційна розрахунковій активній потужності. Вважається, що навантаження розподілені рівномірно по всій території підприємства. ЦЕН цеху буде збігатися з його геометричним центром. Визначаємо умовний центр навантажень підприємства згідно методики [3].

Радіус кола, який характеризує величину навантаження визначається:

$$r = \sqrt{\frac{P_{p.u}}{\pi t}}, \quad (3.1)$$

де $P_{p.u}$ – повне розрахункове активне навантаження об'єкта, **кВт**;

m – мірило, кВт/см^2 (прийнятий масштаб для визначення площі кола).

$P_{p.c}$ – повне розрахункове активне навантаження цеху.

Для відображення характеристики навантаження підприємства в кожному колі виділимо сектор який відповідає освітлювальному навантаженню:

$$\alpha = \frac{360 \cdot P_{p.o.c}}{P_{p.c}}, \quad (3.2)$$

де α – величина сектора в градусах $\alpha \geq 3^0$.

За формулами 3.1 та 3.2 здійснимо розрахунок координат та радіусів кіл картограми окремих цехів, приклад розрахунку проводимо для цеху №1:

$$r = \sqrt{\frac{1039,7}{3,14 \cdot 5}} = 40,68 \text{ мм},$$

$$\alpha = \frac{360 \cdot 65}{1039,7} = 22,5^0.$$

Результати розрахунків для інших цехів підприємства наводимо в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Координати та радіуси кіл картограм окремих цехів

Назва цеху	$P_{p.c.i}$, кВт	$P_{p.o.i}$, кВт	Координати		Результати розрахунку	
			x	y	r , мм	α , град
1 Механічний цех №1	1039,7	65	31,5	74	40,68	22,5
2 .....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
Всього	5851,70	454,8				

Координати центру електричних навантажень визначаємо в умовній системі координат, яка наноситься на план підприємства довільним чином з умовними одиницями виміру. Зазвичай умовну систему координат суміщають з нижнім лівим кутом площі підприємства.

Координати центру електричних навантажень підприємства обчислюємо за формулами:

$$X_u = \frac{\sum_{i=1}^n (P_{p,ц_i} \cdot x_i)}{\sum_{i=1}^n P_{p,ц_i}}, \quad (3.3)$$

$$Y_u = \frac{\sum_{i=1}^n (P_{p,ц_i} \cdot y_i)}{\sum_{i=1}^n P_{p,ц_i}}. \quad (3.4)$$

де n – кількість цехів підприємства.

За формулами 3.3 та 3.4 визначаємо теоретичний ЦЕН підприємства.

$$X_u = \frac{1039,7 \cdot 31,5 + 863,6 \cdot 31,5 + \dots + 1069,7 \cdot 92,5}{1039,7 + 863,6 + \dots + 1069,7} = 60,35 \text{ см},$$

$$Y_u = \frac{1039,7 \cdot 74 + 863,6 \cdot 49 + \dots + 1069,7 \cdot 78}{1039,7 + 863,6 + \dots + 1069,7} = 58,6 \text{ см}.$$

Наносимо теоретичний ЦЕН підприємства, який має координати $X_u = 60,35 \text{ см}$; $Y_u = 58,6 \text{ см}$, на генеральний план підприємства (Додаток Д). Розміщуємо РП в центрі електричних навантажень.

4. ВИБІР КІЛЬКОСТІ І ПОТУЖНОСТІ ТРАНСФОРМАТОРІВ ЦТП І КОМПЕНСУЮЧИХ ПРИСТРОЇВ

Цехова трансформаторна підстанція (далі ЦТП) – це підстанція з первинною напругою 6(10) **кВ** яка перетворює електричну енергію на напругу до 1 **кВ** і безпосередньо живить споживачів одного чи кількох цехів або частину великого цеху.

При виборі кількості та потужності трансформаторів цехових підстанцій враховують такі фактори:

- категорія надійності електропостачання електроприймачів;
- розрахункове навантаження на третьому рівні електропостачання;
- компенсацію реактивних навантажень на напрузі до 1 **кВ**;
- навантажувальну спроможність трансформаторів в нормальному та післяаварійному режимах;
- шкалу стандартних номінальних потужностей трансформаторів.

Кількість цехових ТП впливає на витрати на розподільчі пристрої напругою 6(10) **кВ**, на внутрішньозаводські та цехові електричні мережі. При зменшенні кількості ТП, що відповідає збільшенню одиничної номінальної потужності їх трансформаторів, зменшується кількість комірок розподільного пристрою, сумарна довжина лінії і втрати електроенергії та напруги в електричних мережах 6(10) **кВ**, але зростає довжина електричних мереж до 1 **кВ**, що призводить до збільшення вартості цих мереж і втрати електричної енергії та напруги в них. При збільшенні кількості ТП, навпаки, зменшуються витрати на цехові

мережі, але збільшується кількість комірок РП 6(10) **кВ** і витрати на мережі напругою 6(10) **кВ**. Тому оптимальний варіант визначається шляхом техніко-економічних розрахунків (ТЕР) при забезпеченні заданої надійності електропостачання.

Однотрансформаторні цехові підстанції застосовуються при наявності електроприймачів третьої категорії надійності, що допускають перерву електропостачання на час доставки трансформаторів зі складського резерву. У випадку, коли переважають електроприймачі третьої категорії, але є електричні приймачі другої категорії, здійснюється взаємне резервування на боці низької напруги між сусідніми ТП, які одержують живлення від різних секцій джерела живлення або різних ДЖ. При резервуванні кабельною перемичкою передбачається резерв в обсязі 15-30% номінальної потужності трансформатора $S_{ном_m}$ та 35-40% $S_{ном_m}$ при резервуванні шинною перемичкою між кінцями двох магістралей низької напруги у разі схеми блока трансформатор-магістраль (БТМ).

Двотрансформаторні цехові підстанції застосовуються при більшості електроприймачів першої категорії та наявності електроприймачів особливої групи, для цехів з великою питомою густиною навантаження (більше ніж $0,5 \text{ кВА}/\text{м}^2$) для зосереджених навантажень, для окремо розташованих об'єктів загальнозаводського призначення, а також при нерівномірних добових гафіках навантаження. Для цих підстанцій також необхідний складський резерв у випадку пошкодження одного трансформатора. На час заміни пошкодженого трансформатора той, що залишився в роботі, має забезпечити електропостачання всіх електроприймачів першої категорії надійності.

Цехові підстанції з кількістю трансформаторів більше двох застосовують лише при належному обґрунтуванні, а також при встановленні окремих трансформаторів для живлення силових та освітлювальних навантажень.

Розрізняють два випадки вибору номінальної потужності цехових трансформаторів:

1. Підприємство з невеликою кількістю встановлювальних трансформаторів (1-2 трансформатора).

2. Велике промислове підприємство з приєднаною до мережі 6(10) **кВ** великої кількості трансформаторів.

Завантаженість цехових ТП залежить від категорії надійності електропостачання, кількості трансформаторів та способу резервування. Для трансформаторів цехових ТП рекомендується приймати наступні коефіцієнт завантаження [4]:

- за перевагою електричних приймачів першої категорії надійності для двотрансформаторних підстанцій коефіцієнт завантаження буде рівний $K_3 = 0,65 - 0,7$;

- за перевагою електричних приймачів другої категорії надійності для однострансформаторних підстанцій із взаємним резервуванням трансформаторів на боці низької напруги коефіцієнт завантаження буде рівний $K_3 = 0,7 - 0,8$;

- за перевагою електричних приймачів другої категорії надійності для однострансформаторних підстанцій у разі наявності складського резервування, а також електричних приймачів третьої категорії надійності коефіцієнт завантаження буде рівний $K_3 = 0,9 - 0,95$.

У наш час для живлення електроприймачів 2-ї категорії надійності, а також електроприймачів 2-ї та 3-ї категорій надійності застосовують двотрансформаторні підстанції.

Якщо приймати коефіцієнт завантаження трансформаторів $K_3 > 0,7$, то в цьому випадку з врахуванням допустимого перевантаження трансформаторів вимикають частину електроприймачів 3-ї категорії надійності.

Потужність трансформатора вибирають за питомою густиною навантаження σ , яку визначають за наступною формулою:

$$\sigma = \frac{S_p}{F}, \quad (4.1)$$

де S_p – повна розрахункова потужність цеху, **кВА**;

F – площа цеху, **м²**.

При густині питомого навантаження цеху до **0,2 кВА/м²** доцільно використовувати трансформатори потужністю до **1000 кВА** включно. При густині навантаження напругою **0,2-0,3 кВА/м²** та вище трансформатори потужністю **1600-2500 кВА**.

Трансформатори потужністю менше **630 кВА** використовуються при малій густині навантаження, в основному на невеликих підприємствах та розглядають можливість встановлення однострансформаторних ЦТП [3]. Для кожної групи цехових трансформаторів однакової потужності їх кількість, мінімально необхідна, для живлення найбільшого розрахункового активного навантаження визначається за формулою:

$$N_{\min} = \frac{P_p}{K_3 \cdot S_T} + \Delta N, \quad (4.2)$$

де P_p - середнє сумарне розрахункове активне навантаження групи за найбільш завантажену зміну;
 K_3 – коефіцієнт завантаження трансформатора;
 S_T – номінальна потужність трансформатора;
 ΔN – додаток до найближчого цілого числа.
 Оптимальна кількість трансформаторів:

$$N_{opt} = N_{min} + m, \quad (4.3)$$

де m – додаткова кількість трансформаторів.

За вибраною кількістю трансформаторів визначаємо найбільшу реактивну потужність яку доцільно передати через трансформатори в мережу напругою до 1 кВ:

$$Q_{max_T} = \sqrt{(N_{opt} \cdot K_3 \cdot S_T)^2 - P_p^2}, \quad (4.4)$$

Потужність конденсаторних батарей на напругу до 1 кВ визначається за формулою:

$$Q_{нк_1} = Q_p - Q_{max_T} \quad (4.5)$$

де Q_p – сумарне розрахункове реактивне навантаження за найбільш завантажену зміну.

Якщо $Q_{нк_1} < 0$, то установка НБК не потрібна.

Додаткова потужність НБК для зменшення втрат в трансформаторі визначається за формулою:

$$Q_{нк2} = Q_p - Q_{нк1ф} - \gamma \cdot N_{онт} \cdot S_T \quad (4.6)$$

де γ - розрахунковий коефіцієнт, який залежить від розрахункових параметрів K_{p_1} і K_{p_2} та схеми живлення цехових трансформаторних підстанцій [3].

Якщо $Q_{нк2} < 0$, то для даної групи трансформаторів реактивна потужність $Q_{нк2} = 0$.

Сумарна розрахункова потужність НБК $Q_{нк}$ буде дорівнювати:

$$Q_{нк} = Q_{нк1} + Q_{нк2}. \quad (4.7)$$

Розрахунок проводимо на прикладі групи електроприймачів №1.

Питома густина навантаження σ :

$$\sigma = \frac{2913,59}{9216} = 0,32 \text{ кВА/м}^2$$

Оскільки $\sigma = 0,32$ вибираємо трансформатор потужністю 1600 кВА.

Для трансформаторів потужністю 1600 кВА.

Мінімально необхідна кількість трансформаторів для живлення найбільшого розрахункового навантаження:

$$N_{\min} = \frac{1903,3}{0,7 \cdot 1600} + 0,3 = 2 \text{ шт.},$$

де $P_p = 1903,3 \text{ кВт}$ згідно з даними таблиці 2.3;
 $K_3 = 0,7$; $S_{номТ} = 1600 \text{ кВА}$; $\Delta N = 0,3$.

Оптимальна кількість трансформаторів:

$$N_{opt} = 2 + 0 = 2,$$

де $m = 0$, згідно [2].

Найбільша реактивна потужність, яку доцільно передати через трансформатори в мережу до 1 кВ:

$$Q_{maxТ} = \sqrt{(2 \cdot 0,7 \cdot 1600)^2 - 1903,3^2} = 1181,12 \text{ кВАр}.$$

Сумарна потужність конденсаторних батарей на напругу до 1 кВ:

$$Q_{нк1} = 2206 - 1181,12 = 1024,88 \text{ кВАр},$$

де $Q_p = 2206 \text{ кВАр}$, згідно з даними таблиці 4.1.

Оскільки $Q_{нк1} > 0$, то приймаємо до встановлення дві конденсаторні установки типу УКЛН-0,38-600-150 УЗ, згідно [2].

Додаткова потужність для НБК для зменшення втрат в трансформаторі визначається за формулою:

$$Q_{нк2} = 2206 - 1200 - 0,6 \cdot 2 \cdot 1600 = -914$$

де $\gamma = 0,88$ [2], залежить від розрахункових параметрів $K_{p1} = 24$ [2] і $K_{p2} = 40$ [2].

Оскільки $Q_{нк2} < 0$, то приймаємо $Q_{нк2} = 0$.

Сумарна розрахункова потужність НБК буде рівною:

$$Q_{нк} = 1200 + 0 = 1200 \text{ кВАр}.$$

Розрахунок кількості та потужності трансформаторів ЦТП для інших цехів зводимо в табл.4.1.

Таблиця 4.1 – Вибір кількості та потужності трансформаторів ЦТП і компенсуючих пристроїв

Найменування вузлів живлення	P_p , кВт	Q_p , кВАр	S_p , кВА	K_3	F , м ²	S_T , кВА	N_T , шт	$Q_{\max T}$, кВАр	$Q_{нк1}$, кВАр	$Q_{нк1}^{\phi}$, кВАр	$Q_{нк2}$, кВАр	$Q_{нк2}^{\phi}$, кВАр	$Q_{нк}$, кВАр
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Перша група													
Механічний цех №1	1039,7	1191,6	1581,4	0,7	4608								
Механічний цех №2	863,6	1014,4	1332,2	0,7	4608								
Всього по групі	1903,3	2206	2913,58		9216	1600	2	1181,12	1024,87	1200	-914	0	1200
Друга група													
.....

У відповідності зі здійсненими розрахунками вибираємо наступне обладнання. Результати вибору зводимо в таблицю 4.2.

