

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна
Навчально-науковий інститут «Українська інженерно-педагогічна академія»
Кафедра електротехніки та електроенергетики

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

бакалавра

на тему:

ПРОЄКТУВАННЯ СЕП ВУЗЛА НАВАНТАЖЕННЯ ЦЕХУ
МЕТАЛООБРОБНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ
(тема кваліфікаційної роботи)

Виконав: студент 4 курсу, групи ДЕА-Е21

Спеціальності: 141 Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка

_____/ Євген ЛОСЕНКО
(підпис) (ім'я та прізвище)

Керівник _____/ Павло БУДАНОВ
(підпис) (ім'я та прізвище)

Рецензент _____/ Олег КОНДРАТЮК
(підпис) (ім'я та прізвище)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри _____/ Артем ЧЕРНЮК
(підпис) (ім'я та прізвище)

Секретар ЕК _____/ Ігор КИРИСОВ
(підпис) (ім'я та прізвище)

Харків – 2025 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Навчально-науковий інститут «Українська інженерно-педагогічна академія»

Кафедра Електротехніки та електроенергетики

Рівень вищої освіти бакалавр

Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Освітня програма Електричні станції, системи та мережі

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

А.М. Чернюк

підпис ініціали, прізвище

“ ____ ” _____ 2025 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЄКТ)

Лосенко Євгену Валерійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові студента)

1. Тема роботи "Проєктування СЕП вузла навантаження цеху металообробної промисловості"

керівник роботи Буданов Павло Феофанович, к.т.н., доцент,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від “11”_квітня 2025 року №4801-5/925

2. Строк подання студентом роботи 19.06.2025

3. Перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналіз вихідних даних та обґрунтування проєкту. 2. Розрахунок електричних навантажень. 3. Вибір та обґрунтування основного електрообладнання.

4. План роботи

№ з/п	Назви етапів роботи
1	Загальна характеристика технологічного процесу проектуваного об'єкта
2	Електричні розрахунки
2.1	Розрахунок електричних навантажень в мережі напругою <i>до 1 кВ</i>
2.2	Розрахунок потужності КП в мережі напругою <i>до 1 кВ</i>
2.3	Розміщення цехових трансформаторів на площі цеху
2.4	Вибір схеми внутрішньоцехової мережі напругою <i>до 1 кВ</i>
2.5	Вибір типу і параметрів комутаційно-захисних апаратів у внутрішньо цехових мережах (для одного з приєднань)

5. Дата видачі завдання 11.04.2025

Студент

підпис

Євген ЛОСЕНКО

ініціали, прізвище

Керівник роботи

підпис

Павло БУДАНОВ

ініціали, прізвище

ЗМІСТ

УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ.....	2
ВСТУП.....	3
1. Загальна характеристика технологічного процесу проектованого об'єкта.....	4
2. Електричні розрахунки.....	5
2.1 Розрахунок електричних навантажень в мережі напругою до 1 кВ	7
2.2 Розрахунок потужності КП в мережі напругою до 1 кВ.....	12
2.2.1 Визначення потужності компенсуючих пристроїв за умовою вибору оптимального числа цехових трансформаторів.....	13
2.2.2 Визначення додаткової потужності КП в мережі напругою до 1 кВ.....	17
2.3 Розміщення цехових трансформаторів на площі цеху.....	20
2.4 Вибір схеми внутрішньоцехової мережі напругою до 1 кВ.....	24
2.5 Вибір типу і параметрів комутаційно-захисних апаратів у внутрішньо цехових мережах (для одного з приєднань)	28
2.6 Вибір марки і перетину струмоведучих частин	35
2.7 Розрахунок струмів к.з. в мережі до 1 кВ. Перевірка апаратів і СВЧ на стійкість дії струмів короткого замикання	40
2.7.1 Розрахунок початкового значення періодичної складової струму трифазного короткого замикання.....	44
2.7.2 Розрахунок струмів однофазного короткого замикання в точці К-2.....	46
ВИСНОВОК.....	51
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	52

УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

ЕП	—	електроприймач
СЕП	—	система електропостачання
ТП	—	трансформаторна підстанція
КТП	—	комплектна трансформаторна підстанція
ПС	—	підстанція
ГЗП	—	головна знижувальна підстанція
ПГВ	—	підстанція глибокого вводу
КРП	—	компенсація реактивної потужності
ЯЕЕ	—	якість електричної енергії
ДЖ	—	джерело живлення
ККУ	—	комплектна конденсаторна установка
ДРП	—	джерело реактивної потужності
РП	—	реактивна потужність
КУ	—	конденсаторна установка

					ЕТ і ЕЕ 041.032.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

ВСТУП

Метою дипломного проєкту є розробка та оптимізація системи електропостачання (СЕП) вузла навантаження цеху металообробної промисловості. Проєкт передбачає комплексний підхід до проєктування, що охоплює аналіз існуючих умов, розрахунок електричних навантажень, вибір оптимального електрообладнання та розробку ефективних рішень для забезпечення надійності, економічності та безпеки електропостачання.

Для досягнення цієї мети будуть вирішені такі основні завдання:

- Аналіз вихідних даних та умов функціонування цеху металообробної промисловості, включаючи технологічні процеси, склад обладнання та вимоги до якості електроенергії.
- Розрахунок електричних навантажень вузла, враховуючи робочі режими обладнання, коефіцієнти попиту та одночасності.
- Вибір оптимальної схеми електропостачання, яка забезпечить необхідний рівень надійності та безперебійності роботи.
- Обґрунтування та вибір основного електрообладнання: трансформаторів, комутаційної апаратури, кабельних ліній та пристроїв захисту.
- Розробка заходів із забезпечення компенсації реактивної потужності для підвищення коефіцієнта потужності та зниження втрат електроенергії.
- Обґрунтування рішень щодо підвищення енергоефективності та зниження експлуатаційних витрат СЕП.
- Розробка заходів із забезпечення електробезпеки та відповідності проєкту чинним нормативним документам.

