МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерії та енергетики
Кафедра електрифікації, автоматизації виробництва та інженерної екології

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

Грабовський Нікіта Леонідович

УДК 621.3.01

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Обґрунтування та вибір елементів та характеристик цехової мережі токарного цеху промислового підприємства

(тема роботи)

141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

(шифр і назва спеціальності)

Подається на здобуття освітнього ступеня бакалавр

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Грабовський Н.Л.
(підпис, ініціали та прізвище здобувача вищої освіти)

Керівник роботи

Денисюк Анатолій Юрійович
(прізвище, ім'я, по батькові)
к.т.н., доцент кафедри електрифікації, автоматизації виробництва та інженерної екології
(науковий ступінь, вчене звання)

Житомир – 2026

АНОТАЦІЯ

Грабовський Н.Л. Обґрунтування та вибір елементів та характеристик цехової мережі токарного цеху промислового підприємства. Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка – Поліський національний університет, Житомир, 2026.

Основною метою роботи **є** вибір елементів та характеристик цехової мережі токарного цеху промислового підприємства.

Результатом роботи є розрахунок та вибір схеми цехової силової мережі, цехової трансформаторної підстанції, перерізу провідників живильної мережі та конструктивного виконання цехової мережі.

Ключові слова: електроприймач, комплектні конденсаторні установки, розподільний пункт, пристрій заземлення.

ABSTRACT

Grabovsky N.L. Justification and selection of elements and characteristics of the shop network of the turning shop of an industrial enterprise. Qualification work for obtaining a master's degree in specialty 141 - Electric power, electrical engineering and electromechanics - Polissia National University, Zhytomyr, 2026.

The main purpose of the work is the selection of elements and characteristics of the shop network of the turning shop of an industrial enterprise.

The result of the work is the calculation and selection of the scheme of the shop power network, shop transformer substation, cross-section of the power supply network conductors and the constructive design of the shop network.

Keywords: electrical receiver, complete capacitor units, distribution point, grounding device.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	4
ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1. ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ СХЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ТОКАРНОГО ЦЕХУ	7
1.1. Основні поняття та визначення	7
1.2. Характеристика системи електропостачання	10
1.3. Призначення та склад електричного обладнання	12
1.4. Вибір величини напруги живлення	13
Висновки по розділу 1	14
РОЗДІЛ 2. ВИБІР СХЕМИ ЦЕХОВОЇ СИЛОВОЇ МЕРЕЖІ	15
Вибір схеми цехової силової мережі	15
Висновки по розділу 2	17
РОЗДІЛ 3. ВИБІР ЕЛЕМЕНТІВ ТА ХАРАКТЕРИСТИК ЦЕХОВОЇ МЕРЕЖІ	18
3.1. Вибір цехової трансформаторної підстанції	18
3.2. Вибір перерізу провідників живильної мережі	26
3.3. Компенсація реактивної потужності	29
3.4. Вибір схеми і конструктивного виконання цехової мережі	32
Висновки по розділу 3	34
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	35
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	36

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

АВР – автоматичне включення резерву

АД – асинхронний двигун

ЕО – електрообладнання

ЕП – електроприймач

ККУ – комплектні конденсаторні установки

НН – низька напруга

ПЗ – пристрій заземлення

ПС – підстанція

ПУЕ – Правила устаткування електроустановок

РП – розподільний пункт

ШНВ – шафа низьковольтна ввідна

ШНЛ – шафа низьковольтна лінійна

ШРА – шинопровід розподільчий алюмінієвий

ЩАО – щиток аварійного освітлення

ЩРО – щиток робочого освітлення

ВСТУП

Актуальність роботи. Від ефективності системи електропостачання безпосередньо залежить продуктивність, безпека та економічна доцільність роботи підприємства. Сучасні промислові підприємства характеризуються високою концентрацією електрообладнання та значним споживанням електроенергії. Це висуває особливі вимоги до проектування, монтажу та експлуатації систем електропостачання. Через це питання вибору елементів та характеристик цехової мережі підприємства є актуальними.

Метою роботи є раціональний вибір елементів та характеристик цехової мережі токарного цеху промислового підприємства.

Для досягнення запланованого в роботі реалізуються такі завдання:

1. Здійснення аналізу схеми електропостачання цеху, обрання рівня живлючої напруги.

2. Виконання розрахунку та вибору елементів та характеристик цехової мережі токарного цеху промислового підприємства.

Об'єктом дослідження є аналіз токарного цеху, структура та склад електрообладнання розглядаємого цеху, вибір елементів та характеристик цехової мережі.

Предметом дослідження є електрична схема токарного цеху з вибором елементів та характеристик цехової мережі.

Методи досліджень. Під час проведення досліджень, використовувалися методи системного аналізу, методи математичного моделювання.

Практична значимість результатів роботи:

Сформовано методологічні засади покращення вибору, електропостачання промислового об'єкту, що дають змогу успішно вирішувати такі практичні проблеми:

1. Удосконалити вибір системи електропостачання типового промислового об'єкта згідно з його особливостями, можливостями для встановлення необхідного обладнання.

2. Надалі проводити розбудову системи електропостачання.

Перелік публікацій автора за темою дослідження :

Грабовський Н.Л. ВИБІР СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА ЦЕХОВОЇ ТП

Наукові читання – 2026: збірник тез доповідей науково-практичної конференції за підсумками І-го туру Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт з галузей знань і спеціальностей. 20 квітня 2026 р. Житомир: Поліський національний університет, 2026. - С 101-103.

Грабовський Н.Л., Ільніцький І.В. ВИБІР ВИСОКОВОЛЬТНИХ ВИМИКАЧІВ І ПЕРЕРІЗУ КАБЕЛІВ ЦЕХОВОЇ МЕРЕЖІ

Наукові читання – 2026: збірник тез доповідей науково-практичної конференції за підсумками І-го туру Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт з галузей знань і спеціальностей. 20 квітня 2026 р. Житомир: Поліський національний університет, 2026. - С 89-91.

1. ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ СХЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ТОКАРНОГО ЦЕХУ МАШИНОБУДІВЕЛЬНОГО ЗАВОДУ

1.1. Основні поняття та визначення. Термінологічний словник

Сучасне життя важко уявити без вживання електричної енергії. Вона використовується у всіх сферах господарської діяльності [1].

Електрична енергія продукується на електричних станціях, що пов'язані між собою та зі споживачами електричними системами [2].

Розробка енергосистем дозволяє не лише підвищити економічність енергозабезпечення, а й відчутно збільшити його стійкість, надійність та якість [4].

Частину енергосистеми, що об'єднує генератори, розподільні пристрої (РУ), трансформаторні підстанції (ТП) та споживачі електричної енергії (електроприймачі – ЕП), прийнято називати *електричною системою*.

Частина електричної системи, до якої входять ТП та лінії різних напруг, називають *електричною мережею (ЕС)*. ЕС поділяються на живильні та розподільні.

Живлячі електричні мережі здійснюють передачу (транспорт, каналізацію) електричної енергії до розподільчих пунктів (РП) або ТП та не мають підключених ЕП.

Розподільні електричні мережі передають електроенергію від знижувальних ТП безпосередньо споживачам, або за повітряними лініями електропередачі (ПЛ), або кабельними лініями (КЛ) [3].

На різних ієрархічних рівнях електроенергетики та різних ситуаціях провідними є ті чи інші критерії. Однак у всіх випадках підвищення надійності як обов'язкова умова підвищення ефективності виробництва пов'язане зі збільшенням витрат, що вкладаються у створення та експлуатацію енергетичних систем, їх частин та елементів.

Одним з найважливіших завдань електропостачання, при забезпеченні його надійності у будь-якій галузі господарської діяльності, є найбільш

доцільне мережне будівництво. Воно полягає не тільки у прийнятті професійних рішень щодо схем електропостачання на стадії проектування, а й у використанні найсучаснішого мережного обладнання [4].

Якість електричної енергії, як невід'ємний атрибут будь-якого товару, є найбільш всеосяжною характеристикою як товаровиробника (енергопостачальної організації), так і безпосередньо споживача, що є джерелом спотворень, що вносяться в роботу енергосистеми в цілому.