Таблиця 4.2 – Вибір обладнання

Найменування вузлів живлення	№ ТП	Тип ЦТП	Тип ККУ на один трансформатор
Перша група споживачів	ТП 1	Двотрансформаторна ТМ – 1600/10	УКЛ Н-0,38-600-150 УЗ
Друга група споживачів	ТП 2	Двотрансформаторна ТМ – 1600/10	УКЛ Н-0,38-600-150 УЗ
Третя група споживачів	ТП 3	Двотрансформаторна ТМ – 1600/10	2 УКЛ Н-0,38-600-150 УЗ

5. КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ В УМОВАХ ПІДПРИЄМСТВА

Компенсація реактивної потужності з одночасним покращенням якості електричної енергії безпосередньо в мережі промислових підприємств є одним з основних напрямків скорочення втрат електричної енергії і підвищення ефективності електроустановок підприємств [2].

Високовольтні ККУ встановлюються в спеціальні приміщення ГПП, ПГВ або РП. Їх розміщення має забезпечити індустріальне виконання електромонтажних робіт, безпеку та зручність при спостереженні, обслуговуванні і заміні конденсаторів, пожежну безпеку, хороше охолодження.

ККУ приєднуються до високовольтного розподільного пристрою ГПП, ПГВ або РП за допомогою розподільних комірок. З точки зору економії електроенергії і регулювання напруги, компенсацію реактивної потужності доцільно виконувати біля їх споживачів. Під час визначення високовольтних компенсуючих пристроїв (ВКП) слід враховувати незкомпенсовану реактивну потужність на шинах

6(10) кВ кожного трансформатора цехової ТП, сумарна реактивна потужність ВБК розподіляється між шинами 10 кВ РП або ГПП чи ПГВ і округлюється до найближчої стандартної потужності ККУ. До кожної секції РП рекомендується підключати компенсуючі пристрої однакової потужності, але не менше 450 **кВАр**, у випадку меншої потужності ВБК її розподіляють між ЦТП пропорційно їх навантаженню або встановлюють КБ на живлячій підстанції, якщо вона належить промислового підприємству.

Для кожної цехової ТП визначаємо незкомпенсовану реактивну потужність навантаження на стороні 10 **кВ** кожного трансформатора:

$$Q_{нс.т} = Q_{р.т} - Q_{нк.ф} + \Delta Q_T, \quad (5.1)$$

де $Q_{р.т}$ – найбільше розрахункове реактивне навантаження трансформатора, **кВАр** (табл.4.1);

$Q_{нк.ф}$ – фактично прийнята потужність НБК, **кВАр** (табл.4.2);

ΔQ_T – сумарні реактивні втрати в трансформаторі при його коефіцієнті завантаження з врахуванням компенсації [2].

Розрахунок здійснюємо на прикладі групи №1.

$$Q_{нс.т} = 2206 - 1200 + 62 = 1068 \text{ кВАр},$$

де $Q_{р.т} = 2206 \text{ кВАр}$, згідно з даними таблиці 4.1;

$Q_{нк.ф} = 1200 \text{ кВАр}$, згідно з даними таблиці 4.1;

$\Delta Q_T = 62 \text{ кВАр}$, згідно з [2].

Результати розрахунків зводимо в таблицю 5.1.

Таблиця 5.1 – Незкомпенсоване реактивне навантаження трансформаторів

Найменування вузлів живлення	$Q_{p.т.},$ кВАр	$Q_{ик.ф.},$ кВАр	$\Delta Q_T,$ кВАр	$Q_{ис.т.},$ кВАр
1 група споживачів	2206	1200	62	1068
2 група споживачів	2061,3	1200	62	923,3
3 група споживачів	2650,6	1800	62	912,6
Всього	6917,9	4200	186	2903,9

Незкомпенсовану потужність на шинах РП визначаємо як суму незкомпенсованих потужностей кожного цехового трансформатора.

$$Q_{ис.т.рп} = \sum_{i=1}^n Q_{ис.т.i}, \quad (5.2)$$

$$Q_{ис.т.рп} = 2903,9 \text{ кВАр}.$$

Сумарну розрахункову потужність ВБК для всього підприємства визначаємо з умови балансу реактивної потужності:

$$Q_{ВБК} = \sum Q_{ис.т.i} - Q_{e\max}, \quad (5.3)$$

де $Q_{e\max}$ – вхідна реактивна потужність, задана енергосистемою на шинах 10 кВ.

$$Q_{ВБК} = 2903,9 \text{ кВАр},$$

де $Q_{нсг_i}$ - розрахункова активна потужність на шинах 10 кВ РП, кВАр.

Приймаємо до встановлення чотири ВБК на секцію шин 10 кВ РП типу: УКЛ-10,5-900 У1, згідно [2].

6. РОЗРАХУНОК НАВАНТАЖЕНЬ НА ВИЩИХ РІВНЯХ СЕП ЗА ДОПОМОГОЮ ІЄРАРХІЧНОГО ПІДХОДУ

Розрахунки виконуємо згідно [2]. Для вибору рівня напруги і перерізу кабелів мереж, струмопроводів, апаратури розподільчих пристроїв, обладнання мережі 10 кВ внутрішнього електропостачання необхідно визначити електричні навантаження на вищих рівнях системи електропостачання.

Навантаження на шинах НН ТП заводу обчислене в таблиці 2.3 даного проекту $S_{p3} = S_{p\Sigma}$.

Розрахункове навантаження на стороні ВН ЦТП визначаємо шляхом сумування розрахункових навантажень окремих груп електроприймачів з врахуванням втрат потужності в цехових трансформаторах за наступною формулою [2]:

$$S_{p4} = \sqrt{(P_{p3} + \Delta P_T)^2 + (Q_{p3} + \Delta Q_T - Q_{нкф})^2}, \quad (6.1)$$

де P_{p3}, Q_{p3} – середня активна і реактивна потужності за найбільш завантажену зміну на стороні НН ЦТП (табл.2.3.); $Q_{нкф}$ – встановлена потужність низковольтних компенсуючих пристроїв (табл.5.1.); $\Delta P_T, \Delta Q_T$ – втрати активної і реактивної потужності в ЦТП:

$$\Delta P_T = (K_3^2 \Delta P_{кз} + \Delta P_0) \cdot N_{онт}, \quad (6.2)$$

де $\Delta P_{кз}, \Delta P_0$ – відповідно навантажувальні втрати і втрати неробочого режиму [2]; K_3 - коефіцієнт завантаження трансформатора:

$$K_3 = \frac{\sqrt{P_{p3}^2 + (Q_{p3} - Q_{нкф})^2}}{N_{онт} \cdot S_{ном.Т}}. \quad (6.3)$$

Згідно потужності S_{p4} вибираємо січення ліній, які живлять ЦТП і комутаційно-захисну апаратуру цих ліній.

Навантаження на шинах НН ТП:

$$S_{p3} = S_{p\Sigma} = 9060,89 \text{ кВА}.$$

Розрахунок здійснюємо на прикладі групи №1 .

Здійнюємо розрахунок навантаження на стороні ВН ЦТП:

$$K_3 = \frac{\sqrt{1903,9^2 + (2206 - 1200)^2}}{2 \cdot 1600} = 0,67,$$

де $P_{p3} = 1903,3 \text{ кВт}$, згідно з даними таблиці 2.3;
 $Q_{p3} = 2206 \text{ кВАр}$, згідно з даними таблиці 2.3;
 $Q_{нк.ф} = 1200 \text{ кВАр}$, згідно з даними таблиці 4.2; $N_{онт} = 2$, згідно з даними таблиці 4.1; $S_{ном.Т} = 1600 \text{ кВА}$, згідно з даними таблиці 4.2.

$$\Delta P_T = (0,67^2 \cdot 18 + 3,3) \cdot 2 = 22,89 \text{ кВт},$$

де $\Delta P_{кз} = 18 \text{ кВт}$, $\Delta P_0 = 3,3 \text{ кВт}$ згідно ([12], табл. 17-6);

$$S_{p4} = \sqrt{(1903,3 + 22,89)^2 + (2206 + 62 - 1200)^2} = 2202,5 \text{ кВА},$$

де $P_{p3} = 1903,3 \text{ кВт}$, згідно з даними таблиці 2.3;
 $Q_{p3} = 2206 \text{ кВАр}$, згідно з даними таблиці 2.3; $\Delta Q_T = 62 \text{ кВАр}$
згідно з даними таблиці 5.1; $Q_{нк.ф} = 1200 \text{ кВАр}$, згідно з даними
таблиці 4.1.

Результати розрахунків зводимо в таблицю 6.1.

Таблиця 6.1 – Розрахункове навантаження на рівні ВН ЦТП

Найменування вузлів живлення	P_{p3} , кВт	Q_{p3} , кВар	S_T , кВА	N_T , шт	K_z , кВт	ΔP_0 , кВт	$\Delta P_{кз}$, кВт	Втрати в трансфор- маторах		$Q_{нкф}$, кВАр	P_{p4} , кВт	Q_{p4} , кВАр	S_{p4} , кВА
								ΔP_T , кВт	ΔQ_T , кВАр				
1 група споживачів	1903,3	2206,0	1600	2	0,67	3,3	18	22,89	62	1200	1926,19	1068	2202,5
2 група споживачів	1946,6	2061,3	1600	2	0,67	3,3	18	22,53	62	1200	1969,13	923,3	2174,8
3 група споживачів	2001,8	2650,6	1600	2	0,68	3,3	18	23,23	62	1800	2025,03	912,6	2221,2

Згідно таблиці 6.1. даного проєкту визначаємо навантаження на шинах РП.

Розрахункову повну потужність визначаємо по розрахункових активних і реактивних навантаженнях об'єктів, розрахунковій потужності, яка споживається на освітлення території заводу, і встановленій потужності компенсуючих пристроїв.

Розрахункову активну потужність на шинах РП визначаємо за формулою:

$$P_{p5} = \sum P_{p4} \cdot K_{p.m} + P_{p.o.t.} + \Delta P_{к.у.}, \quad (6.4)$$

де $K_{p.m.}$ – коефіцієнт різночасності максимумів силового навантаження, $K_{p.m.} = 0,85$ згідно [4]; $P_{p.o.t.}$ – розрахункова потужність, яка споживається на освітлення території заводу:

$$P_{p.o.t.} = F \cdot P_{num.oc}, \quad (6.5)$$

$$P_{p.o.t.} = 148222,6 \cdot 0,00015 = 22,23 \text{ кВт},$$

де F – площа освітлювальної території, m^2 ; $P_{num.oc} = 0,15 \cdot 10^{-3} \text{ кВт}/m^2$ – питома освітлювальне навантаження; $\Delta P_{к.у.}$ – втрати активної потужності в компенсуючих пристроях напругою вище 1кВ:

$$\Delta P_{к.у.} = \Delta P_{num} Q_{кy5}, \quad (6.6)$$

де $Q_{кy5}$ – встановлена потужність компенсуючих пристроїв на шинах РП, $кВАр$; ΔP_{num} – питомі втрати активної потужності в КУ ($\Delta P_{num} = 0,002 \text{ кВт}/кВАр$, [2])

$$\Delta P_{к.у.} = 0,002 \cdot 3600 = 7,2 \text{ кВт} .$$

Активне навантаження на шинах РП складає:

$$P_{p5} = 5920,35 \cdot 0,85 + 22,23 + 7,2 = 5061,73 \text{ кВт} .$$

Розрахункову реактивну потужність на шинах РП визначаємо за формулою:

$$Q_{p5} = \sum Q_{p4} \cdot K_{p.м} + Q_{p.o.m} - Q_{к.у5} , \quad (6.7)$$

де $Q_{p4} = 2903,9 \text{ кВАр}$ - згідно з даними табл. 6.1.;
 $K_{p.м} = 0,85$ - [2], табл.2.; $Q_{p.o.m}$ - розрахункова реактивна потужність, яка споживається на освітлення території заводу ($Q_{p.o.m} = P_{p.o.m} \cdot \text{tg}\varphi = 22,23 \cdot 0,68 = 15,12 \text{ кВАр}$ кВАр).

$$Q_{p5} = 2903,9 \cdot 0,85 + 15,12 - 3600 = -1116,57 .$$

Оскільки $Q_{p5} < 0$, то приймаємо його рівним нулю.

Повна розрахункова потужність на шинах РП:

$$S_{p5} = \sqrt{P_{p5}^2 + Q_{p5}^2} . \quad (6.8)$$

$$S_{p5} = \sqrt{5061,73^2 + 0} = 5061,73 \text{ кВА} .$$

За розрахунковою потужністю S_{p5} вибираємо переріз живлячих ліній РП, переріз збірних шин РП і вибираємо комутаційно-захисну апаратуру живлячих ліній.

7. ВИБІР СХЕМИ ЗОВНІШНЬОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Система зовнішнього електропостачання включає в себе схему електропостачання та джерела живлення підприємства. Основними умовами проектування раціональної системи зовнішнього електропостачання є надійність, економічність та якість електричної енергії в мережі.

При виборі схеми зовнішнього електропостачання необхідно врахувати наступні вимоги:

- максимальне наближення джерел до електроустановок споживачів, що забезпечує зменшення кількості ступенів трансформації і комутації;

- відмова від „холодного” резерву. Резерв закладається в самій схемі електропостачання, в якій всі елементи повинні нести постійне навантаження, а в післяаварійному режимі при пошкодженні одного з елементів решта повинні бути в стані прийняти на себе навантаження елемента, що вийшов з ладу, з використанням допустимої перевантажувальної здатності електрообладнання;

- глибоке секціонування всіх ланок системи електропостачання, починаючи від шин ГПП і закінчуючи шинами напруги до 1 **кВ** цехових підстанцій. Для підвищення надійності живлення секційні апарати передбачаються з пристроєм АВР;

- застосування окремої роботи ліній і трансформаторів з використанням їх перевантажувальної здатності у післяаварійному режимі.

Вимоги, що висуваються до схем електропостачання і до джерел живлення, залежать від особливостей технологічного процесу підприємства і від споживаної ним потужності.

У мережах системи зовнішнього електропостачання застосовуються, в основному, напруги 35, 110, (150), 220 **кВ**.

Вибір напруги ділянок електричної мережі об'єкта визначається шляхом техніко-економічного порівняння варіантів. У більшості випадків проектувальник визначає напруги в межах двох найближчих за шкалою номінальних значень напруги, для яких і проводиться порівняння варіантів. У ряді випадків вихідні дані для проектування призводять до однозначного визначення номінальної напруги без детальних техніко-економічних розрахунків. У разі рівного розподілу ТЕП або розбіжності в межах 10 - 15% перевага надається варіанту з більш високою напругою. Слід зазначити, що просте техніко-економічне зіставлення варіантів посилення мережі або переведення її на підвищену напругу може не довести його доцільність. Справа змінюється, якщо враховується перспектива розвитку підприємства. Зниження напруги стане згодом гальмом у розвитку підприємства.