Цей дипломний проєкт дозволить набути практичних навичок у проєктуванні систем електропостачання та запропонувати конкретні технічні рішення для підвищення ефективності та надійності електропостачання на промислових об'єктах.

					ЕТ і ЕЕ 041.032.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

1.ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ПРОЕКТОВАНОГО ОБ'ЄКТА

Мета аналізу технологічного процесу та його особливостей полягає у визначенні потенційних збитків від перебоїв в електропостачанні проєктованого об'єкта.

Вплив на проєктування системи електропостачання

На основі величини цих збитків встановлюється категорія електроприймачів (ЕП) у цеху за рівнем безперебійності електропостачання. Це, в свою чергу, дозволяє прийняти ключові рішення щодо проєктування:

- Вибрати необхідну кількість джерел живлення.
- Визначити оптимальну схему живильних та розподільчих мереж.
- Вирішити питання щодо наявності або відсутності елементів мережевої автоматики.

					ЕТ і ЕЕ 041.032.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

2. ЕЛЕКТРИЧНІ РОЗРАХУНКИ

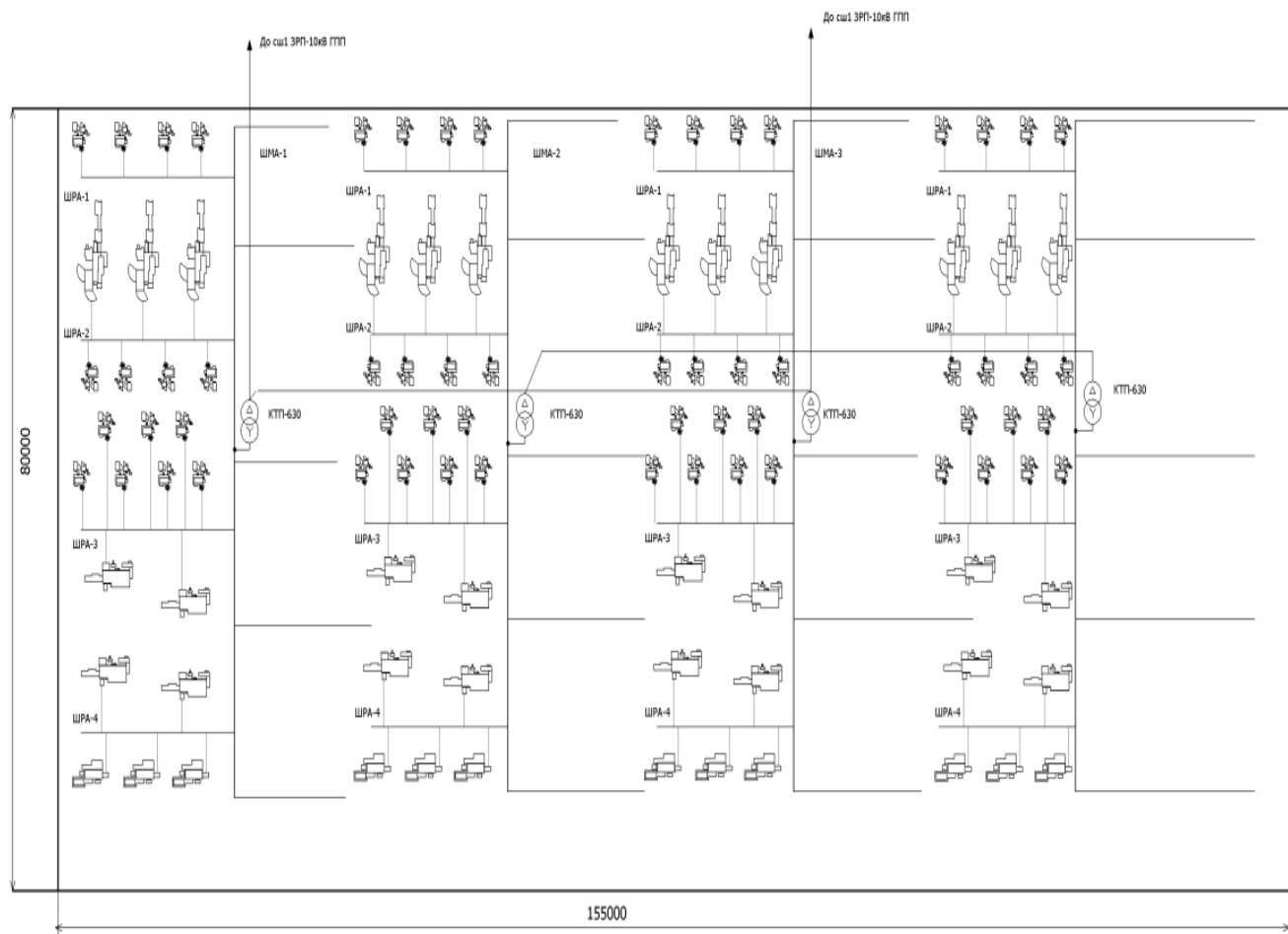


Рисунок 2.1 – План розташування цехового обладнання в цеху

Електричні навантаження — це показники потужності (активної P , кВт; реактивної Q , квар) або струму (I , А), які змінюються в часі за певною закономірністю.