Електроенергетичною системою називається електрична частина енергосистеми та приймачі електричної енергії, що живляться від неї, об'єднані загальним процесом виробництва, передачі, розподілу та прийому електричної та інших видів енергії [5].

Електричною системою (*енергосистемою*) називається сукупність електростанцій електричних та теплових мереж, з'єднаних між собою та пов'язаних спільністю режиму у безперервному процесі виробництва, перетворення та розподілу електричної енергії та теплоти при загальному керуванні цим режимом.

*Електричною частиною*системиназивається сукупність електроустановок електричних станцій та електричних мереж енергосистем.

Електропостачанням називаєтьсязабезпечення споживачів електричною енергією

Системою електропостачання називається сукупність електроустановок, призначених для забезпечення споживачів електричною енергією.

Електрична мережа є пристроєм, що з'єднує джерела живлення зі споживачами електричної енергії. Основним призначенням електричних мереж є *електропостачання споживачів,* а також передача енергії на великі відстані [7].

Вузловою розподільчою підстанцією (ВРП) є підстанція підприємства напругою 110-220 кВ, що отримує електроенергію від енергосистеми та

розподіляє її за головними низькими підстанціями (ГПП) або підстанціями глибокого введення (ПГВ) по території підприємства [7].

Головна низька підстанція (ГПП) - являє собою трансформаторну підстанцію, що отримує електроенергію від енергосистеми на напругах 35 кВ і вище та розподіляє її територією підприємства.

Підстанція глибокого введення (ПГВ) –підстанції110/10 та 35/0,4 кВ, що виконуються за спрощеними схемами первинної комутації, що отримує живлення від енергосистеми або вузлової розподільної підстанції даного підприємства та призначена для живлення окремого цеху, корпусу, групи цехів підприємства.

Центральний розподільчий пункт (ЦРП) – РУ підприємства, одержує електроенергію від енергосистеми на напрузі 6-10 кВ і розподіляє її на тій же напрузі на території підприємства [9].

Внутрішньоцехова підстанція -підстанція, розташована всередині виробничої будівлі (відкрито або в окремому закритому приміщенні).

Стовпова (щогла) трансформаторна підстанція -відкрита трансформаторна підстанція, все обладнання якої встановлено на конструкціях або опорах повітряних ліній на висоті, що не потребує огородження підстанції.

Струмопровід -пристрій, призначений для передачі та розподілення електроенергії, що складається з неізольованих та ізольованих провідників та ізоляторів, що відносяться до них, захисних оболонок, відгалужувальних пристроїв, підтримуючих та опорних конструкцій.

Шинопровід -жорсткий струмопровід до1 кВ, що постачається комплектними секціями.

Головний розподільчий щит (ГРЩ) - розподільний щит, через який постачається електроенергією вся будівля або її відокремлена частина.

Центральний розподільчий пункт (ЦРП) –РУ підприємства, одержує електроенергію від енергосистеми на напрузі 6-10 кВ і розподіляє її на тій же напрузі на території підприємства [11].

Внутрішньоцехова підстанція -підстанція, розташована всередині виробничої будівлі (відкрито або в окремому закритому приміщенні).

Стовпова (щогла) трансформаторна підстанція -відкрита трансформаторна підстанція, все обладнання якої встановлено на конструкціях або опорах повітряних ліній на висоті, що не потребує огородження підстанції.

Струмопровід -пристрій, призначений для передачі та розподілення електроенергії, що складається з неізольованих та ізольованих провідників та ізоляторів, що відносяться до них, захисних оболонок, відгалужувальних пристроїв, підтримуючих та опорних конструкцій.

Шинопровід -жорсткий струмопровід до1 кВ, що постачається комплектними секціями.

*Головний розподільчий щит (ГРЩ)*розподільний щит, через який постачається електроенергією вся будівля або її відокремлена частина.

Центральний розподільчий пункт (ЦРП) –РУ підприємства, одержує електроенергію від енергосистеми на напрузі 6-10 кВ і розподіляє її на тій же напрузі на території підприємства.

Стовпова (щогла) трансформаторна підстанція -відкрита трансформаторна підстанція, все обладнання якої встановлено на конструкціях або опорах повітряних ліній на висоті, що не потребує огородження підстанції [15].

1.2.Характеристика системи електропостачання

Електропостачання промислових підприємств є складним і багатоаспектним процесом, що забезпечує надійне та безперебійне функціонування виробничих потужностей. Від ефективності системи

електропостачання безпосередньо залежить продуктивність, безпека та економічна доцільність роботи підприємства. Сучасні промислові підприємства характеризуються високою концентрацією електрообладнання та значним споживанням електроенергії. Це висуває особливі вимоги до проектування, монтажу та експлуатації систем електропостачання. Важливим аспектом є забезпечення якості електроенергії, оскільки відхилення параметрів від норми можуть призвести до збоїв у роботі обладнання та зниження якості продукції, що випускається. Системи електропостачання промислових підприємств повинні бути спроектовані з урахуванням перспектив розвитку підприємства та збільшення його виробничих потужностей. Необхідно передбачати резервування основних елементів системи, а також можливість оперативного перемикання на резервні джерела живлення. Важливу роль відіграє впровадження сучасних технологій та обладнання, що дозволяють підвищити ефективність використання електроенергії та знизити витрати на її оплату. На закінчення слід зазначити, що надійне та ефективне електропостачання є одним із ключових факторів успішної роботи будь-якого промислового підприємства [10].

Електропостачання промислових підприємств являє собою складний і багатогранний процес, що забезпечує надійну та безперебійну роботу виробничих потужностей. Від ефективності системи електропостачання безпосередньо залежить продуктивність, безпека та економічна доцільність роботи підприємства. Сучасні промислові підприємства характеризуються високою концентрацією електрообладнання та значним споживанням електроенергії. Це висуває особливі вимоги до проектування, монтажу та експлуатації систем електропостачання. Важливим аспектом є забезпечення якості електроенергії, оскільки відхилення параметрів від норми можуть призвести до збоїв у роботі обладнання та зниження якості продукції. Системи електропостачання промислових підприємств мають бути спроектовані з урахуванням перспектив розвитку підприємства і збільшення його

виробничих потужностей. Потрібно передбачати резервування основних елементів системи, а також можливість оперативного переключення на резервні джерела живлення. Важливу роль відіграє впровадження сучасних технологій та обладнання, що дозволяють підвищити ефективність використання електроенергії та знизити витрати на її оплату. На завершення слід відзначити, що надійне та ефективне електропостачання є одним з ключових факторів успішної роботи будь-якого промислового підприємства [14].

1.3. Призначення та склад електричного обладнання

Досліджуваний токарний цех призначений для виготовлення та обробки деталей машин, інструментів, заготовок із металу, дерева, пластику тощо шляхом обертання заготовки навколо нерухомого різального інструменту, що включає точіння циліндричних, конічних, фасонних поверхонь, підрізання торців, нарізання різьби, свердління та інші операції для створення потрібної форми, розмірів та шорсткості поверхні.

У цеху встановлене наступне устаткування.