Виконання техніко-економічних розрахунків довело, що застосування номінальної напруги 110 **кВ** економічно вигідне в таких інтервалах потужності [3]:

$$P_M = \begin{cases} 25 - 175 \text{ МВт при } L = 5 \text{ км;} \\ 9 - 95 \text{ МВт при } L = 25 \text{ км;} \\ 5 - 60 \text{ МВт при } L = 50 \text{ км.} \end{cases} \quad (7.1)$$

При менших потужностях або відстанях економічною є напруга 35 **кВ**, а при більших – 220 **кВ**. Підприємства невеликої потужності $P_M \leq 5 \text{ МВт}$ можуть отримувати електроенергію на напрузі 10 **кВ**.

При виборі номінальної напруги зовнішньої ділянки мережі беруться до уваги існуючі напруги джерел живлення енергосистеми, відстань від цих джерел до підприємства і

навантаження підприємства в цілому. Обов'язковою умовою вибору тієї чи іншої напруги є наявність вільних потужностей на районних підстанціях енергосистеми на вказаній напрузі.

7.1 Схеми зовнішнього електропостачання підприємств

Як джерело живлення підприємства вибирається енергосистема. Зовнішнє електропостачання виконується повітряними ЛЕП за схемою з ГПП (ЦРП), або за схемою глибокого вводу з ПГВ.

Глибокий ввід (ГВ) - СЕП з наближенням вищої напруги до електроустановок споживачів з найменшою кількістю рівнів проміжної трансформації й апаратів. ГВ виконують від ліній напругою 35, 110, 150, 220 **кВ**, що проходять по території підприємства.

Використання ПГВ є доцільним на середніх і великих підприємствах при наявності концентрованих вузлів навантажень, що знаходяться на значній відстані, і до її вибору слід ставитися уважно.

Схема електропостачання підприємства показує зв'язок між джерелами живлення і споживачами електроенергії.

Схема розподілу електроенергії будується за ступінчастим принципом. Оптимальне число ступенів розподілу на підприємстві повинне бути не більше 2 - 3. Наприклад, два ступені розподілу: 1 - шини 110 **кВ**; 2 - шини 6-10 **кВ**. Чим менше елементів в схемі електропостачання, тим вона надійніша.

Передача електроенергії від РП енергосистеми може здійснюватися по радіальних схем без трансформації (рис. 7.1, а), якщо напруга розподільного пункту енергосистеми і розподільного пункту підприємства, на який подається напруга, збігаються і з трансформацією напруги (рис. 7.1, б), якщо напруги не збігаються [3].

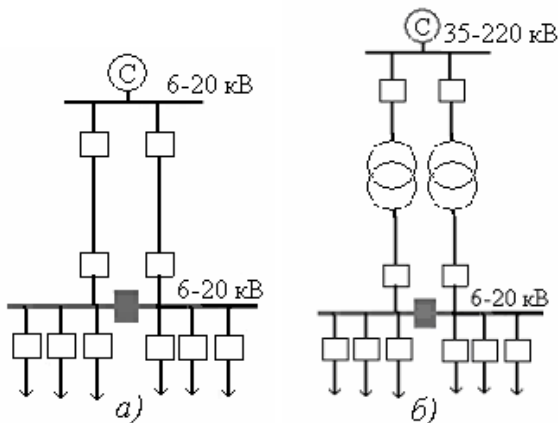


Рис. 7.1. - Радіальні схеми зовнішнього електропостачання:
 а) без трансформації; б) з трансформацією напруги

За схемою, представленої на рис. 7.1, б, можуть житися як ГПП, так і ПГВ. Радіальні глибокі вводи застосовують, як правило, у випадку забрудненого оточуючого середовища. Повітряні ЛЕП, що живлять ГПП, можуть виконуватися двоколовими лише для споживачів II і III категорії.

ПГВ виконують за спрощеними схемами комутації на первинній напрузі. Глибокий ввід виконують подвійними наскрізними магістралями, виконаними ПЛ з відпайками-відгалуженнями до підстанцій (рис. 7.1), до яких за магістральною схемою підключаються однострансформаторні і двотрансформаторні підстанції, або у вигляді радіальних кабельних і повітряних ліній за схемою «блок лінія — трансформатор». ПГВ виконують за простою схемою, без вимикачів і збірних шин на стороні ВН.

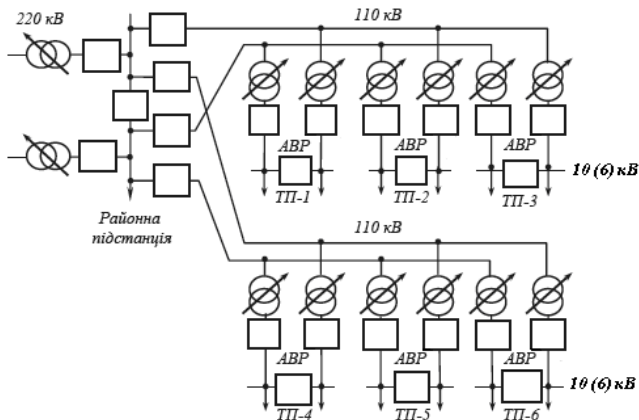


Рис. 7.2. - Живлення підстанції глибокого вводу за схемою подвійного наскрізний магістралі

Використовують також поодинокі магістралі без резервування для електропостачання споживачів 3 категорії. Такі схеми мають меншу надійність (пошкодження магістралі зумовлює відключення всіх споживачів).

Магістральні глибокі вводи застосовують у випадку нормального і малозабрудненого навколишнього середовища. До однієї лінії приєднують три-чотири підстанції з трансформаторами потужністю до 25 МВА і дві- три підстанції з трансформаторами більшої потужності.

Система глибоких вводів дозволяє: розподіляти енергію при підвищеній напрузі; скорочувати довжину кабельних ліній 6–10 кВ; обходитися без проміжних РП 6–10 кВ; розукрупнювати потужні ГПП; полегшувати регулювання напруги.

На рис. 7.3 наведена схема електропостачання підприємства з триобмотковим трансформатором з трансформацією на дві напруги. Така схема характерна для потужних підприємств і для підприємств, що знаходяться один від одного на значній відстані.

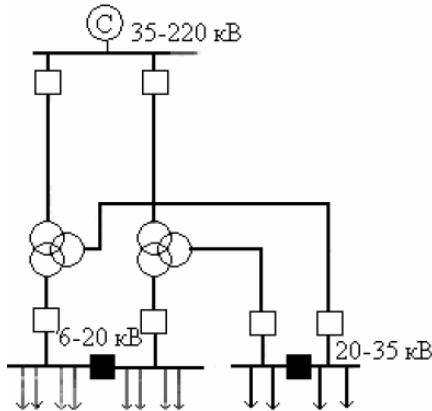


Рис. 7.3. - Схема електропостачання з трансформаціями на дві напруги

Можливе електропостачання підприємств від суміжних джерел живлення, наприклад, від енергосистеми і від власної електростанції (рис. 7.4.). Напруга енергосистеми і власної електростанції при цьому має збігатися. При розбіжності напруг застосовується трансформація напруги від енергосистеми (рис. 7.5). Можливе електропостачання при двосторонньому живленні. Схеми електропостачання з двостороннім живленням підвищують надійність електропостачання, так як при пошкодженні однієї з ліній електропостачання від другої лінії зберігається і через секційний вимикач на стороні нижчої напруги відновлюється електропостачання споживачів, які живляться від пошкодженої лінії.

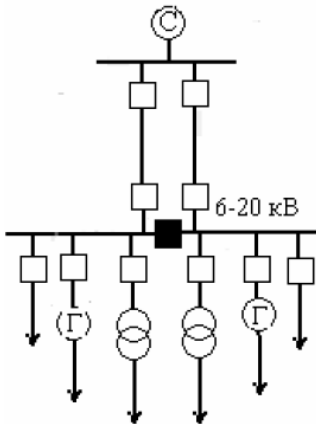


Рис. 7.4. - Схема електропостачання від енергосистеми і власної електростанції на однаковій напрузі

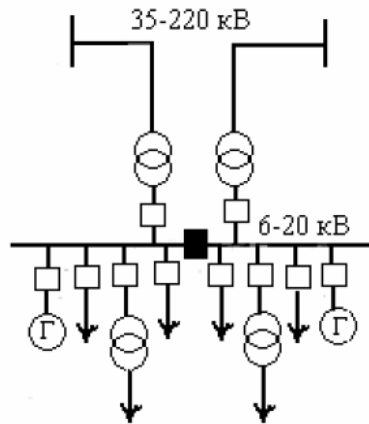


Рис. 7.5. - Схема електропостачання від енергосистеми з двостороннім живленням з трансформацією напруги і від власної електростанції

За способом приєднання до мережі живлення понижувальні підстанції поділяють на: а) тупикові; б) відгалужувальні; в) прохідні (транзитні).

На тупикових підстанціях використовуються схеми типу «блок лінія-трансформатор». Схема «два блоки лінія-трансформатор» з роз'єднувачем (рис. 7.6, а) використовується при живленні від тупикових, коротких (до 3 км) повітряних ліній напругою 35...220 *кВ* при потужності трансформаторів $S_{ном.т} < 6,3 \text{ МВА}$. В схемі на вводі встановлюється роз'єднувач, який в деяких випадках може бути відсутній. Відсутність комутуючої апаратури на високій стороні є особливо зручною у випадку розміщення підстанцій на території із забрудненим навколишнім середовищем. Захист та відключення трансформаторів забезпечується лінійним захистом та вимикачами районної підстанції енергосистеми. Лінійний захист

повинен бути чутливим до внутрішніх пошкоджень в трансформаторі. У випадку недостатньої чутливості лінійного захисту необхідно передбачити передавання телевимикального імпульсу на районну підстанцію, або встановлювати запобіжники, короткозамикачі або вимикачі.

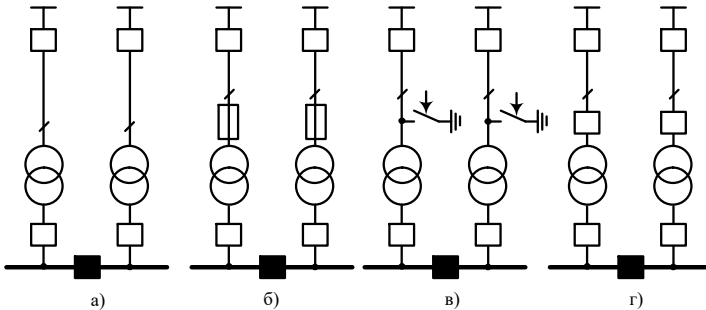


Рис. 7.6 – Схеми тупикових підстанцій

Запобіжники (рис.7.6, б) використовуються тільки на напрузі 35 кВ . Використання короткозамикачів (рис. 7.6, в) обмежується кілометричним ефектом (їх не можна використовувати на відстані до 4 км для ліній 110 кВ і до 8 км для ліній 220 кВ). Передавання телевимикального імпульсу зв'язане із значними капітальними затратами на організацію каналу для його передавання. Організація каналу значно дорожча від установаження короткозамикачів і навіть вимикачів (рис. 7,6, г).

На відгалужувальних підстанціях $35\text{-}220 \text{ кВ}$ застосовують блочні схеми з віддільниками (рис. 7.7). Вони використовуються при потужності трансформаторів до $S_{ном.т} \leq 25 \text{ МВА}$. Віддільники призначені для від'єднання пошкоджених трансформаторів від магістральної лінії і забезпечення безперервного електропостачання решти споживачів. Вимкнення віддільником відбувається під час безструмової

паузи АПВ. Лінійний вимикач повинен вимкнути лінію при пошкодженні трансформатора і після його відокремлення знову увімкнути лінію.

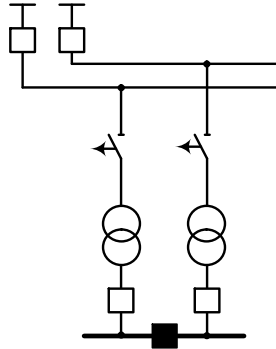


Рис. 7.7 – Схема відгалужувальної підстанції

У випадку недостатньої чутливості захисту використовується:

- а) передавання телевимикального імпульсу;
- б) встановлення вимикачів, короткозамикачів або запобіжників.

На прохідних (транзитних) підстанціях 35-220 **кВ** використовується схема містка з вимикачем в перемичці і віддільниками в колах трансформаторів (рис. 7.8, а). Така схема застосовується при необхідності автоматичного секціонування магістральних одноколових ліній з двостороннім живленням. При низькій чутливості лінійного захисту використовують короткозамикачі або вимикачі в колах трансформаторів. Використовується також схема містка з вимикачами в колах ліній.

Схему подвійного містка (рис. 7.8, б) використовують на напрузі 110 **кВ** при необхідності приєднання додаткової тупикової або відгалужувальної підстанції з однією радіальною лінією.

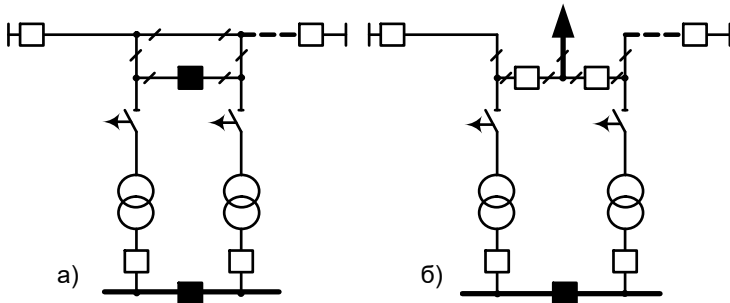


Рис. 7.8 – Схеми транзитних підстанцій: а) містка; б) подвійного містка

Більшість підстанцій промислових підприємств виконуються без збірних шин на стороні первинної напруги за блочним принципом. Блочні схеми прості й економічні. Залежно від схеми живлення (радіальна, або магістральна), віддаленості від центру живлення, навколишнього середовища і надійності можливі схеми ГПП з такими апаратами на стороні ВН: тільки роз'єднувачі або глухе приєднання трансформатора; короткозамикачі і віддільники; роз'єднувачі і запобіжники; роз'єднувачі і короткозамикачі; вимикачі. Схема електропостачання показує зв'язок між джерелом живлення та споживачами електроенергії підприємства.