Значення електричних навантажень у проєктуванні

Величини електричних навантажень є визначальними для вибору параметрів ключових елементів системи електропостачання (СЕП). Це включає:

- Визначення кількості та потужності силових трансформаторів на всіх етапах СЕП.
- Вибір параметрів різноманітних апаратів.
- Визначення перерізу струмопровідних частин.

Точність оцінки очікуваних електричних навантажень безпосередньо впливає на техніко-економічні показники СЕП, що проєктується. Як завищення, так і

					Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	

заниження цих навантажень призводить до погіршення техніко-економічних показників об'єкта.

Зважаючи на електричну віддаленість проєктованого вузла навантаження (яка визначається кількістю рівнів трансформації між цеховими трансформаторними підстанціями та основними джерелами живлення — шинами вторинної напруги 6 (10) кВ головної знижувальної підстанції (ГЗП) або підстанції глибокого вводу (ПГВ)), величину очікуваних електричних навантажень розраховують за методикою, наведеною у "Вказівках щодо розрахунку електричних навантажень".

У цьому розрахунку використовується метод упорядкованих діаграм, який наразі є основним при розробці технічних та робочих проєктів електропостачання. Згідно з цим методом, розрахункове активне навантаження приймачів електроенергії на всіх рівнях живильних і розподільчих мереж (включаючи трансформатори та перетворювачі) визначається на основі середнього навантаження та коефіцієнта розрахункового навантаження за відповідним виразом:

$$P_p = k_p \cdot \sum P_{cm} \quad (2.1)$$

Розрахунковий коефіцієнт навантаження (k_p) визначається за довідковими даними. Він є функцією ефективного числа електроприймачів (n_e) та групового коефіцієнта використання ($k_{u \text{ гр.взв}}$).

					ЕТ і ЕЕ 041.032.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

2.1. Розрахунок електричних навантажень в мережі напругою до 1 кВ (від силових і освітлювальних ЕП)

"Розрахунок детально описується в пояснювальній записці для однієї типової групи. Вихідні дані для розрахунку (графи 1-3 таблиці 3) заповнюються відповідно до вихідних вимог. У довідкових матеріалах (графи 5, 6 таблиці 3) наведені коефіцієнти використання та коефіцієнти активної потужності для типових груп електроприймачів. У графі 3 зазначаються мінімальна та максимальна встановлена одинична потужність електроприймачів цих груп. Для двигунів, що працюють у повторно-короткочасному режимі (ПКР), їх паспортна потужність перераховується до тривалого режиму (ПВ = 100%) за формулою:

$$P_{H_i} = P_{n_i} \cdot \sqrt{P_{B_i}}, \text{ кВт} \quad (2.2)$$

$$P_{H_i} = S_{H_i} \cdot \cos \varphi_i \cdot \sqrt{P_{B_i}}, \text{ кВт} \quad (2.3)$$

Дані графи 4 складаються: $\sum_i^m P_{H_i}, \text{ кВт}$

де m – число характерних груп ЕП.

Для кожної характерної групи ЕП визначається середнєзмінне навантаження за найбільш завантажену зміну по вираженню:

$$P_{cm_i} = P_{H_i} \cdot K_{H_i}, \text{ кВт} \quad (2.4)$$

$$Q_{cm_i} = P_{cm_i} \cdot \tan \varphi_i, \text{ квар} \quad (2.5)$$

де K_{H_i} – коефіцієнт використання i – той характерної групи ЕП;

$\tan \varphi_i$ - коефіцієнт реактивної потужності i – тої характерної групи ЕП, який відповідає коефіцієнту активної потужності.

Розрахунки по характерних групах заносяться в графи 7, 8 таблиці 3. Визначаються сумарні значення середнєзмінного навантаження за найбільш завантажену зміну по цеху:

$$\sum_i^m P_{cm_i} = \sum_i^m P_{H_i} K_{H_i}, \text{ кВт} \quad (2.6)$$

$$\sum_i^m Q_{cm_i} = \sum_i^m P_{cm_i} \tan \varphi_i, \text{ квар} \quad (2.7)$$

					ЕТ і ЕЕ 041.032.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Визначається середнє важений (груповий) коефіцієнт використання:

$$K_{u.гр.} = \frac{\sum_{i=1}^m P_{cm_i}}{\sum_{i=1}^m P_{n_i}} \quad (2.8)$$

Значення $K_{u.гр.}$ заноситься в графу 5 підсумкової строки таблиці 3.

На абсолютний максимум групового графіка навантаження, що є вихідною величиною для вибору параметрів елементів системи електропостачання (СЕП) за критерієм нагріву, впливає низка випадкових факторів, зокрема кількість електроприймачів (ЕП) у розрахунковому вузлі, їх номінальні потужності та режими роботи.

З метою спрощення методики визначення розрахункового максимуму навантаження вводиться поняття ефективного числа ЕП (N_{ef}). Під ефективним числом ЕП розуміється кількість однотипних за встановленою потужністю та режимом роботи електроприймачів, які генерують такий самий розрахунковий максимум навантаження, як і фактична кількість ЕП (N_d), що відрізняються за потужністю та режимом роботи.

Ефективне число ЕП для всього вузла навантаження (а не для кожної окремої групи ЕП) визначається за виразом:

$$n_{ef} = \frac{2 \sum_{i=1}^m P_{ni}}{P_{n \max}}, \quad (2.9)$$

де $P_{n \max}$ – одинична номінальна потужність найбільш потужного ЕП в розрахунковому вузлі.

Значення n_{ef} заноситься в графу 9 підсумкової строки табл. 2.3.

Визначення коефіцієнту розрахункового навантаження K_p .