Таблиця 1.1. Устаткування та обладнання, що входить до складу цеху

№ з/п	Номер на плані	Найменування електроприймачів
1	1, 2	Токарно-револьверні багатоцільові верстати
2	3, 21, 27	Кран-балка
3	4, 5	Токарні верстати з ЧПУ
4	6, 7, 15, 16	Свердлильно-фрезерні верстати
5	8	Кондиціонер
6	9, 10, 11, 12	Токарні верстати з ЧПУ збільшеної точності
7	13, 17, 18	Координатно-свердлильні горизонтальні верстати
8	14	Стругальний верстат

9	19	Шліфувальний верстат
10	20	Наждачний верстат
11	22, 23	Токарні багатоцільові дротово-патронні модулі
12	24, 29, 30	Токарні-вертикальні напівавтомати з ЧПУ
13	25, 26, 28	Координатно-свердлильні вертикальні верстати

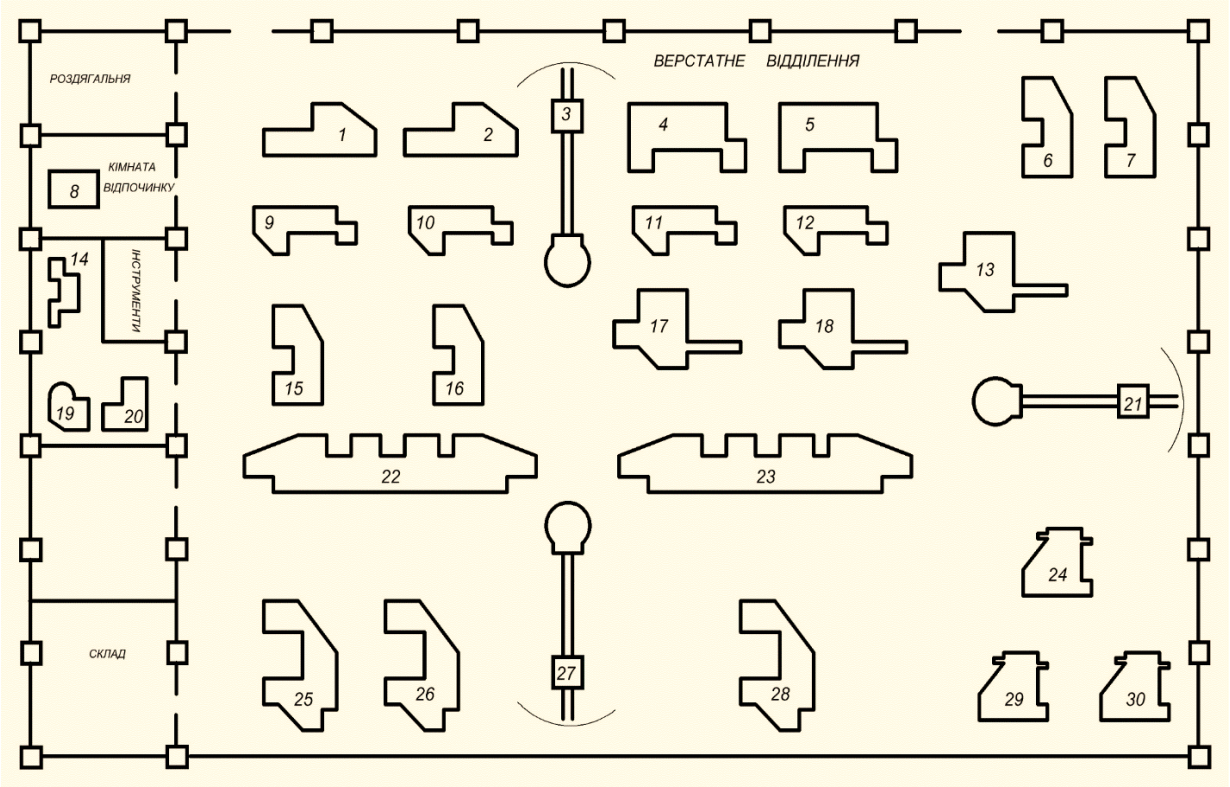


Рисунок 1.1–Розміщення технологічного обладнання

1.4.Вибір величини напруги живлення

Напругу 35 кВ здебільшого рекомендується використовувати для розподілу енергії на першому ступені середніх підприємств за відсутності великої кількості електродвигунів напругою вище 1000 В [5].

Напругу 10 кВ слід використовувати для внутрішньозаводського розподілу енергії.

Використаннянапруги 6 кВ повинно визначатись наявністю електроустаткування на 6 кВ та техніко-економічними показниками під час виборувеличини напруги живлення.

Для живлення освітлювальних установок промислових, житлових та загальних будівель, у більшості випадків, застосовують трифазні чотирьохпровідні мережі змінного струму 380/220 В за заземленої нейтралі, та 220 Вза ізольованоїнейтралі або постійному струмі[3].

Проаналізувавши вихідні дані, для живлення електрообладнання токарного цеху обираю напругу 0,4 кВ.

Висновки по першому розділу

В даному розділі було проаналізовано класифікацію споживачів електроенергії по ступені надійності електропостачання, та обрана категорія надійності токарного цеху для розрахунків електропостачання.

2. ВИБІР СХЕМИ ЦЕХОВОЇ СИЛОВОЇ МЕРЕЖІ

2.1. Вибір схеми цехової силової мережі

При виборі схеми цехової мережі враховують такі фактори [3]:

- потужність окремих ЕП;
- розміщення ЕП на території цеху;
- потрібна надійність живлення;
- характер технологічного процесу;
- умови середовища та ін.

Цехові силові електричні мережі можуть бути виконані за радіальною, магістральною або змішаною схемами(рис. 1.1, 1.2, 1.3).

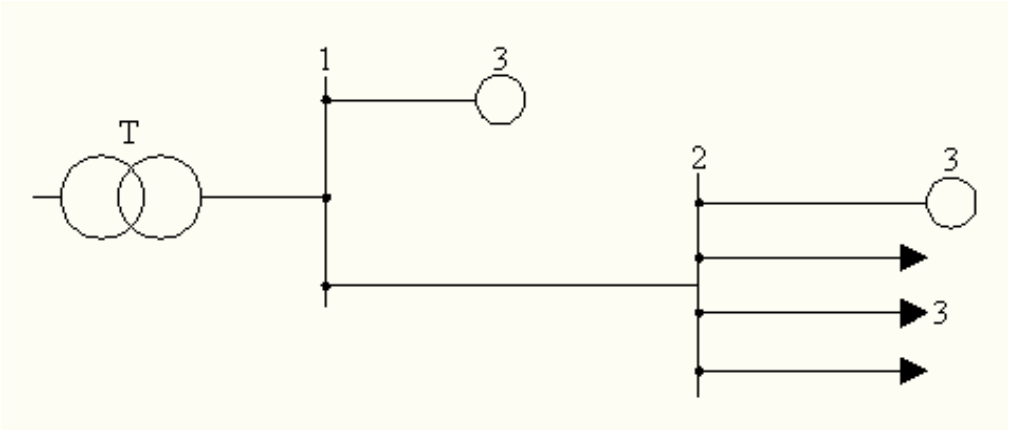


Рисунок 1.1 – Радіальна схема живлення електро приймачівпри напрузі до 1 кВ: 1 - розподільний пристрій низької напруги (НН) цехової підстанції; 2 - силова розподільна шафа; 3 - електроприймачі.