Питання живлення електроенергією промислових підприємств вирішується проектними організаціями разом з енергосистемою залежно від необхідності споживаної електроенергії, особливостей технології підприємства, перспектив розвитку електропостачання даного району та інших факторів.

Крім того, схема живлення підприємства також залежить від відстані до джерела живлення, загальної схеми електропостачання даного району, величини необхідної потужності з врахуванням її зростання, територіального розміщення навантажень, необхідного ступеня надійності

електропостачання, наявності на підприємстві власного джерела живлення.

7.2. Розрахунок перерізу ліній електропередачі

Вибір перерізу проводів повітряних ліній та жил кабелів вимагає розрахунку струмів нормального і утяженого режимів.

Шкала стандартних перерізів проводів повітряних ліній і жил кабельних ліній електропередачі:

6, 10, 16, 25, 35, 50, 70, 95, 120, 150, 185, 240, 300, 400, 500, ... мм²

7.2.1. Розрахунок перерізу повітряних ЛЕП

Для живлення ГПП (напруга 35, 110 або 220 кВ) використовується повітряна лінія. Переріз мережі живлення ГПП вибирається за економічною густиною струму. Розрахунковий струм однієї лінії (I):

$$I_{розр} = \frac{S_{розр}}{n \cdot \sqrt{3} \cdot U_{ном}}, \quad (7.2)$$

де $S_{розр}$ – розрахункове навантаження лінії; n – кількість ліній; $U_{ном}$ – номінальна напруга лінії.

Розрахунковий економічно доцільний переріз лінії живлення (мм²) [2]:

$$F_e = \frac{I_{розр}}{j_e}, \quad (7.3)$$

де F_e - переріз кабелю, $мм^2$; $I_{розр}$ - розрахунковий струм в нормальному режимі найбільших навантажень, що проходить по лінії; j_e - економічна густина струму, яка визначається згідно довідникових даних залежно від матеріалу проводу числа годин використання максимуму навантаження T_{max} , *годин* [2].

Отримане значення закруглюється до найближчого стандартного $F_{ст}$.

Для ЛЕП 35 **кВ** перерізи проводів, зазвичай, вибирають в межах від АС 35 до АС 150, ліній 110 **кВ** - від АС 70 до АСО 240, ліній 150 **кВ** - від АС 120 до АСО 300 і ліній 220 **кВ** - в межах від АСО 240 до АСО 400. Кількість паралельних кіл на кожному напрямку слід приймати не більше три- чотири.

Вибраний переріз лінії перевіряється за допустимим струмом нормального режиму, післяаварійного режиму, на мінімальний переріз за умовою механічної міцності згідно виразів і умов:

– на допустимий струм в нормальному режимі роботи. Допустимі тривалі струми неізолюваних проводів і шин визначено для температури повітря $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$, вітер відсутній. Якщо дійсні умови відрізняються, то використовують відповідні коригувальні коефіцієнти. Отже:

$$I_{розр} \leq K_{сер} \cdot I_{дон}, \quad (7.4)$$

де $I_{дон}$ – допустимий струм вибраного стандартного перерізу, A ; $K_{сер}$ – коефіцієнт, що враховує фактичну розрахункову температуру середовища, визначається згідно [2];

– на допустимий струм в післяаварійному режимі (режим відключення однієї з ліній живлення):

$$2 \cdot I_{розр} \leq K_{пер} \cdot K_{сер} \cdot I_{дон}, \quad (7.5)$$

де $K_{пер}$ – коефіцієнт допустимого короткочасного перевантаження;

– на мінімальний переріз згідно механічної міцності – згідно з місцем розташування підприємства визначається величина стінки ожеледі за її товщиною визначається мінімальна площа перерізу згідно [2];

– на мінімальний переріз за умовою корони.

На ПЛ необхідно використовувати багатодротові проводи і троси.

Для новоспоруджуваних або реконструйованих ПЛ напругою 35-750 **кВ** потрібно передбачати перерізи проводів з урахуванням значень мінімально допустимих перерізів за умовами механічної міцності відповідно до п. 2.5.86 [2], які не потребують перевірки за умовами утворення корони.

7.2.2. Розрахунок перерізу кабельних ліній напругою понад 1 кВ

Переріз жил кабелів напругою 10 **кВ** вибираємо за умовою нагріву довготривалим розрахунковим струмом утяженого режиму:

$$I_{роб. утяж.} \leq K_{пр} \cdot K_{пер} \cdot K_{сер} \cdot I_{дон}, \quad (7.6)$$

де $I_{дон}$ - табличне значення тривало допустимого струму для вибраного перерізу, **A** [2]; $I_{роб. утяж.}$ - струм, відповідний робочому утяженому режиму, прийнятому за розрахунковий, **A**; $K_{пр}$ - коефіцієнт, що враховує число поруч прокладених кабелів в землі; $K_{пер}$ - допустимий коефіцієнт перевантаження залежно від попереднього навантаження і часу перевантаження; $K_{сер}$ -

коефіцієнт, що враховує відміну реальної температури навколишнього середовища (ϑ_0) від номінальної:

$$K_{сер} = \sqrt{\frac{\vartheta_{тр.доп} - \vartheta_0}{\vartheta_{тр.доп} - \vartheta_{0,ном}}}. \quad (7.7)$$

Вибраний переріз перевіряють за технічними умовами:

1) нагрівом струмом навантаження в нормальному режимі:

$$I_{розр} \leq I'_{доп}, \quad (7.8)$$

$I_{розр}$ – розрахунковий струм нормального режиму; $I'_{доп}$ – допустиме струмове навантаження, визначають з урахуванням довідникових значень, способу виконання та умов середовища, в якому прокладено лінію.

Допустимі тривалі струми жил кабелів визначено за умов, якщо:

- температура оточуючого середовища в разі прокладання кабелів у повітрі становить $+25\text{ }^\circ\text{C}$, у разі прокладання в землі $+15\text{ }^\circ\text{C}$;

- глибина прокладання кабелів у землі становить $0,7\text{ м}$;

- питомий тепловий опір землі становить $1,2\text{ К}\cdot\text{м}/\text{Вт}$.

Якщо дійсні умови відрізняються, то використовують відповідні коригувальні коефіцієнти.

При нормальних умовах (на відкритому повітрі, один кабель) $K_{тр} = 1,0$; в інших випадках його значення визначається згідно [2].

Допустимий тривалий струм для кабелів із врахуванням умов прокладання та відхилення параметрів навколишнього середовища від стандартних умов:

$$I'_{\text{дон}} = K_{\text{np}} \cdot K_{\text{сер}} \cdot I_{\text{дон}} \quad , \quad (7.9)$$

де $K_{\text{сер}}$ - поправковий коефіцієнт на температуру середовища; K_{np} - поправковий коефіцієнт на кількість працюючих кабелів, прокладених поряд у землі.

2) нагрівом струмом післяаварійного режиму (для подвійних ліній з врахуванням перевантажувальної здатності кабелів):

$$I_{n/ав} \leq I_{\text{дон.н/ав}} \quad , \quad (7.10)$$

де $I_{n/ав}$ - максимальний струм в післяаварійний режимі.

У випадку прокладання лінії з двох кабелів:

$$I_{\bar{r}/a\hat{a}} = 2 \cdot I_{\text{рiçø}} \quad ; \quad (7.11)$$

$I_{\text{дон.н/ав}}$ – допустимий струм в післяаварійному режимі з урахуванням допустимого перевантаження на час усунення аварії:

$$I_{\bar{a}\bar{a} \bar{x} / a\hat{a}} = K_{\text{сер}} \cdot K_{\bar{r}\hat{a}\delta} \cdot I_{\bar{a}\bar{a}} \quad ; \quad (7.12)$$

3) втратою напруги.

Розрахунок електричних мереж на втрату напруги повинен забезпечувати необхідні (по ДСТУ 13109-97) рівні напруги на затискачах електроприймачів як в максимальному, так і в мінімальному режимах навантаження. При великій довжині мережі цей розрахунок є визначаючим для вибору перерізу проводів і кабелів. Втрати напруги:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I_{розр} (R_l \cdot \cos \phi + X_l \cdot \sin \phi), B; \quad (7.13)$$

$$\Delta U_{\%} = \frac{\sqrt{3} \cdot 100 \cdot I_{розр}}{U_{ном}} (R_l \cdot \cos \phi + X_l \cdot \sin \phi), \quad (7.14)$$

$$\Delta U_{\%} = \frac{P_{розр} \cdot R_l + Q_{розр} \cdot X_l}{U_{ном}^2} \cdot 100\%, \quad (7.15)$$

де $I_{розр}$ – розрахунковий струм лінії, A ; R_l, X_l – відповідно активний та індуктивний опір лінії, $Ом/км$; $\cos \phi, \sin \phi$ - відповідають коефіцієнту потужності лінії; $P_{розр}, Q_{розр}$ – розрахункове навантаження лінії.

4) термічною стійкістю струму короткого замикання:

$$F \geq F_{терм. \min} \cdot \quad (7.16)$$

Результати розрахунків перерізів КЛ внутрішньозаводської мережі зводять в таблицю 7.1.

Таблиця 7.1 – Вибір перерізу кабельних ліній напругою 10 **кВ**

Лінія	$S_p,$ кВА	$I_p,$ А	$F,$ мм ²	$I_{доп},$ А	$I'_{доп},$ А	$I_{н/ав},$ А	$I_{доп.н/ав},$ А	$L,$ км	$R_l,$ Ом	$X_l,$ Ом	$\Delta U,$ %

Дозволяється не перевіряти:

- на термічну стійкість кабелі, захищені плавкими запобіжниками з будь-яким номінальним струмом;

- за допустимою втратою напруги кабелі внутрішньозаводських високовольтних розподільчих мереж через їх малу довжину.

7.3 Вибір схеми та напруги зовнішнього електропостачання

Оскільки поблизу підприємства (на відстані 2,5 км) знаходиться ГПП 110/10 кВ і на якій є запас потужності на стороні напруги 10 кВ, то живлення заводу будемо здійснювати від даної підстанції кабельною лінією напругою 10 кВ.

7.4 Вибір перерізу кабельних ліній

Вибір перерізу провідників передбачає [1-4].

1. Вибір перерізу за нормальним режимом навантаження.
2. Перевірку вибраного перерізу за максимальним режимом навантаження.
3. Перевірку вибраного режиму на стійкість при аварійному режимі.
4. Перевірку за умовами відсутності втрат енергії, за нормальним режимом корони.
5. Перевірка за умовами механічної стійкості провідів повітряних ЛЕП відповідно до кліматичних умов місцевості, якщо в СЕП промислового підприємства застосовуються повітряні ЛЕП, що може мати місце при дуже великій території підприємства.

Вибір перерізу кабельних ліній здійснюємо за технічними і економічними умовами. До технічних умов відносять вибір перерізу за нагріванням розрахункового струму механічної міцності, нагріву від короткочасного вивільнення тепла струмом КЗ, втрати напруги в нормальному та після аварійному режимах.

Економічні умови вибору зводяться до визначення перерізу жил кабелів, приведені затрати на прокладання яких є мінімальними.

Вибір січень кабельних ліній напругою 10 кВ виконуємо за економічною густиною струму:

$$F_e = \frac{I_p}{j_e}, \quad (7.17)$$
$$F_e = \frac{146,12}{1,4} = 104,37 \text{ мм}^2,$$

де $j_e = 1,4$ - економічна густина струму для кабелів; I_p - розрахунковий струм кабеля:

$$I_p = \frac{S_{p_s}}{n \cdot \sqrt{3} \cdot U_n}, \quad (7.18)$$
$$I_p = \frac{5061,73}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 146,12 \text{ А},$$

де n - кількість живлячих ліній; S_{p_s} - загальне розрахункове навантаження підприємства, $S_{p_s} = 5061,73 \text{ кВА}$.

Приймаємо до встановлення два кабеля марки ААШв (3×120) з алюмінієвими жилами, алюмінієвою оболонкою з зовнішнім полівінілхлоридним шлангом та паперовою ізоляцією.

Перевіряємо вибраний переріз:

- за умовою нагріву $I_{ном.}$ нормального режиму:

$$I_\theta = K_1 \cdot K_2 \cdot I_{\theta.т.} \geq I_p, \quad (7.19)$$

$$I_\theta = 1,06 \cdot 0,9 \cdot 240 = 228,96 \text{ А} \geq I_p = 146,12 \text{ А},$$

де K_1 - коефіцієнт, що враховує середньорічну температуру навколишнього середовища. K_2 - поправковий коефіцієнт на кількість прокладених в одній траншеї кабелів. $I_{\text{д.т.}}$ - допустиме навантаження для даного січення кабеля (ПУ).

- за нагрівом $I_{\text{ном.}}$ післяаварійного режиму:

$$I_{\text{д/ав}} = K_1 \cdot K_2 \cdot I_{\text{д}} \geq I_{\text{н/ав}} = 2I_P, \quad (7.20)$$

$$I_{\text{д/ав}} = 1,06 \cdot 1,25 \cdot 240 = 318 \geq I_{\text{н/ав}} = 2 \cdot 146,12 = 292,24 \text{ А},$$

де K_2 - допустиме навантаження на період ліквідації аварії.

- за втратою напруги в лінії:

$$\Delta U = \frac{P \cdot r_0 l + Q \cdot x_0 l}{10U_n^2}, \quad (7.21)$$

$$\Delta U = \frac{(5061,73 \cdot 0,31 + 0 \cdot 0,083) \cdot 2,5}{10 \cdot 10^2} = 3,92\% < 6\%,$$

де l – довжина лінії, км; r_0, x_0 – питомий активний і реактивний опори лінії, Ом, [2]; P, Q – активна і реактивна потужності, що передаються через КЛ (кВт, кВАр); U_n – номінальна напруга, кВ.

$$\Delta U \leq \Delta U_{\text{дон}} = 6 - 8\%,$$

де $\Delta U_{\text{дон}}$ – допустимі відхилення напруги для мереж вище 1кВ.

Отже, в результаті розрахунків видно, що вибраний кабель ААШв (3×120) в після аварійному режимі дозволяється

перевантажувати лінію на час ліквідації аварії, а реальні втрати напруги в кабельних лініях не перевищують допустимих величин. Отже, приймаємо кабель *ААШв* (3×120) до встановлення.