					ЕТ і ЕЕ 041.032.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

На основі середньозваженого (групового) коефіцієнта використання (Кв.гр) та ефективного числа електроприймачів (пєф), використовуючи довідкові джерела, визначається коефіцієнт розрахункового навантаження (Кр).

Активне розрахункове максимальне навантаження – це незмінне у часі навантаження, еквівалентне реальному змінному навантаженню за найгіршою тепловою дією на елементи системи електропостачання (СЕП).

Активне розрахункове навантаження групи електроприймачів напругою до 1 кВ (визначається за довідковими даними) розраховується за формулою:

$$P_p = \kappa_p \cdot \sum_{i=1}^m P_{cmi}, \text{ кВт} \quad (2.10)$$

Враховуючи особливість споживання електроприймачами реактивної потужності, мало залежну від навантаження електроприймачів активною потужністю, приймаємо:

$$Q_p = \sum_{i=1}^m Q_{cmi}, \text{ квар} \quad (2.11)$$

Повне розрахункове навантаження, що формується силовими ЕП (графа 13 таблиці 3) визначається за виразом:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \text{ кВА} \quad (2.12)$$

Значення струмового розрахункового навантаження, по якому вибирають переріз СВЧ по умові нагріву, а також параметри апаратів визначається за виразом:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n}, \text{ А} \quad (2.13)$$

(графа 14 табл. 3)

де U_n – номінальна напруга в ділянці мережі, що розглядається, кВ

					ЕТ і ЕЕ 041.032.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Розрахунок електричних навантажень від силових електроприймачів

1. Згідно з вихідними даними електроприймачі цеху класифікують за характерними групами (з однаковим коефіцієнтом використання $K_{\text{в}}$ та коефіцієнтом активної потужності $\cos \varphi$).

2. Наводимо паспортні дані окремих груп ЕП, що працюють в ПКР (зварювальні машини шовного зварювання і підйомно-транспортне обладнання), до номінальної потужності в кВт):

$$P_{\text{н}} = 300 \cdot \sqrt{0,25} = 150, \text{ кВт}$$

$$P_{\text{н}} = 1830 \cdot \sqrt{0,4} = 1157,4, \text{ кВт}$$

та заносимо ці значення у відповідну колонку табл.2.1.

3. Підсумовуємо встановлені потужності вузла:

$$P_{\text{н}_{\Sigma}} = 120 + 650 + 160 + 1000 + 150 + 1157,39 + 247,5 + 1200 = 4684,89, \text{ кВт}$$

4. По кожній характерній групі ЕП визначаємо середньозмінні навантаження за найбільш завантажену зміну:

$$P_{\text{см}_1} = P_{\text{н}_1} \cdot K_{\text{н}_1} = 120 \cdot 0,22 = 24, \text{ кВт}$$

$$Q_{\text{см}_1} = P_{\text{см}_1} \cdot \text{tg} \varphi_1 = 24 \cdot 1,17 = 28,08, \text{ квар} \quad (21)$$

де $\text{tg} \varphi_1$ - відповідає середньому значенню для характерної групи ЕП. По інших групах розрахунки аналогічні, робимо їх і результати записуємо в таблицю 2.1.

$$P_{\text{см}_2} = P_{\text{н}_2} \cdot K_{\text{н}_2} = 650 \cdot 0,25 = 162,5, \text{ кВт}$$

$$P_{\text{см}_3} = P_{\text{н}_3} \cdot K_{\text{н}_3} = 160 \cdot 0,7 = 112, \text{ кВт}$$

$$P_{\text{см}_4} = P_{\text{н}_4} \cdot K_{\text{н}_4} = 1000 \cdot 0,7 = 700, \text{ кВт}$$

$$P_{\text{см}_5} = P_{\text{н}_5} \cdot K_{\text{н}_5} = 150 \cdot 0,18 = 27, \text{ кВт}$$

$$P_{\text{см}_6} = P_{\text{н}_6} \cdot K_{\text{н}_6} = 1157,39 \cdot 0,18 = 208,33, \text{ кВт}$$

$$P_{\text{см}_7} = P_{\text{н}_7} \cdot K_{\text{н}_7} = 247,5 \cdot 0,3 = 74,25, \text{ кВт}$$

$$P_{\text{см}_8} = P_{\text{н}_8} \cdot K_{\text{н}_8} = 1200 \cdot 0,6 = 720, \text{ кВт}$$

5. Підсумовуємо середньозмінні навантаження по вузлу:

$$P_{\text{см}_{\Sigma}} = 24 + 162,5 + 112 + 700 + 27 + 208,33 + 74,25 + 720 = 2028,08, \text{ кВт}$$

$$Q_{\text{см}_2} = P_{\text{см}_2} \cdot \text{tg} \varphi_2 = 162,5 \cdot 1,17 = 216,13, \text{ квар}$$

					ЕТ і ЕЕ 041.032.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$Q_{см_3} = P_{см_3} \cdot \operatorname{tg} \varphi_3 = 112 \cdot 0,75 = 84, \text{ квар}$$

$$Q_{см_4} = P_{см_4} \cdot \operatorname{tg} \varphi_4 = 700 \cdot 0,75 = 525, \text{ квар}$$

$$Q_{см_5} = P_{см_5} \cdot \operatorname{tg} \varphi_5 = 27 \cdot 1,98 = 53,46, \text{ квар}$$

$$Q_{см_6} = P_{см_6} \cdot \operatorname{tg} \varphi_6 = 208,33 \cdot 1,98 = 412,49, \text{ квар}$$

$$Q_{см_7} = P_{см_7} \cdot \operatorname{tg} \varphi_7 = 74,25 \cdot 2,68 = 198,99, \text{ квар}$$

$$Q_{см_8} = P_{см_8} \cdot \operatorname{tg} \varphi_8 = 720 \cdot 1,02 = 734,4, \text{ квар}$$

$$Q_{см_Σ} = 28,08 + 216,13 + 84 + 525 + 53,46 + 412,49 + 198,99 + 734,4 = 2252,55, \text{ квар}$$