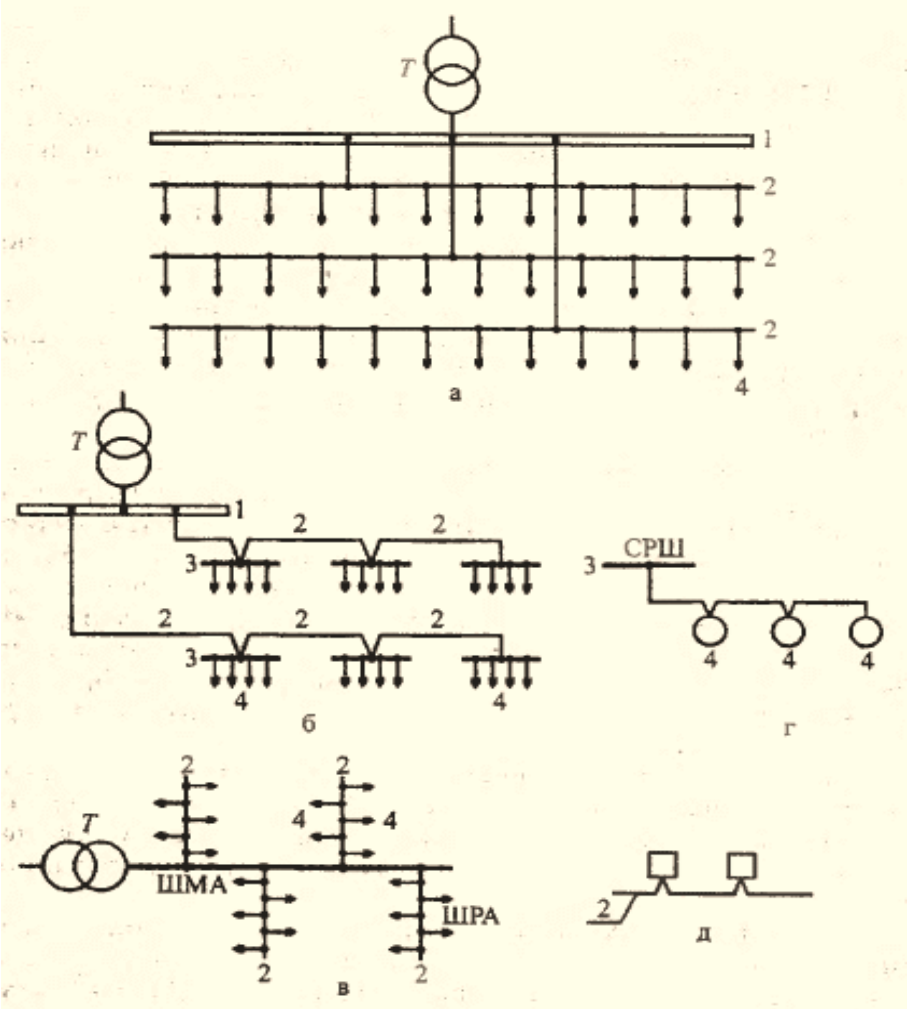


Рисунок 1.2 – Магістральні схеми живлення електроприймачів при напрузі до 1 кВ: а – з розподіленим навантаженням; б – з зосередженим навантаженням; в – блок “трансформатор-магістраль”; г - “ланцюжок; д – модульна; 1 - розподільний пристрій НН ЦТП; 2 – магістралі; 3 - силова розподільна шафа; 4 - електроприймачі.

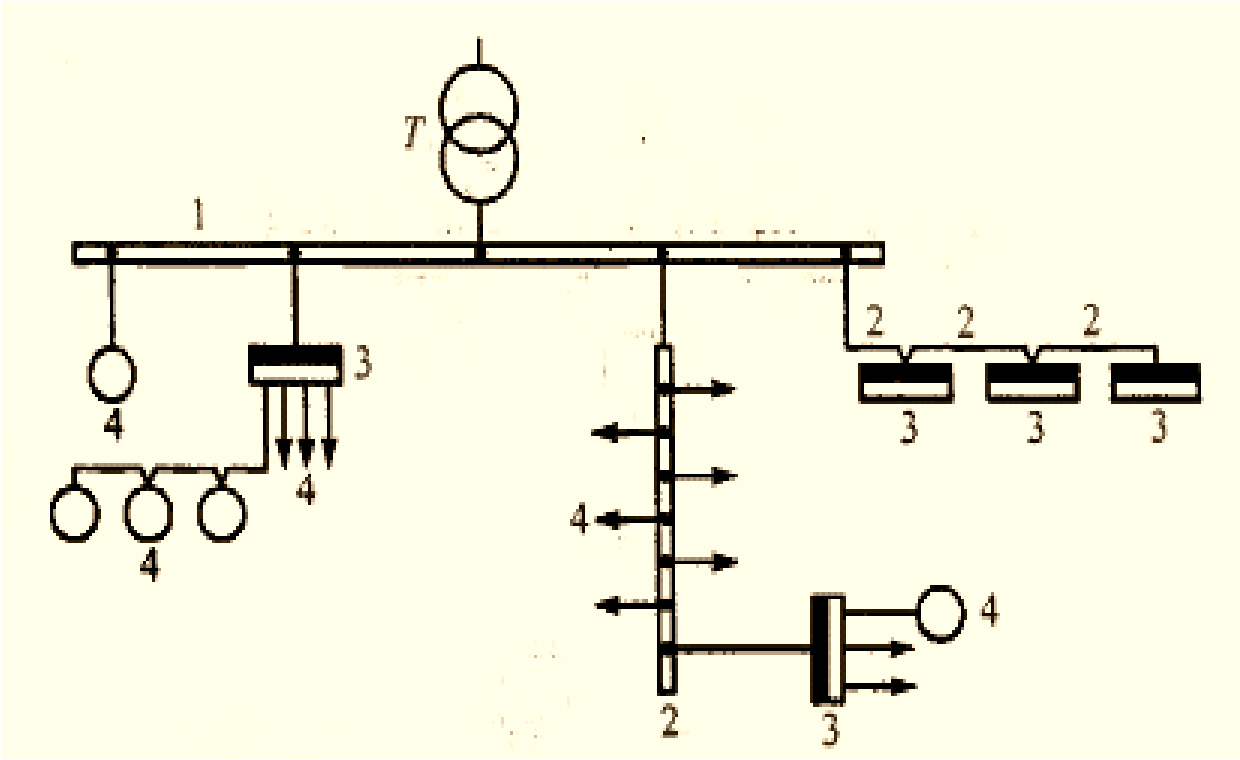


Рисунок 1.3 – Приклад змішаної схеми: 1 - розподільний пристрій НН ЦТП; 2 – магістралі; 3 - силова розподільна шафа; 4 - електроприймачі.

На основі аналізу розміщення технологічного обладнання (рисунок 1.4), зважаючи на необхідність забезпечення надійності електропостачання, зручності експлуатації, капітальні затрати і втрати напруги, обираємо радіальну схему цехової електричної мережі.

Висновки по другому розділу

В даному розділі було обрана схема цехової силової мережі. Цех відноситься до II категорії надійності елетропостачання, в якості напруги живлення ЦТП обрана напруга 10 кВ, а живлення електроприймачів цеху буде здійснюватися напругою 380 В.

3 ВИБІР ЕЛЕМЕНТІВ ТА ХАРАКТЕРИСТИК ЦЕХОВОЇ МЕРЕЖІ

3.1 Вибір цехової трансформаторної підстанції

3.1.1 Вибір силового трансформатора цехової ТП

Номінальна потужність трансформатора визначається за виразом:

$$S_{н.тр} = \frac{P_{розр}}{n \cdot \beta_т \cdot \cos\varphi} \qquad (3.1)$$

де $S_{н.тр}$ – номінальна потужність трансформатора, кВА; $P_{розр}$ – розрахункова максимальна потужність цеху, кВт; $\beta_т$ – коефіцієнт завантаження трансформатора; n – кількість трансформаторів

Враховуючи, що $S_р$ = 147,2 кВт, та рекомендований коефіцієнт завантаження $\beta_т$ = 0,8, розрахуємо потужність трансформаторів:

$$S_{н.тр} = \frac{147,2}{2 \cdot 0,8 \cdot 0,92} = 100,1 \quad кВА$$

Приймаємо до установки два трансформатори марки ТМ 100/10. Довідникові параметри обраного трансформатора заносимо до таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Характеристика трансформатора

Тип трансформатора	$S_{ном}$, кВА	Напруга, кВ		Втрати, кВт		$I_{КЗ}$, %	$U_{КЗ}$, %
		ВН	НН	P_{XX}	$P_{КЗ}$		
$ТМ-100/10$	100	10	0,4	0,31	1,97	2,6	4,5

Обрані трансформатори перевіряємо за коефіцієнтом завантаження в нормальному та аварійному режимах і порівнюємо з припустимими:

$$K_{зав.нр} = \frac{S_р}{2 \cdot S_{нтр}} \le 0,5 \div 0,9 \qquad (3.2)$$

де $K_{зав.нр}$ – коефіцієнт завантаження.

$$K_{зав.нр} = \frac{167,3}{2 \cdot 100} = 0,8$$

$$K_{зав.ав.р} = \frac{S_p}{S_{нтр}} \leq 1,4 \div 1,6 \qquad (3.2)$$

де $K_{зав.ав.р}$ – коефіцієнт завантаження.

$$K_{зав.ав.р} = \frac{167,3}{100} = 1,6$$

Обидві умови виконуються.

Таким чином для живлення токарного цеху вибираю два трифазних масляних двообмоткових трансформатори загального призначення для комплектних трансформаторних підстанцій ТМ-100/10 з номінальною потужністю $S_{ном} = 100$ *кВА* і вищою напругою 10*кВ*.