8. ВИБІР СХЕМИ ВНУТРІШНЬОЗАВОДСЬКОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Схему внутрішнього електропостачання розробляють з урахуванням таких факторів [17]:

- 1) розміщення джерел живлення і споживачів;
- 2) величин їх напруг і потужностей;
- 3) необхідної надійності;
- 4) розташування і конструктивного виконання ліній, РП і цехових ТП;
- 5) вимог до системи електропостачання.

Надійність або економічність схеми підвищується, якщо:

1) скорочується число ступенів трансформації і наближається джерело вищої напруги до споживача;

2) не передбачаються спеціальні резервні (нормально не працюючі) лінії і трансформатори; всі елементи схеми в нормальному режимі повинні знаходитися під навантаженням і працювати роздільно; у випадку аварії одного з елементів (лінії, трансформатора), елемент, що залишився в роботі, може працювати з допустимим перевантаженням, передбаченим ПУЕ, і з відключенням частини невідповідальних споживачів;

3) у всіх ланках системи розподілу енергії, починаючи від шин ГПП і закінчуючи шинами напругою до 1000 **V** цехових ТП, а іноді і цехових силових РП, здійснюється секціонування шин, а при переважанні споживачів першої і другої категорії передбачається влаштування автоматичного введення резерву (АВР);

4) паралельна робота ліній і трансформаторів передбачається тільки при ударних різкозмінних навантаженнях (прокатні стани, потужні зварювальні агрегати, електропечі) або коли АВР не забезпечує необхідної швидкодії відновлення живлення, обумовленої режимом електроприймачів. При цьому необхідне техніко-економічному обґрунтування доцільності такої роботи.

8.1. Вибір напруги внутрішньозаводської мережі

Вибір напруги для системи внутрішнього електропостачання повинен бути тісно пов'язаний з вибором напруги зовнішнього електропостачання.

У випадку напруги **35 кВ** перевіряється можливість виконання схеми глибокого вводу з безпосередньою трансформацією на $0,4 \div 0,69$ **кВ**. Застосування **35 кВ** буде також економічним за наявності віддалених і досить потужних ЕП.

У випадку напруги ліній живлення $6 \div 20$ **кВ**, таку ж напругу доцільно застосовувати і для розподільних мереж. З іншого боку наявність ЕП високої напруги є основним чинником, що обумовлює вибір величини номінальної напруги розподільних мереж. При невеликій кількості ЕП високої напруги (3-4) їх живлення може здійснюватися від окремих підстанцій або за схемою блоку трансформатор-двигун.

Напругою електричних мереж в системі внутрішнього електропостачання може бути **6, 10 і 20 кВ**.

При виборі напруги розподільних мереж промислових підприємств перевагу віддають напрузі **10 кВ** [18, 19]. Допускається застосування напруги **6 кВ**, але вибір в кожному конкретному випадку повинен бути обґрунтований техніко-економічними розрахунками. Напруга **6 кВ** призводить до найбільших витрат, внаслідок підвищених витрат електроенергії

в мережі, і є виправданою лише в двох випадках:

а) за наявності існуючого джерела живлення напругою **6 кВ**: у випадку живленні підприємства від ТЕЦ генераторною напругою **6 кВ** або у випадку електропостачання невеликих споживачів як субабонентів від вже наявної прилеглої системи електропостачання, високовольтна електрична мережа якої з певних причин реалізована на напрузі **6 кВ**;

б) за наявності значної кількості електродвигунів потужністю **300-1000 кВт** з номінальною напругою **6 кВ** в загальному навантаженні підприємства.

В більшості випадків за напругу розподільчої мережі об'єкта вибирається напруга **10 кВ**, яка з економічної точки зору більш ефективна, ніж напруга **6 кВ**. На напругу **10 кВ** в нашій країні виробляється найбільша кількість електротехнічної продукції, і вона є основною для ВВРМ СЕП. При цьому, якщо у споживача є кілька електроприймачів на напругу **6 кВ**, то їх доцільно живити від ТП **10/6 кВ**.

Напруга **20 кВ** сама економічна, але поки в нашій країні використовується рідко через відсутність необхідного електрообладнання. Напруга **20 кВ** поки застосовується тільки на підприємствах близьких від ТЕЦ з генераторним напругою **20 кВ** і на підприємствах, що мають трансформатори з вторинною напругою **20 кВ**.

У всіх випадках, особливо при значному зростанні навантажень підприємства слід перевірити доцільність переведення розподільчих мереж **6 кВ** на напругу **10 ÷ 20 кВ**, зі збереженням високовольтних електроприймачів **6 кВ** або одночасною заміною їх на ЕП з більш високою напругою. При переході з **6 кВ** на **10 кВ** можна зберегти кабельні лінії після проведення відповідних профілактичних випробувань, устаткування розподільчих пристроїв і комутаційну апаратуру. Силві трансформатори, трансформатори напруги і струму,

розрядники і запобіжники змінюються на нові з номінальною напругою 10 **кВ**.

На нових споруджуваних або реконструйованих підприємствах напруга 6 **кВ** застосовується в разі, якщо це обумовлено поставками електрообладнання, а також при наявності великої кількості електродвигунів 6 **кВ**, коли їх навантаження перевищує 30% від сумарного навантаження підприємства.

8.2. Схеми внутрішнього електропостачання промислових підприємств

Заводські розподільчі мережі залежно від розміщення електричних навантажень по території підприємства, їх величини, категорії споживачів за надійністю електропостачання виконують радіальними, магістральними (рис. 8.1) або змішаними. Радіальна схема (8.1, а) використовується у випадку розміщення ТП в різних напрямках від ГПП. Радіальною називається схема, коли кожна окрема підстанція живиться від ППЕ по окремій лінії, що підключена до РУ через окрему комірку. Якщо підстанція двотрансформаторна, то до неї в радіальній схемі підходить дві лінії з різних секцій РУ. Магістральна схема (8.1, б) використовується у випадку лінійного («упорядкованого») розміщення ТП на території підприємства розміщення - в одному напрямку від ГПП. Магістральною називається схема, коли кожна магістраль, що відходить від ППЕ, живить по ланцюжку кілька ТП 10/0,4 **кВ**. Кількість цехових трансформаторів напругою 6-10/0,4 **кВ**, що приєднуються до однієї магістралі, слід приймати 2-3 у випадку їх потужності 1000-2500 **кВА** і 3-4 потужністю до 1000 **кВА**. При цьому окремі секції РУ, що нормально працюють роздільно, приєднуються до різних магістралей.

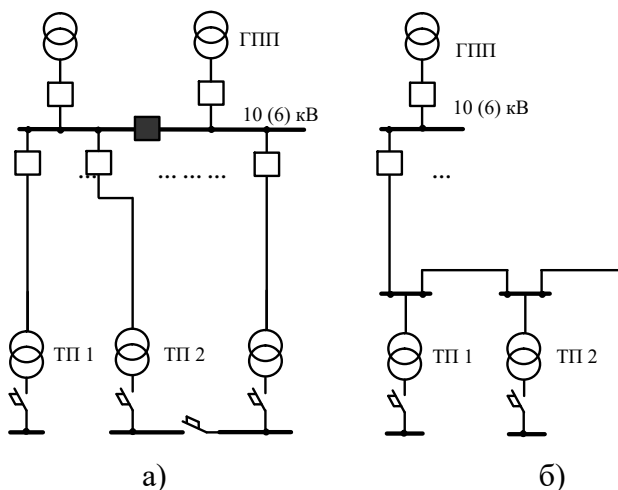


Рис. 8.1 – Схеми одноступневих заводських мереж

Радіальні схеми мають високу надійність, оскільки при пошкодженні будь-якої лінії відключається тільки один споживач. Недолік – значна вартість, оскільки вимагають прокладання великої кількості кабелів і встановлення великої кількості комірок в РУ ГПП або в РП 10 *кВ*.

Магістральні схеми виконують у вигляді одиночних (рис. 8.2) і подвійних магістралей (8.3) з одно - або двостороннім живленням. Одиночні магістралі без резервування (рис. 8.2, а) служать для живлення невідповідальних споживачів. Схема одиночної магістралі з двостороннім живленням (рис. 8.2, б) більш надійна. У нормальному режимі підстанції можуть житися лише від одного джерела (інше – є резервним) або від двох джерел одночасно, при цьому магістраль розімкнута на одній з підстанцій. Частковим випадком одиночної магістралі з двостороннім живленням є кільцева схема (рис.8.2, в). Схеми подвійних магістралей високонадійні і застосовуються за наявності навантажень першої і другої категорій на підстанціях

з двома секціями збірних шин (рис. 8.3, а) або на двотрансформаторних підстанціях без збірних шин високої напруги. Кожна магістраль розрахована на покриття навантажень відповідальних споживачів усіх підстанцій. Секційні вимикачі нормально розімкнуті й можуть бути обладнані пристроєм АВР. Магістралі можуть одержувати живлення від іншого джерела. Схему подвійної магістралі з двостороннім живленням («зустрічна» магістраль) застосовують за наявності двох незалежних джерел (рис. 8.3; б).

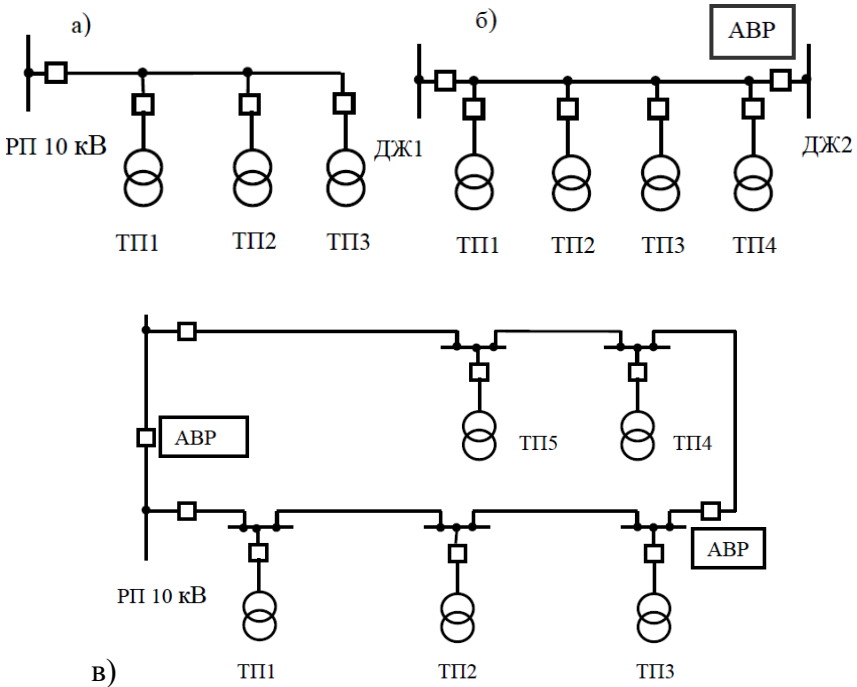


Рис. 8.2 – Схема одиночних магістралей:
а – живлення від одного джерела; б – з двостороннім живленням; в – кільцева.

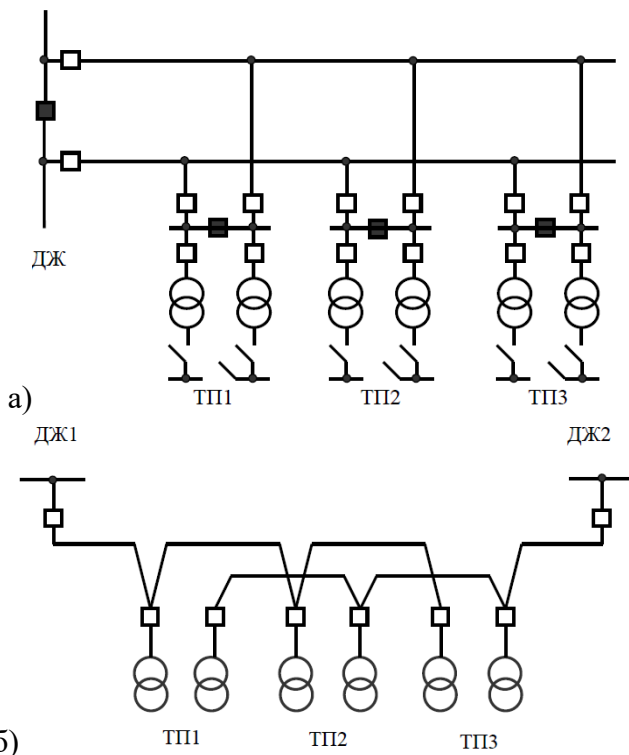


Рис. 8.3 – Схема подвійних наскрізних магістралей:
 а – подвійна наскрізна магістраль за наявності збірних шин на ТП;
 б – здвостороннім живленням за відсутності збірних шин на ТП

Особливістю магістральних схем порівняно з радіальними за інших рівних умов є їх менша вартість, яка визначається меншою кількістю електричних апаратів в РУ ППЕ, і менша надійність. Наприклад, вихід з ладу лінії електропередачі головної ділянки магістралі призводить до припинення електропостачання всіх споживачів, що під'єднані до неї.

Радіально-магістральною (змішаною) є така схема, в якій присутні фрагменти радіальних і магістральних схем.

На великих підприємствах із цехами, розташованими на великій території, використовують двоступеневі схеми мережі, в яких передбачають проміжні розподільчі пункти (РП) 10 (6) **кВ** (рис. 8.4, а).

Перший рівень – ділянка між РУ 10(6) **кВ** ГПП (або ПГВ) і РП об'єкта електропостачання. Виконується повітряними, кабельними лініями або струмопроводами. Від РУ ГПП (або ПГВ) радіальними лініями живляться окремі потужні електроприймачі і споживачі, що знаходяться поблизу підстанції.