6. Визначаємо середньозважений (груповий) коефіцієнт використання по вузлу навантаження:

$$K_{и.гр.} = \frac{\sum_{i=1}^m P_{смi}}{\sum_{i=1}^m P_{нi}} = \frac{3363,7}{7638,4} = 0,44 \quad 2028,08/4687,89=0,43 \quad (22)$$

7. Визначаємо ефективне число ЕП:

$$n_{эф} = \frac{\left[\sum_{i=1}^m P_{ни} \right]^2}{\sum_{i=1}^n P_{ном}^2} = (4687,89)^2 / 600^2 = 61,05 \quad (23)$$

8. За значенням групового коефіцієнта використання та ефективного числа ЕП по довідкових даних визначаємо значення коефіцієнта розрахункового навантаження $K_p = 0,72$

9. Визначаємо розрахунковий максимум активного навантаження по вузлу:

$$P_p = K_p \cdot \sum_{i=1}^m P_{смi} = 0,72 \cdot 2028,08 = 1460,22, \text{ кВт} \quad (24)$$

10. Враховуючи особливість споживання реактивної потужності ЕП, що мало залежить від завантаження ЕП активною потужністю, приймаємо:

$$Q_p = \sum_{i=1}^m Q_{смi} = 2252,55, \text{ квар} \quad (25)$$

11. Повне розрахункове силове навантаження по вузлу дорівнює:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{1460,22^2 + 2252,55^2} = 2684,4, \text{ кВА} \quad (26)$$

12. Визначення встановленої потужності освітлювальних ЕП:

$$P_{н.о.} = P_{уд.о.} \cdot F \cdot 10^{-3} = 20 \cdot 10000 \cdot 10^{-3} = 200 \text{ кВт} \quad (27)$$

					ЕТ і ЕЕ 041.032.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

13. Визначення розрахункового навантаження від освітлювальних ЕП

$$P_{P.O.} = P_{H.O.} \cdot K_{C.O.} K_{ПРА} = 200 \cdot 0,95 \cdot 1,1 = 209, \text{ кВт} \quad (28)$$

$$Q_{P.O.} = P_{P.O.} \cdot tg\varphi = 209 \cdot 0,33 = 69, \text{ квар} \quad (29)$$

14. Розрахункові активні навантаження силових і освітлювальних ЕП, розрахункові реактивні потужності підсумовуємо і вносимо у відповідні графи табл. 2.1.

2.2. Розрахунок потужності компенсуючих пристроїв в мережі напругою до 1 кВ

Сумарна розрахункова потужність компенсуючих установок (ККУ) напругою до 1 кВ визначається мінімізацією приведених витрат у два послідовні етапи:

- **Вибір оптимальної кількості трансформаторів цехових трансформаторних підстанцій (ТП):** Цей етап передбачає визначення потужності ККУ – 0,38 кВ ($Q_{нк1}$, квар), що забезпечить економічно найвигіднішу кількість цехових трансформаторів.
- **Визначення додаткової потужності ККУ для оптимізації втрат:** На цьому етапі розраховується додаткова потужність ККУ – 0,38 кВ ($Q_{нк2}$, квар), необхідна для оптимального зниження втрат у трансформаторах цехових ТП та пов'язаних з ними мережах напругою понад 1 кВ, спричинених перетіканням реактивної потужності.

Сумарна реактивна потужність ККУ – 0,38 кВ дорівнює:

$$Q_{нк} = Q_{нк1} + Q_{нк2}, \text{ квар} \quad (2.14)$$

де $Q_{нк1}$ і $Q_{нк2}$ – сумарні потужності ККУ – 0,38 кВ, визначаємо на двох вказаних етапах розрахунку.

Сумарна потужність ККУ – 0,38 кВ розподіляється між окремими трансформаторами цехових ТП пропорційно їх реактивної потужності.

					ЕТ і ЕЕ 041.032.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

2.2.1. Визначення потужності компенсуючи пристроїв за умови вибору оптимального числа цехових трансформаторів

Вибір кількості та потужності цехових трансформаторів, а також засобів компенсації реактивної потужності, відбувається одночасно. Цей процес базується на техніко-економічних розрахунках з урахуванням питомої щільності навантаження, активного розрахункового навантаження та інших технічних умов.

Потужність цехових трансформаторів визначається за питомою щільністю навантаження цеху, використовуючи наступну формулу:

$$\gamma = \frac{Sp}{F}, \text{кВА/м}^2 \quad (2.15)$$

Вибір потужності та кількості цехових трансформаторів здійснюється одночасно з підбором засобів компенсації реактивної потужності. Цей процес ґрунтується на детальних техніко-економічних розрахунках, які враховують питому щільність навантаження, активне розрахункове навантаження та інші технічні умови.

Для оптимального вибору потужності цехових трансформаторів слід керуватися питомою щільністю навантаження цеху та повним розрахунковим навантаженням вузла. Зокрема:

- За умови питомої щільності навантаження понад 0,2 – 0,3 кВА/м² та сумарного навантаження, що перевищує 3000 – 4000 кВА, доцільним є застосування цехових трансформаторів потужністю 1600 – 2500 кВА.
- При нижчих значеннях питомої щільності та сумарного навантаження рекомендується обирати трансформатори потужністю 400 – 1000 кВА.