3.1.2 Вибір високовольтних вимикачів і перерізу кабелю

Вимикачі в залежності від застосованих в їх середовищ для гасіння дуги та ізолюючи середовищ розподіляють на масляні, повітряні, елегазові, вакуумні та вимикачі з магнітним гасінням дуги.

В мережах 6 – 20 кВ застосовують малооб'ємні масляні вимикачі, вимикачі з магнітним гасінням дуги або вакуумні.

На лінії напругою 10 кВ, що живить ЦТП, необхідно вибрати та перевірити вимикач.

Вимикач обирається по номінальній напрузі, струму, типу, роду установки і перевіряється по електродинамічній, термічній стійкості і здібності відключати в режимі КЗ.

Проведемо вибір високовольтного вимикача за номінальною напругою і розрахунковим струмом нормального та після аварійного режимів.

$$U_{ном.в} \geq U_{max} \tag{3.8}$$

$$I_{ном.в} \geq I_{max} \tag{3.9}$$

Визначимо струми для нормального і після аварійного режимів на лініі підприємства для токарного цеху напругою 10 кВ і 0,4кВ:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} \tag{3.10}$$

$$I_{max} = 2 \cdot I_p \tag{3.11}$$

$$I_{p10} = \frac{167,3}{\sqrt{3} \cdot 10} = 9,7 \quad A \qquad I_{max10} = 2 \cdot 9,7 = 19,4 \quad A$$

Для установки на стороні 10 кВ, вибираю елегелевий вимикач типу FPX121604 з $I_{ном}$ = 400 А та повним часом відключення вимикача 70 мс.

Перевіримо вибраний вимикач за умовою:

$$I_{доп} \geq I_{max} \tag{3.12}$$

$$400 \geq 19,4$$

Для вибору перерізу кабелю, який живить ЦТП з трансформатором 10/0,4 кВ, як струм нормального режиму $I_{норм}$ при радіальній схемі, незалежно від числа трансформаторіївЦТП, приймається номінальний первинний струм трансформатора, який визначається за паспортними даними трансформатора або за формулою:

$$I_{норм} = I_{ном.Т1} = \frac{S_{нтр}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном.Т1}} \tag{3.13}$$

де $S_{нтр}$ – номінальна потужність трансформатора, кВА; $U_{ном.Т1}$ – номінальна напруга первинної обмотки трансформатора, кВ.

$$I_{норм} = I_{ном.Т1} = \frac{160}{\sqrt{3} \cdot 10} = 9,2 \quad A$$

Економічно вигідний переріз кабелю вибираємо за економічною щільністю струму:

$$S_{ек} = \frac{I_{норм}}{J_{ек}} \qquad (3.14)$$

де $I_{норм}$ – струм нормального режиму, А; $J_{ек}$ – економічна щільність струму, для ізольованих провідників з паперовою ізоляцією $J_{ек} = 1,2$ при $T_м > 5000$ год.

$$S_{ек} = \frac{9,2}{1,2} = 7,7 \quad мм^2$$

Розрахунковий економічно вигідний переріз кабелю $S_{ек}$ округляємо до найближчого стандартного перерізу $S_{ст}$. З таблиці 1.3.13 ПУЕ вибираю кабель з алюмінієвими жилами з паперовою просоченою ізоляцією в алюмінієвій оболонці типу ААШв–10(3х16), прокладений в землі з $I_{доп} = 75$ А.

Перевіримо переріз кабелю у режимі максимального навантаженя. Струм для даного перерізу кабелю буде визначатися за формулою [8]:

$$I'_{доп} = K_{сер} \cdot K_{пр} \cdot I_{доп} \qquad (3.15)$$

де $K_{сер}$ – поправковий коефіцієнт на температуру навколишнього середовища;

$K_{пр}$ – поправковий коефіцієнт на прокладання кабелю приймаємо $K_{пр} = 1$.

$$I'_{доп} = 0,94 \cdot 1 \cdot 75 = 70,5 \quad A$$

Умова перевірки кабелю $I'_{доп} \geq I_{розр}$ $9,2 < 70,5$ виконується.

Результати розрахунків заносимо до таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Комутаційно-захисна апаратура провідників цехової мережі

Лінія	$S_{роз.}$, *кВА*	$I_{роз.}$, *А*	I_{max}, *А*	$S_{ек}$, $мм^2$	Марка проводу	$I_{доп.}$, *А*	Марка вимикача
ГПП – ЦТП	167,3	9,7	19,4	16	ААШв–10(3х16)	75	FPX121604

3.1.3 Вибір розподільчого пристрою НН цехової ТП

Розподільний пристрій НН КТП складається з стандартних силових шаф: ШНВ та ШНЛ. У ШНВ обов'язково є автомат вводу та лінійні автомати, а для відгалужувальних ліній у ШНЛ встановлюються лінійні автомати. Крім того у шафах встановлюються ТС, вимірювальні прилади [5].

Проведемо вибір ввідного автомата за номінальною напругою та розрахунковим струмом нормального та після аварійного режимів за формулами (3.8, 3.9).

Визначимо струми для нормального і після аварійного режимів на лінії 0,4кВ за формулами (3.10), (3.11):

$$I_{p0,4} = \frac{167,3}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 254,5 \quad A \qquad I_{max0,4} = 2 \cdot 254,5 = 509 \quad A$$

Для установки на стороні 0,4 кВ вибираю автоматичний вимикач типу ВА52-39 в якого $I_{ном} = 630$ А.

Перевіримо вибраний автомат за формулою (3.12):

$$630 \geq 509$$

Вибраний автомат відповідає умові.

Проведемо розрахунок та вибір лінійних автоматів, які захищають живільні лінії до СРШ1, СРШ2 ,СРШ3 та СРШ4.

Лінія до СРШ1:

Розрахунковий максимальний струм:

$$I_{м} = \frac{S_{м}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} \qquad (3.16)$$

де $S_м$ – розрахункова максимальна потужність $(\text{табл. } 2.2)$, *кВА*

$$I_{м} = \frac{40,7}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 61,9 \quad A$$

- Найбільший пусковий струм:

$$I_{п.max} = 5 \cdot I_{н.max} \tag{3.17}$$

де $I_{н.тах}$ – номінальний струм ЕП, пусковий струм якого найбільший.

$$I_{н.max} = \frac{P_{вст.max}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot \cos\varphi} \tag{3.18}$$

$$I_{н.max} = \frac{18}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,5} = 54,8 \quad A$$

$$I_{п.макс} = 5 \cdot 54,8 = 274 \quad A$$

- Піковий струм лінії СРШ1:

$$I_{п} \approx I_{м} + I_{п.макс} \tag{3.19}$$

$$I_{п} = 54,8 + 274 = 328,8 \quad A$$

Вибираємо автоматичний вимикач ВА52-39 з номінальним струмом $I_{ном}$ = 630 А і номінальним струмом розчеплювача $I_{н.розч}$ = 400 А. Для ВА52-39 струм спрацювання миттєвого розчеплювача 45 кА

Лінія до СРШ2:

- Розрахунковий максимальний струм за формулою (3.16):

$$I_{м} = \frac{34,5}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 52,5 \quad A$$

- Найбільший пусковий струм за формулами (3.17), (3.18):

$$I_{н.max} = \frac{18}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,65} = 42,1 \quad A$$

$$I_{п.max} = 5 \cdot 42,1 = 210,5 \quad A$$

- Піковий струм лінії СРШ2 за формулою (3.19):

$$I_{п} = 52,5 + 210,5 = 263 \quad A$$

- Вибираємо автоматичний вимикач ВА52-39 з номінальним струмом $I_{ном}$ = 630 А і номінальним струмом розчеплювача $I_{н.розч}$ = 320 А. Для ВА52-39 струм спрацювання миттєвого розчеплювача 45 кА.