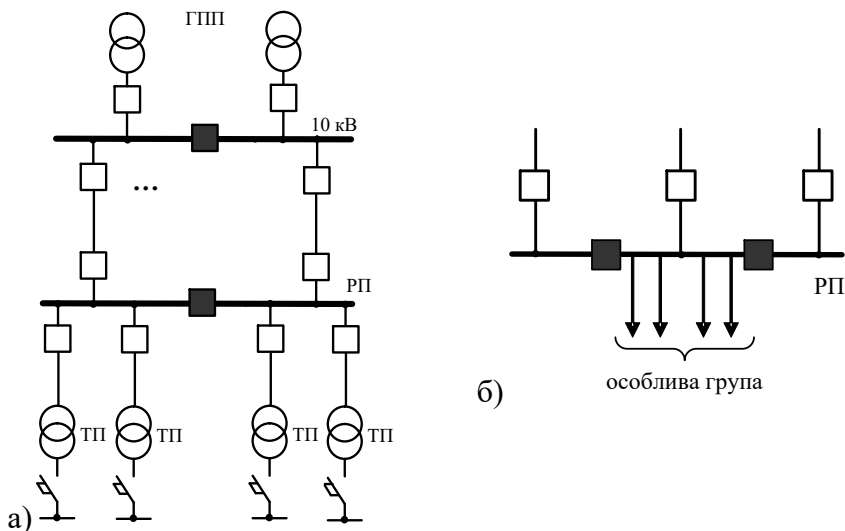


Рис. 8.4 – Схема двоступеневої мережі

Другий рівень – ділянка між РП і ЦТП або окремими електроприймачами напругою 10 (6) **кВ** (електродвигунами, електропечами). Виконується кабельними лініями. В РП 10(6) **кВ** використовують схему з однією секціонованою системою шин. Живлення РП здійснюється двома кабельними лініями, які працюють окремо кожна на свою секцію. Кожна КЛ

розраховується на повну потужність РП. Тоді схему можна використовувати для живлення споживачів I і II категорії. Трансформатори цехових ТП підключають до ліній наглухо, і вся комутаційна апаратура встановлюється на РП. Зазвичай, до одного РП підключають чотири-п'ять ТП.

За наявності особливих груп електроприймачів першої категорії передбачають третє джерело, яке має мінімальну потужність для безаварійної зупинки виробництва. Щоб уникнути перевантаження третього джерела живлення приймачів особливої групи виділяють на окрему секцію шин, що автоматично підключається до цього джерела. Схема РП для живлення споживачів особливої групи I категорії за надійністю зображена на рис. 8.4, б [4, 19]. Для забезпечення постійної готовності аварійного джерела до негайного включення передбачається його переведення в режим "гарячого" резерву (включення на холостий хід дизельної електростанції) відразу після відключення одного з двох основних джерел.

За наявності електроприймачів першої і другої категорій РП і підстанції живляться не менш ніж по двох окремо працюючих лініях (рис. 8.5) [17]. Якщо в цеху переважають приймачі третьої категорії, то вони живляться від однострансформаторної підстанції, а окремі відповідальні навантаження резервуються за допомогою перемичками між підстанціями. Живлення відокремлених однострансформаторних підстанцій при наявності приймачів другої категорії здійснюють, виходячи з вимог ПУЕ двокабельною лінією. У випадку пошкодження одного з кабелів вимикач відмикає всю лінію, персонал від'єднує роз'єднувачем пошкоджений кабель з двох боків і вмикає вимикач. Усе навантаження переводиться на справний кабель.

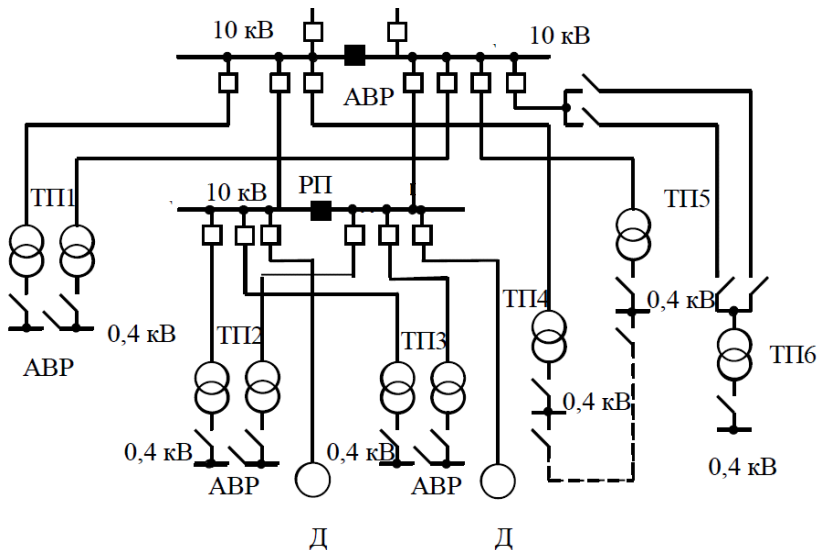


Рис. 8.5 – Двоступенева радіальна схеми електропостачання

На підприємствах значної потужності (потужність трансформатора ГПП 25 *MVA* і вище) доцільно проводити розукрупнення підстанцій, тобто використовувати додаткові розподільчі пункти 10(6) *kV*, які живляться від розподільчого пункту ГПП двома кабельними лініями. Така підстанція повинна розташовуватися в центрі навантаження частини підприємства.

При використанні високовольтних двигунів в цехах, де вони встановлені, доцільно передбачати додатковий розподільчий пункт, щоб скоротити мережу живлення для кожного двигуна. Від цієї підстанції можна живити розташовані поблизу підстанції.

У випадку наявності електродвигунів з номінальною напругою 6 *kV* можуть бути прийняті різні схеми заводських мереж (рис. 8.6) [5]:

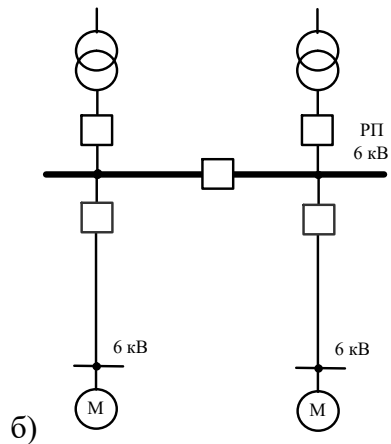
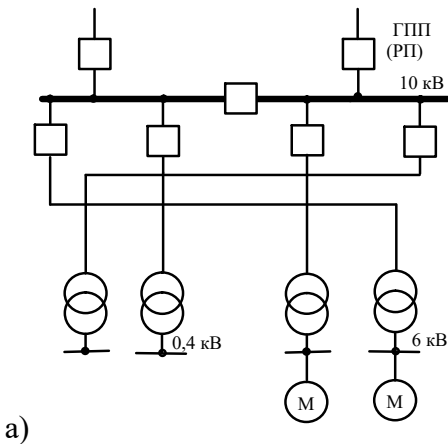
- а) схема з використанням індивідуальних трансформаторів

(схема “блок трансформатор-електродвигун”) – у випадку невеликої кількості ЕД - 6 **кВ**. При цьому застосовується схема блок-трансформатор-двигун з глухим приєднанням двигуна до трансформатора. Дана схема застосовується за кількості двигунів до трьох;

б) схема з використанням групових трансформаторів 10/6 **кВ**, що встановлюються на РП – у випадку територіально-сконцентрованої групи ЕД;

в) схема з використанням розподільчої мережі напругою 6 **кВ** – у випадку переважання ЕД – 6 **кВ** в загальному навантаженні;

г) схема з двома секціонованими системами збірних шин напругою 10 і 6 **кВ** – при приблизно однаковому навантаженні на обох напругах.



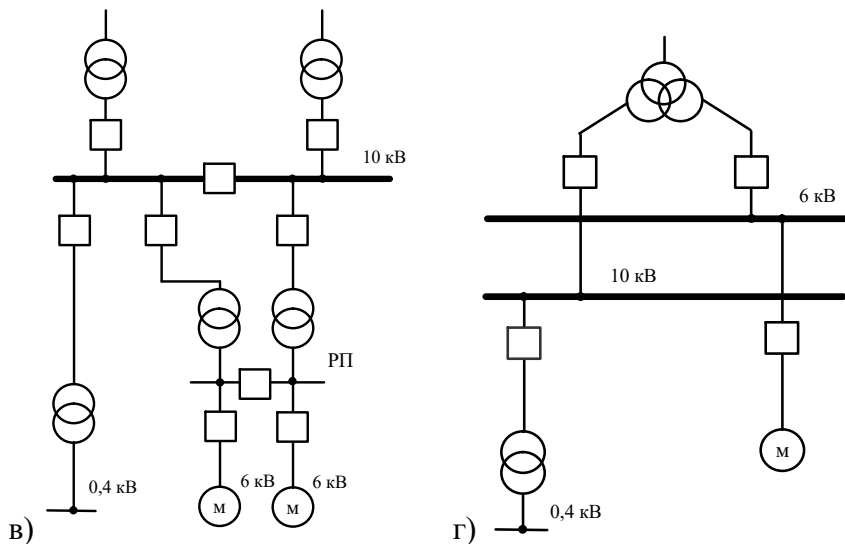


Рис. 8.6 – Схеми заводських мереж за наявності ЕД напругою 6 кВ

Конструктивно заводські мережі середніх за потужністю підприємств виконують кабелями, прокладеними в траншеях (до шести кабелів) або кабельних каналах (15-20 кабелів). Перспективним є виконання кабельних каналів напівзаглибленими, коли канал накривається плитами та землею і не засипається. При ущільненості траси, а також в місцях переходу, під дорогами кабелі прокладають в блоках.

Для підвищення надійності однострансформаторних ТП використовують резервування на низькій стороні. Резервування виконують за допомогою резервних кабельних або шинних перемичок. Кабельні перемички слід виконувати, виходячи з резервування 15 – 30 відсотків потужності трансформаторів, шинні – до 40 відсотків.

8.3. Загальні рекомендації по вибору схеми заводської високовольтної розподільчої мережі

Як правило, рекомендується окрема робота ліній і трансформаторів з глибоким секціонуванням шин у всіх ланках системи розподілу електричної енергії з метою резервування.

За наявності зосередженого високовольтного навантаження на підприємстві вирішується питання про спорудження розподільчих пунктів.

Під час побудову схем внутрішнього електропостачання РП для живлення споживачів напругою вище 1000 В рекомендується споруджувати, якщо від них відходить не менше 8-10 ліній. При порівняно невеликих відстанях (100-120 м) від РУ ГПП до місця зосередженого високовольтного навантаження спорудження РП недоцільне. Для скорочення кількості РП рекомендується прибудовувати ГПП до цеху, що має споживачі напругою вище 1000 В, якщо це не пов'язано із значним зміщенням ГПП від центру електричних навантажень. Якщо від РП отримують живлення лише споживачі II і III категорії, то АВР на РП не передбачають і замість міжсекційних і ввідних вимикачів можливе встановлення роз'єднувачів. Міжсекційні вимикачі слід вибирати за струмом, що фактично протікає через них, а не за повним струмом вводу чи трансформатора.

Живлення ЦТП рекомендується здійснювати за схемою «блок лінія-трансформатор» з глухим приєднанням лінії до трансформатора і без спорудження збірних шин первинної напруги підстанції. За магістральної схеми кількість трансформаторів, що приєднуються до однієї магістралі, приймається 2-3 у випадку потужності трансформаторів 1600-1000 кВ·А. Застосування магістралей напругою вище 1000 В, виконаних струмопроводами, доцільне у випадку високої

питомої густини навантажень, сконцентрованих потужних споживачів і великої кількості годин роботи підприємства [2]. При цьому необхідно врахувати багато факторів: потужності високовольтних двигунів, їх кількість, взаємне розташування цехів, напрям основних технологічних комунікацій, особливості технології.

Внутрішньозаводський розподіл енергії можна здійснити високовольтними шинопроводами, струмопроводами, або кабельними лініями з різним способом їх прокладання: в траншеях, в кабельних каналах, тунелях, по естакадах.

Схеми трансформаторних підстанцій напругою 6-10/0,4 **кВ** повинні проектуватися без збірних шин первинної напруги. Встановлення відмикаючого апарату перед цеховим трансформатором при магістральному живленні підстанції обов'язкове. На напрузі 6-10 **кВ** слід застосовувати вимикачі навантаження в комплекті з запобіжниками у всіх випадках, коли параметри цих апаратів достатні за умовами робочого і післяаварійного режимів, а також за струмами короткого замикання. На лініях, що відходять, напругою 6-10 **кВ** силові запобіжники слід встановлювати після роз'єднувача або вимикача навантаження, рахуючи по напрямку потужності.

У випадку живлення групи ТП великих корпусів, в яких кількість ТП вимірюється десятками, доцільно застосування перехресних магістралей-променів. Якщо переріз кабелю виходить завищеним за умовами термічної стійкості при короткому замиканні, то доцільне живлення двох чи трьох трансформаторів різних ТП від одного вимикача «в ланцюг».

Остаточний вибір схем і параметрів розподільчих мереж встановлюється на підставі техніко-економічного розрахунку.

8.4 Обґрунтування вибору схеми внутрішньо-заводського електропостачання

За напругу внутрішньо заводського живлення приймаємо напругу 10 кВ. Для розподілу електричної енергії до цехових ТП приймаємо змішану схему.

Частина цехових ТП одержує живлення за радіальною схемою, а інша частина – за магістральною. Таке поєднання дозволяє більш повно використовувати переваги обох схем. Вони більш надійні та прості в експлуатації і мають менші капітальні витрати.

8.5 Розрахунок перерізів кабельних ліній, що живлять ЦТП

В умовах промислової забудови доцільне використання КЛ для розподілу електричної енергії до ЦТП.

Вибір перерізу КЛ виконуємо за економічною густиною струму:

$$F_e = \frac{I_p}{j_e} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U \cdot n \cdot j_e}, \quad (8.1)$$

$j_e = 1,4$ економічна густина струму ([10]);

I_p – розрахунковий струм кабеля;

Здійснюємо вибір кабельних ліній, які живлять ЦТП.

Розрахунки виконаємо на прикладі лінії РП-ЦТП1.

$$F_e = \frac{63,58}{1,4} = 45,42 \text{ мм}^2,$$
$$I_p = \frac{2002,5}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 63,58 \text{ А},$$

де S_{p4} **кВА**, згідно даних таблиці 6.1.

Вибираємо кабель $2 \times ААШв$ (3×50); перевіряємо на допустиме перевантаження в нормальному і післяаварійному режимі, на допустиму втрату напруги і на термічну стійкість струмам КЗ.