Коефіцієнти завантаження трансформаторів та категорії електроприймачів

Для трансформаторів цехових підстанцій, як правило, застосовуються наступні коефіцієнти завантаження:

					ЕТ і ЕЕ 041.032.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- Для цехів з переважним навантаженням 1-ї категорії, при наявності двох трансформаторних підстанцій – [тут, ймовірно, має бути формула або значення коефіцієнта];
- Для цехів з переважним навантаженням 2-ї категорії, що мають дві трансформаторні підстанції із взаємним резервуванням трансформаторів – [тут, ймовірно, має бути формула або значення коефіцієнта];
- Для цехів з переважним навантаженням 2-ї категорії (за умови можливості використання централізованого резерву трансформаторів) та для цехів з навантаженням 3-ї категорії – [тут, ймовірно, має бути формула або значення коефіцієнта].

У контексті дипломного проєкту, що розглядає внутрішньоцехову систему електропостачання промислового підприємства, розрахунковий вузол може бути віднесений як до 1-ї, так і до 2-ї категорії за рівнем безперебійності електропостачання:

- **Електроприймачі 1-ї категорії** забезпечуються живленням від двох незалежних джерел живлення (ДЖ), а перерва в електропостачанні допускається лише на час спрацювання мережевої автоматики (АВР).
- **Електроприймачі 2-ї категорії** отримують живлення від двох незалежних ДЖ, з допуском перерви живлення на час ручного введення резервного живлення.

Для живлення електроприймачів 1-ї та 2-ї категорій рекомендується встановлювати однострансформаторні цехові підстанції 10-6 / 0,4-0,23 кВ. Це доцільно за умови, що пропускна спроможність перемичок нижчої напруги є достатньою для живлення найбільш відповідальних споживачів. Застосування таких підстанцій сприяє їх максимальному наближенню до центрів електричних навантажень, що забезпечує найкоротший шлях транспортування електроенергії та певну економію. Двустрансформаторні цехові підстанції варто використовувати при значних зосереджених навантаженнях (наприклад, при кВА/м²) або при переважанні споживачів 1-ї категорії.

Компенсація реактивної потужності

					ЕТ і ЕЕ 041.032.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Електроприймачі до 1 кВ є значними споживачами реактивної потужності та електрично віддалені від основних джерел живлення (енергосистеми або місцевих ТЕЦ) на декілька рівнів трансформації. Передача реактивної потужності в мережу до 1 кВ призводить до додаткових витрат, таких як збільшення перерізів струмопровідних частин, зростання кількості (або потужності) трансформаторів цехових ТП, а також підвищення втрат потужності в елементах СЕП. Ці витрати можна суттєво зменшити або навіть усунути, передбачивши встановлення компенсуючих установок (КУ) безпосередньо в мережі напругою до 1 кВ.

В якості джерела реактивної потужності (ДРП) використовуються комплектні конденсаторні установки (ККУ) поперечного включення. Некомпенсована реактивна потужність (РП) покривається за рахунок її перетікання (РП) QT з шин напругою понад 1 кВ. На основі техніко-економічних розрахунків (ТЕР) визначається оптимальне співвідношення між величиною генерованої ДРП напругою до 1 кВ та реактивною потужністю, що передається з мережі напругою понад 1 кВ.

Порядок вибору числа цехових трансформаторів

Порядок вибору числа цехових трансформаторів полягає в наступному: для кожної технологічно концентрованої групи цехових трансформаторів однакової потужності їх мінімальна кількість, необхідна для живлення активного максимального розрахункового навантаження, визначається за формулою:

$$N_{т.мин} = \frac{P_{р.с.} + P_{р.о.}}{\beta \cdot S_{н.тр.}} + \Delta N, \text{ шт} \quad (2.16)$$

де $P_{р.с.} + P_{р.о.}$ - розрахунковий максимум активного навантаження (від силових і освітлювальних ЕП) даної групи трансформаторів;

β - коефіцієнт завантаження трансформаторів;

$S_{н.тр.}$ - номінальна потужність трансформаторів;

ΔN - добавка до найближчого більшого цілого числа трансформаторів.

Примітка: Обираючи номінальну потужність трансформаторів, слід прагнути до мінімізації величини [можливо, тут має бути символ або параметр, наприклад, $Q_{перетоку}$ або $N_{трансф_опт}$], змінюючи коефіцієнт завантаження в

					ЕТ і ЕЕ 041.032.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

рекомендованих межах (0,7 – 0,8). Це дозволить максимально ефективно використовувати активну потужність трансформаторів та зменшити перетоки реактивної потужності через них.

Економічно оптимальне число трансформаторів буде визначатися, як:

$$N_{opt} = N_{t.min} + m, \text{ шт} \quad (2.17)$$

де m - додаткове число трансформаторів, яке визначається по кривих, довідкові дані в залежності від $N_{t.min}$ і ΔN .

При визначенні m по кривих довідкової літератури приймаємо допущення:

$$z_{пс}^* = 0,5; \quad z_{пс}^* = \frac{(z_{нк} - z_{вк})}{z_{тп}} \quad (2.18)$$

де $z_{нк}$, $z_{вк}$, $z_{тп}$ - відповідно усереднені витрати на КУ – 0,38 кВ, КУ- 6(10) кВ, цехові ТП.

При відсутності достовірних вартісних показників ККУ – 0,38 кВ, ККУ - 6,3(10,5) кВ, а також ТП для практичних розрахунків допускається приймати $z_{пс} = 0,5$.