Лінія до СРШ3:

- Розрахунковий максимальний струм за формулою (3.16):

$$I_{м} = \frac{35,8}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 54,5 \quad A$$

- Найбільший пусковий струм за формулами (3.17), (3.18):

$$I_{н.max} = \frac{18}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,65} = 42,1 \quad A$$

$$I_{п.max} = 5 \cdot 42,1 = 210 \quad A$$

- Піковий струм лінії СРШ3 за формулою (3.19):

$$I_{п} = 54,5 + 210 = 264,5 \quad A$$

- Вибираємо автоматичний вимикач ВА52-35 з номінальним струмом $I_{ном}$ = 250 А і номінальним струмом розчеплювача $I_{н.розч}$ = 320 А. Для ВА52-35 струм спрацювання миттєвого розчеплювача 45 кА.

Лінія до СРШ4:

- Розрахунковий максимальний струм за формулою (3.16):

$$I_{м} = \frac{36,2}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 55,1 \quad A$$

- Найбільший пусковий струм за формулами (3.17), (3.18):

$$I_{н.max} = \frac{14}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,65} = 32,8 \quad A$$

$$I_{п.max} = 5 \cdot 32{,}8 = 164 \quad A$$

- Піковий струм лінії СРШ4 за формулою (3.19):

$$I_{п} = 55{,}1 + 164 = 219{,}1 \quad A$$

Вибираємо автоматичний вимикач ВА52-39 з номінальним струмом $I_{ном}$ = 630 А і номінальним струмом розчеплювача $I_{н.розч}$ = 250 А.

Для ВА52-39 струм спрацювання миттєвого розчеплювача 45 кА.

Отримані результати заносимо до таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Результат вибору автоматів розподільчого пристрою НН КТП

Живильна лінія	Тип апарата	$U_{ном}$, В	$I_{ном.в}$, А	$I_{н.розч}$, А	$I_{н.відк}$, кА
до ШНВ	ВА52-39	660	630	630	45
до СРШ1	ВА52-39	660	630	400	45
до СРШ2	ВА52-39	660	320	320	45
до СРШ3	ВА52-35	660	320	320	45
до СРШ4	ВА52-35	660	250	250	45

3.2 Вибів перерізу провідників живильної мережі

В електричнич мережах напругою до 1 кВ переріз живильної мережі в основному вибирають за умовами нагрівання або за економічною щільністю струму лише в разі досить великої кількості годин використання максимуму навантаження (понад 4000 – 5000 год), яка в цехових електричних мережах буває досить рідко [6].

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

$$I'_{доп} \geq I_{розр} \qquad (3.20)$$

Допустимий тривалий струм для кабелів зврахуванням умов прокладання та відхилення параметрів навколишнього середовища від стандартних умов при їх довготривалому характері визначається з урахуваннямпоправкового коефіцієнта $K_{попр}$ так:

$$I'_{доп} = K_{сер} \cdot K_{пр} \cdot K_{попр} \cdot I_{доп} \qquad (3.21)$$

де $K_{сер}$ –поправковий коефіцієнт на температуру навколишнього середовища;
$K_{пр}$ – поправковий коефіцієнт на прокладання кабелю приймаємо $K_{пр} =$ 1;
$K_{попр}$ – поправковий коефіцієнт вводиться при визначенні для чотирижильних кабелів з пласмасовою ізоляцієюдо 1 кВ, якщо допустимі тривалі струми взяті з таблиці 1.3.7 ПУЕ як для трижильних кабелів.

Розрахунковий струм для лінії, яка живить СРШ1 $I_{м1}$ = 61,9 А. З таблиці 1.3.7 ПУЕ вибираємо трижильний кабель при прокладанні в повітрі із стандартним перерізом $S_{ст}$ = 25 мм^2 допустимий струм $I_{доп}$ = 75 А. За формулою (3.21)

$$I'_{доп} = 0,94 \cdot 1 \cdot 0,92 \cdot 75 = 64,9 \ \ A$$

$$I'_{доп} = 64,9 \text{ А} > I_{м1} = 61,9 \text{ А}$$

Умова виконується, тому вибираємо кабель для живлення СРШ1 марки АВВГ 4х25 Ск.

Розрахунковий струм для лінії, яка живить СРШ2 $I_{м2}$ = 52,5 А. За таблицею 1.3.7 ПУЕ вибираємо трижильний кабель при прокладанні в повітрі із стандартним перерізом $S_{ст}$ = 16 мм^2 допустимий струм $I_{доп}$ = 60 А. За формулою (3.21)

$$I'_{доп} = 0,94 \cdot 1 \cdot 0,92 \cdot 60 = 51,9 \text{ А}$$

$$I'_{доп} = 51,9 \text{ А} < I_{м2} = 52,5 \text{ А}$$

Умова не виконується, тому вибираємо найближчий більший стандартний переріз струмопровідної жили $S_{ст} = 25$ мм^2 з допустимим струмом $I_{доп} = 75$ А, та перевіряємо за формулою (3.21):

$$I'_{доп} = 0{,}94 \cdot 1 \cdot 0{,}92 \cdot 75 = 64{,}9 \text{ А}$$

$$I'_{доп} = 64{,}9 \text{ А} > I_{м2} = 52{,}5 \text{ А}$$

Умова виконується. Вибираю кабель для живлення СРШ2 марки АВВГ 4х25 Ск.

Для СРШ3 $I_{м3} = 54{,}5$ А. За таблицею 1.3.7 ПУЕ вибираємо трижильний кабель при прокладанні в повітрі із стандартним перерізом $S_{ст} = 16$ мм^2 допустимий струм $I_{доп} = 60$ А. За формулою (3.21)

$$I'_{доп} = 0{,}94 \cdot 1 \cdot 0{,}92 \cdot 60 = 51{,}9 \text{ А}$$

$$I'_{доп} = 51{,}9 \text{ А} < I_{м3} = 54{,}5 \text{ А}$$

Умова не виконується, тому вибираємо найближчий більший стандартний переріз струмопровідної жили $S_{ст} = 25$ мм^2 з допустимим струмом $I_{доп} = 75$ А, та перевіряємо за формулою (3.21):

$$I'_{доп} = 0{,}94 \cdot 1 \cdot 0{,}92 \cdot 75 = 64{,}9 \text{ А}$$

$$I'_{доп} = 64{,}9 \text{ А} > I_{м3} = 54{,}5 \text{ А}$$

Умова виконується. Вибираю кабель для живлення СРШ3 марки АВВГ 4х25 Ск.

Для СРШ4 $I_{м4} = 55{,}1$ А. За таблицею 1.3.7 ПУЕ вибираємо трижильний кабель при прокладанні в повітрі із стандартним перерізом $S_{ст} = 16$ мм^2 допустимий струм $I_{доп} = 60$ А. За формулою (3.21)

$$I'_{доп} = 0{,}94 \cdot 1 \cdot 0{,}92 \cdot 60 = 51{,}9 \text{ А}$$

$$I'_{доп} = 51{,}9 \text{ А} < I_{м3} = 55{,}1 \text{ А}$$

Умова не виконується, тому вибираємо найближчий більший стандартний переріз струмопровідної жили $S_{ст} = 25$ мм^2 з допустимим струмом $I_{доп} = 75$ А, та перевіряємо за формулою (3.21):

$$I'_{доп} = 0{,}94 \cdot 1 \cdot 0{,}92 \cdot 75 = 64{,}9 \text{ А}$$

$$I'_{доп} = 64{,}9 \text{ А} > I_{м3} = 55{,}1 \text{ А}$$

Умова виконується. Вибираю кабель для живлення СРШ4 марки АВВГ 4х25 Ск.

Результати заносимо до таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 –Вибір перерізу кабелів живильної мережі

Кабель до ПРЕ	$S_{ст}$, мм^2	$I'_{доп}$, А	$I_м$, А	Тип кабелю
до СРШ1	25	64,9	61,9	АВВГ 4х25 Ск
до СРШ2	25	64,9	52,5	АВВГ 4х25 Ск
до СРШ3	25	64,9	54,5	АВВГ 4х25 Ск
до СРШ4	25	64,9	55,1	АВВГ 4х25 Ск

3.3 Компенсація реактивної потужності

3.3.1 Загальні відомості про реактивну потужність

Реактивна потужність залежить від параметрів, схеми та режиму роботи електричної мережі, спричиняє додаткові втрати активної електроенергії та показників якості електроенергії [13].