Перевіряємо вибраний переріз за умовою нагріву струмом нормального режиму:

$$I_{\delta} = K_1 \cdot K_2 \cdot I'_{\delta} \geq I_p, \quad (8.2)$$

$$I_{\delta} = 1,06 \cdot 0,9 \cdot 140 = 133,6 \text{ А} \geq I_p = 63,58 \text{ А},$$

де K_1 - коефіцієнт, що враховує середньорічну температуру навколишнього середовища. При середньорічній температурі середовища $t = 10,9^{\circ}\text{C}$ [2], тривало допустимій температурі кабелю $t = 60^{\circ}\text{C}$ [2] та умовній температурі середовища $t = 15^{\circ}\text{C}$ [2]; $K_1 = 1,06$, згідно [2] - для кабелів 10 кВ , прокладених в землі; K_2 - поправковий коефіцієнт на кількість прокладених в одній траншеї кабелів; $K_2 = 0,9$, згідно [2]; I'_{δ} - допустиме струмове навантаження для даного перерізу кабеля; $I'_{\delta} = 120 \text{ А}$, згідно [2].

Перевіряємо вибраний переріз за умовою нагріву струмом аварійного режиму:

$$I_{\delta/ав} = K_1 \cdot K_{\delta} \cdot I'_{\delta} \geq I_{n/ав} = 2 \cdot I_p, \quad (8.3)$$

$$I_{\delta/ав} = 1,06 \cdot 1,25 \cdot 1200 = 185,5 \geq I_{n/ав} = 2 \cdot 63,58 = 127,9 \text{ А},$$

Втрати напруги в лінії :

$$\Delta U = \frac{(P \cdot r_0 + Q \cdot x_0) \cdot l}{10 \cdot U_n^2}, \quad (8.4)$$

$$\Delta U = \frac{(1903,3 \cdot 0,59 + 2206 \cdot 0,09) \cdot 0,099}{10 \cdot 10^2} = 0,263\%,$$

де l - довжина лінії; $l=0,099$ км, згідно генплану; r_0 , x_0 - питомий активний і реактивний опори лінії; $r_0=0,59$ Ом/км, $x_0=0,09$ Ом/км, згідно [2]; P , Q - активна і реактивна потужності що передається через КЛі $кВт$, $кВАр$; $P=1903,3$ $кВт$, $кQ=2206$ $кВАр$, згідно даних таблиці 6.1; U_H - номінальна напруга, $кВ$.

$$\Delta U \leq \Delta U_{доп} = 6 - 8\%$$

де $U_{доп}$ - допустимі відхилення напруги для мереж вище $1кВ$.
Результати вибору заносимо в табл.8.1.

Таблиця 8.1 – Вибір перерізу кабельних ліній

Найменування вузла живлення	P_{p_4} , кВт	Q_{p_4} , кВАр	S_{p_4} , кВА	I_p , А	$F_{маг}$, мм ²	F_T , мм ²	$I'_{дт}$, А	$I_{дт}$, А	$I_{n/ав}$, А	$I_{д_{n/ав}}$, А	l , км	r_0 , Ом/км	x_0 , Ом/км	ΔU , %
РП –ЦТП 1	1903,3	2206,0	2202,5	63,58	45,42	50	140	133,6	185,5	127,2	0,099	0,59	0,09	0,263
.....

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Давиденко Л.В., Коменда Н.В., Давиденко В.А., Євсюк М.М. Електропостачання промислових об'єктів. Практикум: навчальний посібник. Луцьк: ВІП ЛНТУ, 2022. 244 с.
2. Свідерська О.М., Немикіна О.В. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни “Електропостачання промислових підприємств ” для студентів спеціальності 8.090603 “Електротехнічні системи електроспоживання” усіх форм навчання. Запоріжжя : ЗНТУ, 2011. 98 с.
3. Правила улаштування електроустановок. Міненерговугілля України. Х: Видавництво «Форт», 2017. 760 с.
4. Основи електропостачання [Текст]: Методичні вказівки до виконання курсового проекту для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти освітньої програми «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» галузі знань 14 Електрична інженерія спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка денної та заочної форм навчання / уклад. Н.В. Коменда. Луцьк : ЛНТУ, 2023. 94 с
5. Василега П.О. Електропостачання [Текст]: підручник. Суми : СумДУ, 2019. 521 с.
6. Рудницький В. Г. Внутрішньозаводське електропостачання. Курсове проектування: Навчальний посібник. Суми : ВТД Університетська книга, 2006. 153 с.
7. Кваліфікаційний проєкт бакалавра : метод. вказівки до оформлення кваліфікаційних проєктів бакалавра для здобувачів першого (бакалаврського) рівня освіти освітньої програми «Електроенергетика, електротехніка та

електромеханіка» галузі знань 14 Електрична інженерія спец. 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка денної та заоч. форм навч. / уклад.: І.В. Грицюк, Ю.В. Грицюк. – Луцьк : ЛНТУ, 2024. – 32 с.

8. Оформлення графічної частини. Методичні вказівки до оформлення курсових і кваліфікаційних проектів (робот) для здобувачів першого (бакалаврського) та другого (магістерського) рівня вищої освіти освітньої програми «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» галузі знань 14 Електрична інженерія спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка денної та заочної форм навчання / І.В. Грицюк, Ю.В. Грицюк / - Луцьк: ЛНТУ, 2024. 92 с.

ДОДАТОК А Бланк завдання до курсового проекту

Завдання до курсового проекту
для студентів спеціальності 141 -"Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка"

Спроекувати систему електропостачання машинобудівного заводу. На території підприємства встановлений РП-10. Живлення заводу здійснюється від ГПП 110/10 **кВ**, яка віддалена від території підприємства на 2,5 **км**. Режим роботи підприємства – однозмінний. Час використання максимального активного навантаження $T_{max}=1500-2000$ год.

Шифр завдання $K_1K_2K_3$

K_1	K_2	K_3

Вихідні дані до курсового проекту подані в таблицях.

Таблиця 1 – Склад цехів підприємства і категорія надійності їх електроприймачів

№ цеху	Назва цеху	Категорія надійності електроприймачів
1	Механічний цех № 1	2 і 3
2	Механічний цех № 2	2 і 3
3	Механічно-складальний цех	2
4	Інструментальний цех	3
5	Цех дрібних серій	2
6	Ремонтно-механічний цех	3

Таблиця 2 – Встановлена потужність цехів

Варіант по K_3	Встановлена потужність окремих цехів $P_{вст.}, \text{кВт}$					
	1	2	3	4	5	6
Парний (0; 2; 4; 6; 8)	5 K_2 00	56 K_3 0	61 K_1 0	69 K_2 0	57 K_3 0	59 K_1 0
Непарний (1; 3; 5; 7; 9)	51 K_2 0	57 K_3 0	62 K_1 0	68 K_2 0	70 K_3 0	58 K_1 0

Таблиця 3 – Коефіцієнти попиту цехів

Варіант по K_3	Коефіцієнти попиту K_n окремих цехів					
	1	2	3	4	5	6
Парний (0; 2; 4; 6; 8)	0,20	0,15	0,10	0,15	0,11	0,16
Непарний (1; 3; 5; 7; 9)	0,19	0,14	0,11	0,16	0,12	0,17

Таблиця 4 – Коефіцієнти потужності цехів

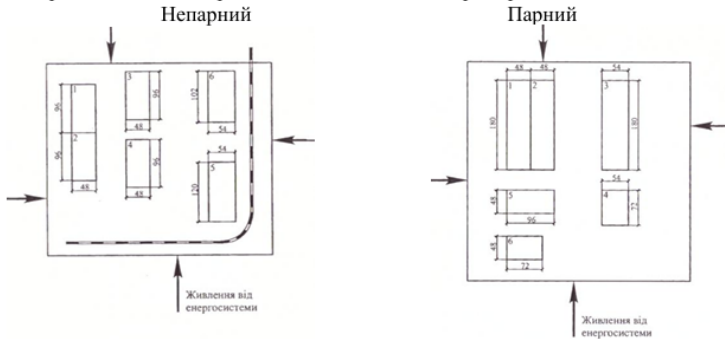
Варіант по K_3	Коефіцієнти потужності $\cos \varphi$ окремих цехів					
	1	2	3	4	5	6
Парний (0; 2; 4; 6; 8)	0,54	0,64	0,69	0,59	0,56	0,54
Непарний (1; 3; 5; 7; 9)	0,64	0,66	0,61	0,69	0,54	0,64

Таблиця 5 – Спосіб виконання загального освітлення цехів

Варіант по K_3	Спосіб виконання загального освітлення окремих цехів					
	1	2	3	4	5	6
Парний (0; 2; 4; 6; 8)	1	2	3	1	2	3
Непарний (1; 3; 5; 7; 9)	2	3	1	2	3	1

Примітки: 1 – лампи розжарювання ($\cos \phi_o = 1$); 2 – люмінесцентні лампи (ЛЛ) низького тиску ($\cos \phi_o = 0,95$); 3 – дугові ртутні лампи (ДРЛ) високого тиску ($\cos \phi_o = 0,5$).

Генеральний план підприємства залежно від номера варіанта:



Примітки:
1. Усі розміри цехів подані в метрах.
2. 1- – номери цехів.
3. ——— залізничні колії.

Примітки:
1. Усі розміри цехів подані в метрах.
2. 1- – номери цехів.

Зміст графічної частини курсового проєкту (2 креслення формату А1):

- 1) генеральний план підприємства з нанесеною картографією електричних навантажень і вибраними до встановлення трансформаторними підстанціями і кабельними лініями електropередачі;
- 2) однолінійна схема СЕП підприємства (схема електрична принципова).

Зміст пояснювальної записки курсового проєкту:

Анотація.

1. Коротка характеристика підприємства.
 - 1.1. Характеристика електроприймачів.
 - 1.2. Характеристика джерела живлення.
2. Розрахунок електричних навантажень.
 - 2.1. Розрахунок силових навантажень.
 - 2.2. Розрахунок освітлювальних навантажень за допомогою методу коефіцієнта попиту.
 - 2.3. Розрахунок сумарних навантажень.
3. Розрахунок картограми навантажень і визначення теоретичного центру навантажень.
4. Вибір кількості і потужності трансформаторів ЦТП і компенсуючих пристроїв.
5. Компенсація реактивної потужності в умовах підприємства.
6. Розрахунок навантажень на вищих рівнях СЕП за допомогою ієрархічного підходу.
7. Вибір схеми зовнішнього електропостачання.
 - 7.1. Вибір схеми та напруги зовнішнього електропостачання.
 - 7.2. Вибір перерізу живлячих ліній.
8. Вибір схеми внутрішньозаводського електропостачання.
 - 8.1. Обґрунтування вибору схеми внутрішньозаводського електропостачання.
 - 8.2. Розрахунок перерізів кабельних ліній, що живлять ЦТП.

Завдання видав:

Доцент кафедри електричної інженерії

Коменда Н.В.

(підпис)

Завдання прийняв до виконання:

студент групи _____

Завдання до курсового проекту
для студентів спеціальності 141 -"Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка"

Спроекувати систему електропостачання машинобудівного заводу. На території підприємства встановлений РП-10. Живлення заводу здійснюється від ГПП 110/10 кВ, яка віддалена від території підприємства на 2,5 км. Режим роботи підприємства – двозмінний. Час використання максимального активного навантаження $T_{\max}=2500-4000$ год.

Шифр завдання $K_1 K_2 K_3$

K_1	K_2	K_3

Вихідні дані до курсового проекту подані в таблицях.

Таблиця 1 – Склад цехів підприємства і категорія надійності їх електроприймачів

№ цеху	Назва цеху	Категорія надійності електроприймачів
1	Механічний цех № 1	2 і 3
2	Механічний цех № 2	2 і 3
3	Механічно-складальний цех	2
4	Інструментальний цех	3
5	Цех дрібних серій	2
6	Ремонтно-механічний цех	3

Таблиця 2 – Встановлена потужність цехів

Варіант по K_3	Встановлена потужність окремих цехів $P_{вст.}, \text{кВт}$					
	1	2	3	4	5	6
Парний (0; 2; 4; 6; 8)	$5 K_2 00$	$56 K_3 0$	$61 K_1 0$	$69 K_2 0$	$57 K_3 0$	$59 K_1 0$
Непарний (1; 3; 5; 7; 9)	$51 K_2 0$	$57 K_3 0$	$62 K_1 0$	$68 K_2 0$	$70 K_3 0$	$58 K_1 0$

Таблиця 3 – Коефіцієнти попиту цехів

Варіант по K_3	Коефіцієнти попиту K_n окремих цехів					
	1	2	3	4	5	6
Парний (0; 2; 4; 6; 8)	0,20	0,15	0,10	0,15	0,11	0,16
Непарний (1; 3; 5; 7; 9)	0,19	0,14	0,11	0,16	0,12	0,17

Таблиця 4 – Коефіцієнти потужності цехів

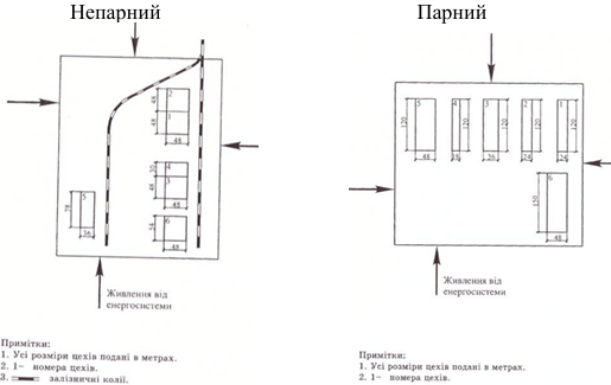
Варіант по K_3	Коефіцієнти потужності $\cos \phi$ окремих цехів					
	1	2	3	4	5	6
Парний (0; 2; 4; 6; 8)	0,54	0,64	0,69	0,59	0,56	0,54
Непарний (1; 3; 5; 7; 9)	0,64	0,66	0,61	0,69	0,54	0,64

Таблиця 5 – Спосіб виконання загального освітлення цехів

Варіант по K_3	Спосіб виконання загального освітлення окремих цехів					
	1	2	3	4	5	6
Парний (0; 2; 4; 6; 8)	1	2	3	1	2	3
Непарний (1; 3; 5; 7; 9)	2	3	1	2	3	1

Примітки: 1 – лампи розжарювання ($\cos \varphi_0 = 1$); 2 – люмінесцентні лампи (ЛЛ) низького тиску ($\cos \varphi_0 = 0,95$); 3 – дугові ртутні лампи (ДРЛ) високого тиску ($\cos \varphi_0 = 0,5$).