По обраному економічно оптимальному числу трансформаторів визначають найбільшу реактивну потужність, квар, яку доцільно передавати через трансформатори в мережу напругою до 1 кВ:

$$Q_m = \sqrt{(\beta \cdot N_{opt} \cdot S_{н.тп})^2 - (P_p + P_{р.о.})^2}, \text{ квар} \quad (2.19)$$

Сумарна потужність низьковольтних батарей конденсаторів (НБК), квар, яка забезпечує економічно оптимальне число трансформаторів, визначається:

$$Q_{нк1} = Q_{p\Sigma} - Q_m, \text{ квар} \quad (2.20)$$

Величина під коренем не повинна бути від'ємною. Для забезпечення позитивного значення підкореневого виразу необхідно скоригувати коефіцієнт завантаження цехових трансформаторів таким чином, щоб зменшуване число перевищувало від'ємник.

Потужність НБК, яка приходить на один трансформатор:

					ЕТ і ЕЕ 041.032.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$Q'_{HK1} = \frac{Q_{HK1}}{N_{opt}}, \text{ квар} \quad (2.21)$$

По цьому значенні вибирають стандартні (довідкові) значення комплектних конденсаторних установок $Q'_{HKi.CPP}$ (довідкові дані)].

Тоді сумарна потужність комплектних конденсаторних установок для даної групи оптимального числа цехових трансформаторів складе:

$$Q''_{HK1.CPP} = N_{opt} \cdot Q'_{HK1.CPP}, \text{ квар} \quad (2.22)$$

Нескомпенсована реактивна потужність в мережі до 1 кВ складе:

$$Q_{HECK} = (Q_p + Q_{p.o.}) - Q''_{HK1.CPP}, \text{ квар} \quad (2.23)$$

2.2.2. Визначення додаткової потужності КУ в мережі напругою до 1 кВ з метою оптимального зниження втрат активної потужності, які спричинені перетоками РП

Визначення потужності НБК з метою оптимального зниження втрат:

$$Q_{HK2} = Q_{HECK} - \gamma \cdot N_{TЭ} \cdot S_{HT}, \text{ квар} \quad (2.24)$$

де γ - розрахунковий коефіцієнт, що визначається за кривими рис. 4.8 та 4.9 [1] залежно від коефіцієнтів K1, K2 та обраної схеми живлення цехових ТП. Зокрема:

- для радіальної схеми живлення цехових трансформаторів використовується рис. 4.8 [1];
- для магістральної схеми живлення з двома трансформаторами в магістралі застосовується рис. 4.9 [1];
- для магістральної схеми живлення з трьома і більше трансформаторами в магістралі

$$\gamma = \frac{K_1}{30}; \quad (2.25)$$

- для двоступеневої схеми живлення трансформаторів від розподільчих пунктів (РП) 10(6) кВ, на яких відсутні ДДРП, $\gamma = \frac{K_1}{60}$.

(2.26)

					ЕТ і ЕЕ 041.032.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Значення K_1 залежить від питомих приведених витрат на БК напругою до 1 кВ і вартості втрат активної потужності:

$$K_1 = \frac{(3_{HK} - 3_{BK})}{C_o}; \quad (2.27)$$

де C_o - розрахункова вартість втрат, грн/кВт.

При відсутності достовірних вартісних показників для практичних розрахунків K_1 рекомендується приймати за довідковими даними.

Значення K_2 визначають за формулою:

$$K_2 = \frac{L \cdot S_{H.TP}}{F}; \quad (2.28)$$

де L - довжина лінії живлення трансформатора, км (для магістральної схеми живлення цехових трансформаторів L позначає довжину ділянки до першого трансформатора);

F - загальний переріз лінії, $мм^2$;

За відсутності необхідних даних значення K_2 допускається приймати з довідкових джерел [1].

Якщо виявиться, що $Q_{HK2} < 0$, то для даної групи трансформаторів реактивна потужність Q_{HK2} дорівнює нулю.

Виходячи з результатів розрахунку електричних навантажень напругою до 1 кВ, маємо наступні значення навантажень (силове і освітлювальне):

$$P_p = \kappa_p \cdot \sum_{i=1}^m P_{cmi} = 0,72 \cdot 2028,08 = 1460,22, \text{ кВт}$$

$$Q_p = \sum_{i=1}^m Q_{cmi} = 2252,55, \text{ квар}$$

1. Вибираємо з шкали встановлених потужностей цехових трансформаторів одиничну потужність $S_{H.TP} = 630 \text{ кВА}$.

2. Мінімальне число трансформаторів:

$$N_{т. \min} = \frac{P_{p.c.} + P_{p.o.}}{\beta \cdot S_{H.TP}} + \Delta N = \frac{1660,22}{0,66 \cdot 630} + 0,01 = 4 \text{ шт.} \quad (43)$$

Економічно оптимальне число трансформаторів

$$3. \quad N_{opt} = N_{т. \min} + m, \text{ шт} \quad (44)$$

За довідковими даними визначити додаткове число трансформаторів $m=0$, тоді $N_{opt} = N_{т. \min} = 4 \text{ шт}$

					ЕТ і ЕЕ 041.032.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

4. Найбільша реактивна потужність, *квар*, яку доцільно передавати через трансформатори в мережу напругою до 1 кВ:

$$Q_T = \sqrt{(\beta \cdot N_{\text{опт}} \cdot S_{\text{н.тр}})^2 - (P_p + P_{\text{р.о.}})^2} = \sqrt{(0,66 \cdot 4 \cdot 630)^2 - 1660,22^2} = 99,52 \text{квар} \quad (45)$$

5. Сумарна потужність НБК, *квар*, для даної групи трансформаторів, що забезпечує економічно оптимальне число трансформаторів:

$$Q_{\text{нк}} = Q_{p\Sigma} - Q_T = 2252,55 - 257,04 = 2153,03 \text{квар} \quad (46)$$