Існують нормативні показники, які характеризують реактивну потужність – коефіцієнт потужності і коефіцієнт реактивної потужності $\cos\varphi$ і $tg\varphi$ відповідно:

$$\cos\varphi = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} \tag{3.22}$$

Таблиця 3.5 – Значення коефіцієнта потужності з і без компенсації

$cos\varphi$ без компенсації	$cos\varphi$ з компенсацією	Зниження величини струму і повної потужності, %	Зниження величини теплових втрат, %
0,5	0,9	44	69
0,5	1,0	50	75
0,6	0,9	33	55
0,6	1,0	40	64
0,7	0,9	22	39
0,7	1,0	30	51
0,8	1,0	20	36

Таким чином, видно, що при відсутності компенсації реактивної потужності (КРП) споживач переплачує за споживання реактивної енергії 30–40% загальної вартості [10].

При передачі активної P і реактивної Q потужностей через елемент мережі з опором R втрати активної потужності складуть:

$$\Delta P = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} R = \frac{P^2}{U^2} R + \frac{Q^2}{U^2} R = \Delta P_a + \Delta P_p \qquad (3.23)$$

Втрати напруги складуть:

$$\Delta U = \frac{PR + QX}{U} = \frac{PR}{U} + \frac{QX}{U} = \Delta U_a + \Delta U_p \qquad (3.24)$$

де ΔU_a – втрати напруги, обумовлені активною потужністю;
ΔU_p – втрати напруги, обумовлені реактивною потужністю.

Найбільш доцільним є таке розміщення компенсуючих пристроїв, при якому забезпечується мінімум річних витрат $[3]$. При визначенні витрат варто враховувати, що, з одного боку, установка компенсуючого пристрою $(КП)$, збільшує річні витрати за рахунок капіталовкладень у цей пристрій і вартості втрат у ньому, а з іншого боку – річні витрати зменшуються за рахунок зниження втрат у всьому ланцюзі електропостачання від джерела живлення до місця установки КП.

3.3.2. Розрахунок компенсації реактивної потужності

Для компенсації реактивної потужності визначимо необхідну потужність конденсаторних батарей:

Перевіряємо мінімально необхідне число трансформаторів в цеховій ТП:

$$N_0 = \frac{P_{p\Sigma}}{\beta_{н.тр} \cdot S_{н.тр}} \qquad (3.25)$$

$P_{p\Sigma}$ – сумарна середня активна потужність, споживана в найбільш завантажену зміну в мережах напругою до 1000 В, кВт; $\beta_{н.тр}$ – нормативний коефіцієнт завантаження трансформаторів; $S_{н.тр}$ – номінальна потужність одного трансформатора, кВА, яка вибирається залежно від густини навантаження в цеху.

$$N_0 = \frac{147,2}{0,8 \cdot 100} = 1,84$$

вибираємо $N_0 = 2$.

Оскільки в більшості випадків $S_{нтр} > S_р$, то через вибраний трансформатор 10/0,4 кВ доцільно передавати реактивну потужність від її джерел 6–10 кВ у мережу до 1 кВ для забезпечення бажаного коефіцієнта завантаження $\beta_{н.тр} = 0,8$. Ця реактивна потужність визначається як [12]:

$$Q_т = \sqrt{\left(N_{о\cdot} \cdot \beta_{н.тр} \cdot S_{н.тр}\right)^2 - P_{p\Sigma}^2} \qquad (3.26)$$

$$Q_т = \sqrt{\left(2 \cdot 0,8 \cdot 100\right)^2 - 147,2^2} = 62,7 \quad кВАр$$

Потужність НК з номінальною напругою 0,4 кВ визначається:

$$Q_{нк} = Q_{p\Sigma} - Q_т \qquad (3.27)$$

$$Q_{нк} = 79,5 - 62,7 = 16,8 \quad кВАр$$

Таким чином для компенсації реактивної потужності вибираємо дві стандартні ККУ типу УКР-0,4-12,5/3-2,5-21УЗ з номінальною потужністю 12,5кВАр та ступенем регулювання – 3.

3.4. Вибір схеми і конструктивного виконання цехової мережі

На основі аналізу розміщення технологічного обладнання токарного цеху вибиремо радіальну схему цехової мережі.

Живлення цеху буде здійснюватись двома лініями 10 кВ. В якості ЦТП обрано дві комплектних ТП внутрішньої установки. Вибрана КТП складається з трьох основних вузлів: ввідного пристрою СН (шафа вводу 10 кВ), в яку встановлений елегазовий вимикач FPX121604; силового трансформатора типу ТМ-160/6-10 і розподільного пристрою НН. Розподільний пристрій НН КТП складається з стандартних силових шаф: ШНВ та ШНЛ. Шафа обліку електроенергії кріпиться до шафи вводуНН [15].

Також в приміщенні ЦТП буде встановлено ККУ, яка приєднується до шин розподільчого пристрою НН цехової підстанції. Підключення до шин здійснюється автоматичним вимикачем ВА52-35.

В ШНВ встановлений автоматичний вимикач типу ВА52-39. В ШНЛ встановлені лінійні автоматичні вимикачі: ВА52-39 – 2 шт, ВА52-35 – 1шт.

Комутація електричного обладнання КТП здійснюється збірними шинами типу ШРА4-630-32.

Від ШНЛ через кабелі здійснюється живлення чотирьох СРШ, від яких здійснюється живлення електричного обладнання цеху.

До СРШ1 підлючено 7 споживачів електричної енергії загальною потужністю 40,7 кВА.

До СРШ2 підлючено 8 споживачів електричної енергії загальною потужністю 34,5 кВА.

До СРШ3 підлючено 8 споживачів електричної енергії загальною потужністю 35,8 кВА.

До СРШ4 підлючено 7 споживачів електричної енергії загальною потужністю 36,2 кВА.

В якості лічильника обираємо трифазний багатотарифний лічильник активної і реактивної енергії для трифазних промислових споживачів ZMG 410 (405) CR 44 0007 (3×57-415V, 5(10)A). Двонаправлений облік активної і реактивної енергії клас точності 1,0 (чи 0,5).

Структурну схему електропостачання цеха з розрахованими елементами захисту та вибраними провідниками зображено на рисунку 3.1.