Генеральний план підприємства залежно від номера варіанта:



Зміст графічної частини курсового проекту (2 креслення формату А1):

- 1) генеральний план підприємства з нанесеною картограмою електричних навантажень і вибраними до встановлення трансформаторними підстанціями і кабельними лініями електропередачі;
- 2) однолінійна схема СЕП підприємства (схема електрична принципова).

Зміст пояснювальної записки курсового проекту:

Анотація.

1. Коротка характеристика підприємства.
 - 1.1. Характеристика електроприймачів.
 - 1.2. Характеристика джерела живлення.
2. Розрахунок електричних навантажень.
 - 2.1. Розрахунок силових навантажень.
 - 2.2. Розрахунок освітлювальних навантажень за допомогою методу коефіцієнта потужності.
 - 2.3. Розрахунок сумарних навантажень.
3. Розрахунок картограми навантажень і визначення теоретичного центру навантажень.
4. Вибір кількості і потужності трансформаторів ЦТП і компенсуючих пристроїв.
5. Компенсація реактивної потужності в умовах підприємства.
6. Розрахунок навантажень на вищих рівнях СЕП за допомогою ієрархічного підходу.
7. Вибір схеми зовнішнього електропостачання.
 - 7.1. Вибір схеми та напруги зовнішнього електропостачання.
 - 7.2. Вибір перерізу живлячих ліній.
8. Вибір схеми внутрішньозаводського електропостачання.
 - 8.1. Обґрунтування вибору схеми внутрішньозаводського електропостачання.
 - 8.2. Розрахунок перерізів кабельних ліній, що живлять ЦТП.

Завдання видав:

Доцент кафедри електричної інженерії

Коменда Н.В.

_____ (підпис)

Завдання прийняв до виконання:

студент групи _____

_____ (прізвище ініціали)

_____ (підпис)

Завдання до курсового проєкту

для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Спроекувати систему електропостачання машинобудівного заводу. На території підприємства встановлений РП-10. Живлення заводу здійснюється від ГПП 110/10 кВ, яка віддалена від території підприємства на 2,5 км. Режим роботи підприємства – тримісний. Час використання максимального активного навантаження $T_{\max}=4500-6000$ год.

Шифр завдання $K_1 K_2 K_3$

K_1	K_2	K_3

Вихідні дані до курсового проєкту подані в таблицях.

Таблиця 1 – Склад цехів підприємства і категорія надійності їх електроприймачів.

№ цеху	Назва цеху	Категорія надійності електроприймачів
1	Механічний цех № 1	2 і 3
2	Механічний цех № 2	2 і 3
3	Механічно-складальний цех	2
4	Інструментальний цех	3
5	Цех дрібних серій	2
6	Ремонтно-механічний цех	3

Таблиця 2 – Встановлена потужність цехів

Варіант по K_3	Встановлена потужність $P_{вст.}$ окремих цехів, кВт					
	1	2	3	4	5	6
Парний (0; 2; 4; 6; 8)	5 K_2 00	56 K_3 0	61 K_1 0	69 K_2 0	57 K_3 0	59 K_1 0
Непарний (1; 3; 5; 7; 9)	51 K_2 0	57 K_3 0	62 K_1 0	68 K_2 0	70 K_3 0	58 K_1 0

Таблиця 3 – Коефіцієнти попиту цехів

Варіант по K_3	Коефіцієнти попиту K_n окремих цехів					
	1	2	3	4	5	6
Парний (0; 2; 4; 6; 8)	0,2	0,15	0,1	0,15	0,11	0,16
Непарний (1; 3; 5; 7; 9)	0,19	0,14	0,11	0,16	0,12	0,17

Таблиця 4 – Коефіцієнти потужності цехів

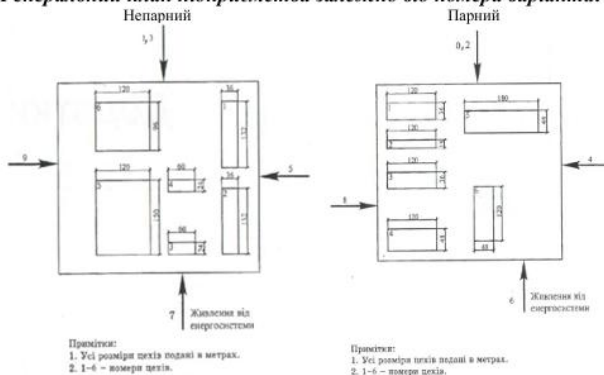
Варіант по K_3	Коефіцієнти потужності $\cos \phi$ окремих цехів					
	1	2	3	4	5	6
Парний (0; 2; 4; 6; 8)	0,54	0,64	0,69	0,59	0,56	0,54
Непарний (1; 3; 5; 7; 9)	0,64	0,66	0,61	0,69	0,54	0,64

Таблиця 5 – Спосіб виконання загального освітлення цехів

Варіант по K_3	Спосіб виконання загального освітлення окремих цехів					
	1	2	3	4	5	6
Парний (0; 2; 4; 6; 8)	1	2	3	1	2	3
Непарний (1; 3; 5; 7; 9)	2	3	1	2	3	1

Примітки: 1 – лампи розжарювання ($\cos \phi_0 = 1$); 2 – люмінесцентні лампи (ЛЛ) низького тиску ($\cos \phi_0 = 0,95$); 3 – дугові ртутні лампи (ДРЛ) високого тиску ($\cos \phi_0 = 0,5$).

Генеральний план підприємства залежно від номера варіанта:



Зміст графічної частини курсового проєкту (2 креслення формату А1):

- генеральний план підприємства з нанесеною картограмою електричних навантажень і вибраними до встановлення трансформаторними підстанціями і КЛ електропередачі;
- однолінійна схема СЕП підприємства (схема електрична принципова).

Зміст пояснювальної записки курсового проєкту:

Анотація.

- Коротка характеристика підприємства.
 - Характеристика електроприймачів.
 - Характеристика джерела живлення.
- Розрахунок електричних навантажень.
 - Розрахунок силових навантажень.
 - Розрахунок освітлювальних навантажень за допомогою методу коефіцієнта попиту.
 - Розрахунок сумарних навантажень.
- Розрахунок картограми навантажень і визначення теоретичного центру навантажень.
- Вибір кількості і потужності трансформаторів ЦТП і компенсуючих пристроїв.
- Компенсація реактивної потужності в умовах підприємства.
- Розрахунок навантажень на вищих рівнях СЕП за допомогою ієрархічного підходу.
- Вибір схеми зовнішнього електропостачання.
 - Вибір схеми та напруги зовнішнього електропостачання.
 - Вибір перерізу живлячих ліній.
- Вибір схеми внутрішньозаводського електропостачання.
 - Обґрунтування вибору схеми внутрішньозаводського електропостачання.
 - Розрахунок перерізів кабельних ліній, що живлять ЦТП.

Завдання видав:

Доцент кафедри електричної інженерії Коменда Н.В.

(підпис)

Завдання прийняв до виконання:

студент групи _____

ДОДАТОК Б Титульний аркуш

Міністерство освіти і науки України

Луцький національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет архітектури, будівництва та дизайну

(повне найменування факультету)

Кафедра електричної інженерії

(повне найменування кафедри)

КУРСОВИЙ ПРОЄКТ

з дисципліни: Електропостачання

(назва дисципліни)

на тему: Проектування СЕП машинобудівного заводу

Студента 4 курсу групи ЕЕ-41

спеціальності 141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка"

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник доцент, к.т.н. Коменда Н.В.

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

Національна шкала _____

Кількість балів: _____ Оцінка: ECTS _____

Члени комісії _____

(підпис)

(прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

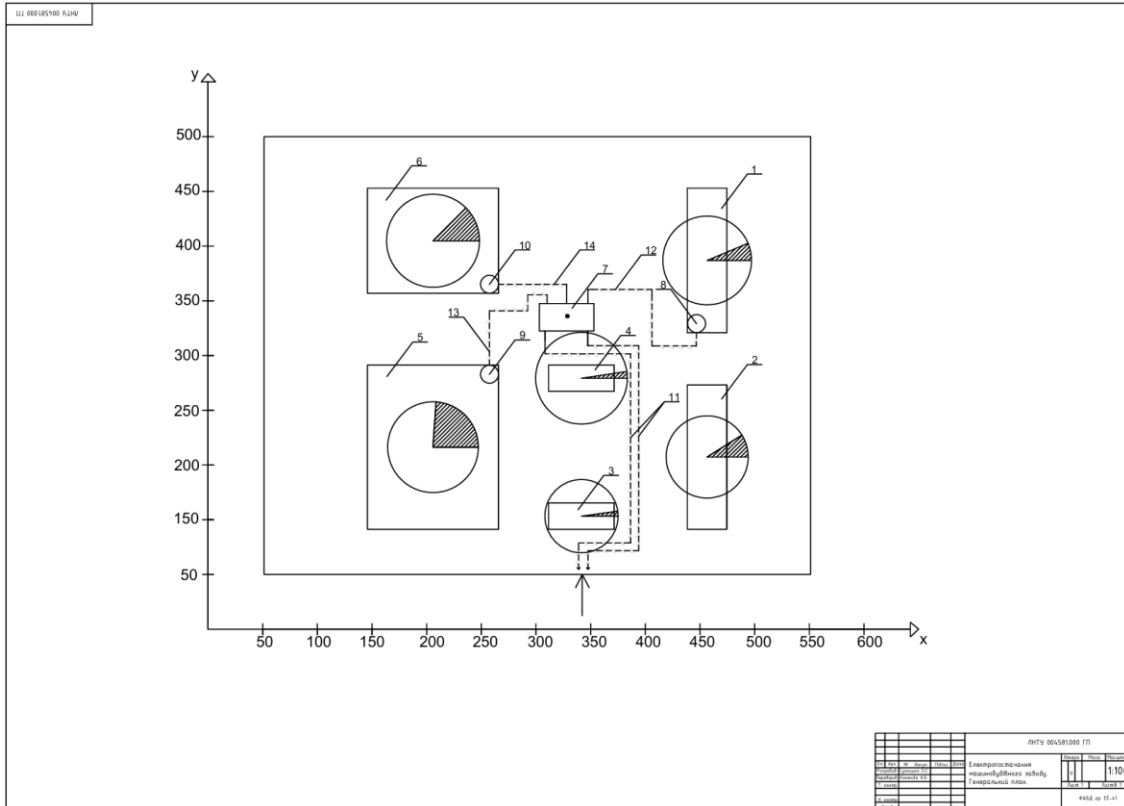
(прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

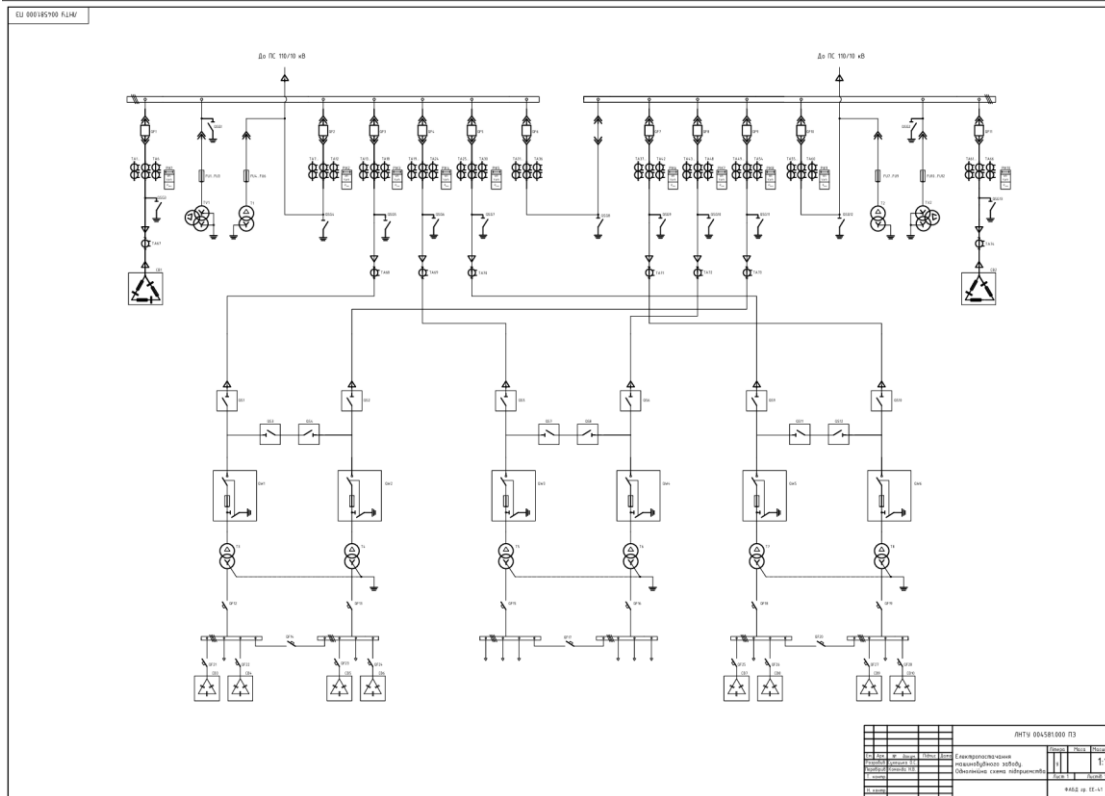
(прізвище та ініціали)

м. Луцьк - 2025

ДОДАТОК Д Приклад генерального плану підприємства



ДОДАТОК Е Приклад однолінійної схеми підприємства



Електропостачання [Текст]: Методичні вказівки до виконання курсового проєкту для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти освітньої програми «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» галузі знань 14 Електрична інженерія спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка денної та заочної форм навчання / уклад. Н.В. Коменда. Луцьк : ЛНТУ, 2025. 95 с.

Редактор: Н.В.Коменда

Комп'ютерний набір та верстка: Н.В.Коменда

Підп. до друку листопад 2025 р.
Формат 60x84/16. Папір офс .Гарн. Таймс.
Ум. друк. арк. 5,94. Обл. - вид. арк. 5,9.

Луцький національний технічний університет
43018 м. Луцьк, вул. Львівська, 75.
Друк – ЛНТУ