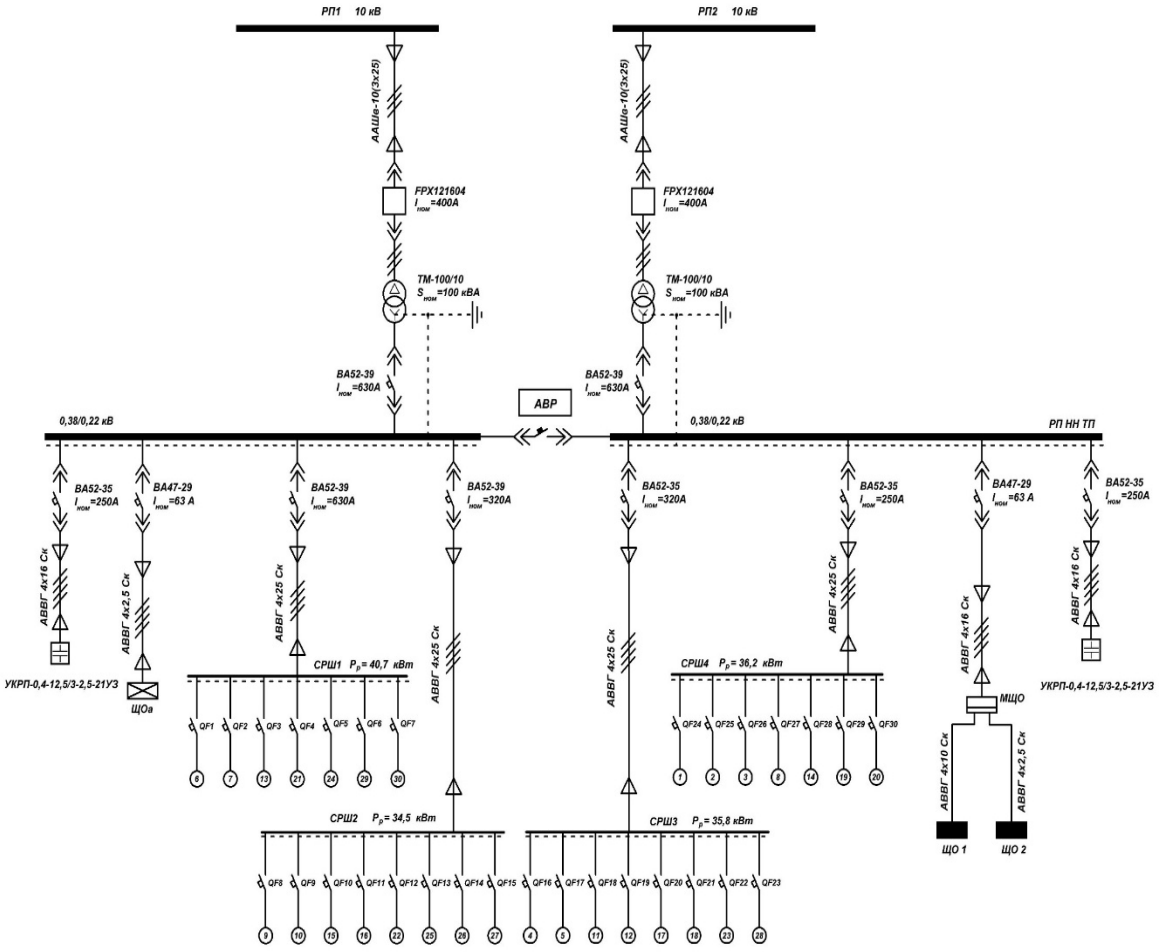


Рисунок 3.1 – Схема електропостачання цеху

Висновки за розділом

Таким чином, в розділі було розраховано та обрано силовий трансформатор ТМ – 100/10 з номінальною потужністю $S_н$ = 100 кВА.

Виходячи з категорії надійності електропостачання електроспоживачів цеху було обрано для установки два трансформатори.

Також проведено розрахунок автоматичних вимикачів для СРШ та електричних кабелів для живлення електроспоживачів токарного цеху. Для компенсації реактивної потужності обрано дві комплектні конденсаторні установки типу УКР-0,4-12,5/3-2,5-21УЗ з номінальною потужністю 12,5кВАр та ступенем регулювання – 3.

Головним результатом розрахунків є розроблення схеми електропостачання, яка забезпечує як одночасне так і почергове включення електроспоживачів, надійне постачання їх електроенергією, а також облік споживаної електроенергії.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В ході виконання кваліфікаційної роботи було проведено аналіз складу електрообладнання токарного цеху машинобудівельного заводу.

Виходячи з другої категорії надійності електропостачання визначено, що живлення споживачів цеху буде здійснюватися від двохтрансформаторної підстанції, яка отримує живлення від двох незалежних кабельних ліній 10 кВ.

В ході проведення розрахунків електричних навантажень цеху встановлено, що загальна величина електричного навантаження токарного цеху з урахуванням втрат в трансформаторах складає 167,3 кВА. З врахуванням цього до установки в понижувальній підстанції вибрано два силових трансформатори ТМ – 100/10, номінальною потужністю $S_{ном}$ = 100 кВА. Обрано найбільш надійний варіант перерізу проводів і кабелів живлячих і розподільних ліній.

Для компенсації реактивної потужності було розраховано та вибрано комплектну конденсаторну установку УКР-0,4-12,5/3-2,5-5УЗ з номінальною потужністю 12,5кВАр та ступенем регулювання – 3, за допомогою якої значно підвищився $cos\varphi$.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Улаштування електроустановок./ Наказ Міненерговугілля України від 21.07.2017 № 476

2. Ю.Ф. Романюк. Електричні мережі та системи. Навчальний підручник. – Київ: “Знання”, 2007. – 292 с.

3. Лисяк В.Г. Оптимальні режими вузлів навантаження електропостачальних систем. Навчальний посібник,–Львів: “ННІ” 2007. – 251 с.

4. П.М. Монтік Електротехніка та електромеханіка. Навчальний посібник – Львів: “Новий Світ”, 2011. – 487 с.

5. Електричні мережі та системи.: Навч. посібник для студ. електроенерг. спец. / М. С. Сегеда; Державний ун-т "Львівська політехніка". - Л.: Каменяр, 1999. - 296 с. - Бібліогр.: с.292-296. - ISBN 5-7745-0766-1

6. Методичні вказівки до курсового проекту з дисципліни "Проектування електричних систем": для студ. спец. 7.090602 "Електричні системи і мережі" / Вінницький держ. технічний ун-т; уклад. Ж. І. Остапчук. - Вінниця: [б.в.], 1998. - 46 с.

7. Автоматика електроенергетичних систем. Практикум з дисципліни "Релейний захист та системна автоматика": Навч. посіб. для студ. спец. "Електричні мережі та системи"/О. Є. Рубаненко; Вінницький держ. технічний ун-т. - Вінниця: ВДТУ, 1999. - 63 с.

8. Релейний захист та автоматика в електроенергетиці: Навч. посіб. для студ. спец. "Электрична частина електричних станцій", "Електричні мережі та системи", "Електротехнічні системи та системи електроспоживання" / В. М. Кутін [та ін]; Вінницький держ. технічний ун-т. - Вінниця: ВДТУ, 2001. - 104 с.

9. Методичні вказівки до вибору схем розподільних пристроїв підстанцій напругою 35-750 кВ з курсу "Електричні системи та мережі" для студентів спеціальності "Електричні системи та мережі"/ Національний технічний ун-т "Харківський політехнічний ін-т"; уклад. В. П. Волков. - Х.: НТУ "ХПІ", 2001. - 19 с.

10. Конструкції повітряних ліній електропередачі. Курсове проектування: навч. посібник для студ. спец. 7.090602 "Електричні системи і мережі" / М. О. Головатюк; Вінницький держ. технічний ун-т. - Вінниця: ВДТУ, 2001. - 107 с.: рис. - Бібліогр.: с. 106-107

11. Експлуатація повітряних ліній електропередачі: навч. посіб. для студ. спец. 7.090602 "Електричні системи і мережі" / М. О. Головатюк; Вінницький держ. технічний ун-т. - Вінниця: ВДТУ, 2001. - 129 с.: рис. - Бібліогр.: с. 129

12. Електромонтажні роботи. Електричні мережі до 1000 В: Навч. посібник для студ. електротехн. спец. з дисципліни "Робоча професія" / О. Д. Демов [і др.]; Вінницький держ. технічний ун-т. - Вінниця: ВДТУ, 2002. - 55 с.

13. Електричні системи та мережі [Текст]: методичні вказівки до виконання курсового проекту для студ. спец. 7.090603 "Електротехнічні системи електроспоживання" денної та заоч. форм навчання / Національний ун-т харчових технологій; уклад. С. Є. Вакуленко. - К.: НУХТ, 2002. - 51 с.: рис. - Бібліогр.: с. 51-52

14. Розрахунки електричних мереж при їх проектуванні: навч. посібник для студ. спец. 7.090601 - "Електричні станції, 7.090602 - "Елетричні системи і мережі" / Ю. В. Лук'яненко [та др.]; Вінницький держ. технічний ун-т. - Вінниця: ВДТУ, 2002. - 111 с.: рис. - Бібліогр.: с.111.

15. Денисюк А.Ю., Хливнюк М.Г., Шестак І.М. Комп‘ютерна електроніка: Навч. Посіб. - Житомир: ЖВІ, 2017. - с. 33-44.

16. Електричні мережі систем електропостачання [Текст] : навч. посібник для студ. вищих навч. закл. / Г. Г. Півняк [та ін.]; ред. Г. Г. Півняк; Національний гірничий ун-т. - Д.: НГУ, 2003. - 316 с.: рис. - Бібліогр.: с. 311. - ISBN 966-8271-45-9