6. Потужність НБК, яка припадає на один цеховий трансформатор:

$$Q'_{\text{нк1}} = \frac{Q_{\text{нк}}}{N_{\text{опт}}} = \frac{2153,03}{4} = 538,3 \text{квар} \quad (47)$$

по цій величині вибираємо з довідкових даних типорозмір 2ККП-0,38-75-150 + 2ККП-0,38-200 в цеху комплектних конденсаторних установок складе:

$$Q''_{\text{нк1.спр}} = N_{\text{опт}} \cdot Q'_{\text{нк1.спр}} = 2 \cdot 200 + 2 \cdot 300 = 1000 \text{квар} \quad (48)$$

7. Нескомпенсована реактивна потужність в мережі до 1 кВ становитиме:

$$Q_{\text{неск}} = (Q_p + Q_{\text{р.о.}}) - Q''_{\text{нк1.спр}} = 2252,55 - 1000 = 1252,55 \text{квар} \quad (49)$$

8. Додаткова потужність НБК для даної групи трансформаторів, $Q_{\text{нк2}}$, з метою оптимального зниження втрат:

$$Q_{\text{нк2}} = Q_{\text{неск}} - \gamma \cdot N_{\text{тэ}} \cdot S_{\text{нт}} = 1252,55 - 0,5 \cdot 4 \cdot 630 = -7,45, \text{квар} \quad (50)$$

де γ - для магістральної схеми живлення з двома трансформаторами в магістралі, визначаємо за довідковими даними Вибір

$$K_1 = 12; \quad K_2 = 7; \quad \gamma = 0,5;$$

Так як $Q_{\text{нк2}} < 0$, то для даної групи трансформаторів реактивна потужність $Q_{\text{нк2}}$ приймається рівною нулю.

2.3. Розташування цехових трансформаторів на площі цеху

Розташування цехових трансформаторів залежить від кількох ключових факторів: щільності електричного навантаження, розміщення обладнання

					ЕТ і ЕЕ 041.032.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

(включаючи пристрої компенсації реактивної потужності) та мікроклімату цеху, що визначається технологічним процесом.

Рекомендації щодо вибору місця розташування ТП

На основі досвіду проектування, монтажу та експлуатації цехових трансформаторних підстанцій (ТП), а також теоретичних досліджень, були розроблені конкретні рекомендації щодо їх розташування.

- **Комплектні трансформаторні підстанції (КТП):** Рекомендується використовувати КТП, оскільки вони забезпечують швидкий та незалежний від будівельних робіт монтаж.

- **Наближення до центрів навантаження:** Розміщення КТП якомога ближче до центрів навантаження дозволяє максимально економити кольорові метали та зменшувати втрати електроенергії в цехових мережах.

- **Енергозбереження:** Дроблення підстанцій та їхнє максимальне наближення до центрів навантажень допомагає вирішувати питання енергозбереження вже на етапі проектування.

Вимоги до КТП

Розташування КТП, їх потужність і кількість трансформаторів повинні відповідати розрахунковим навантаженням, враховувати умови навколишнього середовища та необхідний рівень безперебійності електропостачання.

Варіанти компоновки цехових ТП

Залежно від умов навколишнього середовища та особливостей технологічного процесу, компоновка цехових ТП може бути:

- **Внутрішньоцеховою**
- **Вбудованою**
- **Прибудованою**
- **Окремо розташованою**

Для цеху металообробки, як вказано в методичних рекомендаціях, **приймається схема внутрішньоцехового розміщення трансформаторів.** Важливо враховувати, що такі ТП слід розташовувати в "мертвій зоні" роботи мостових кранів.

					ЕТ і ЕЕ 041.032.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Переваги внутрішньоцехового розміщення

У виробництвах без переміщувального обладнання внутрішньоцехові ТП забезпечують глибокий ввід напруги понад 1 кВ до місць споживання електроенергії. Це скорочує довжину мереж низької напруги, що призводить до економії коштів на внутрішньоцехові мережі та зниження втрат в них. Компоновка цехових трансформаторів, як правило, детально представлена у відповідних схемах та матеріалах.

Резервування та використання трансформаторів

• **Резервування:** Для забезпечення резервування навантаження у випадку відключення одного з трансформаторів, рекомендується використовувати резервні перемички в мережах нижчої напруги. Їх потужність може становити 20-30% потужності трансформатора при використанні кабелів і до 60% – при використанні шинопроводів.

• **Двотрансформаторні КТП:** Зазвичай застосовуються при високій щільності навантаження (кВА/м²) або при наявності електроприймачів 1-ї категорії. Потужність трансформаторів у таких КТП обирається з урахуванням допустимого перевантаження, відповідно до стандартів (наприклад, ГОСТ 14209-85).

• **Типи трансформаторів:** У цехових ТП використовуються трифазні трансформатори з первинною напругою 6-10 кВ. Вони можуть бути з природним охолодженням (масляні або з негорючою рідиною, такою як совтол) або з природним повітряним охолодженням та сухою ізоляцією. Для комплектних підстанцій (КТП) застосовують **трансформатори закритого типу** (ТМЗ, ТНЗ, ТСЗ), де ізолятори закриті кожухом з азотною подушкою під невеликим надлишковим тиском, що дозволяє встановлювати КТП всередині будівель.

• **Схема з'єднань:** Рекомендується використовувати схему з'єднань обмоток трансформатора $\Delta/Y0-11$ як основну, замість поширеної $Y/Y0-0$. Це пояснюється тим, що схема $\Delta/Y0-11$ має менший опір нульової послідовності та покращує умови захисту від однофазних коротких замикань.

					ЕТ і ЕЕ 041.032.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

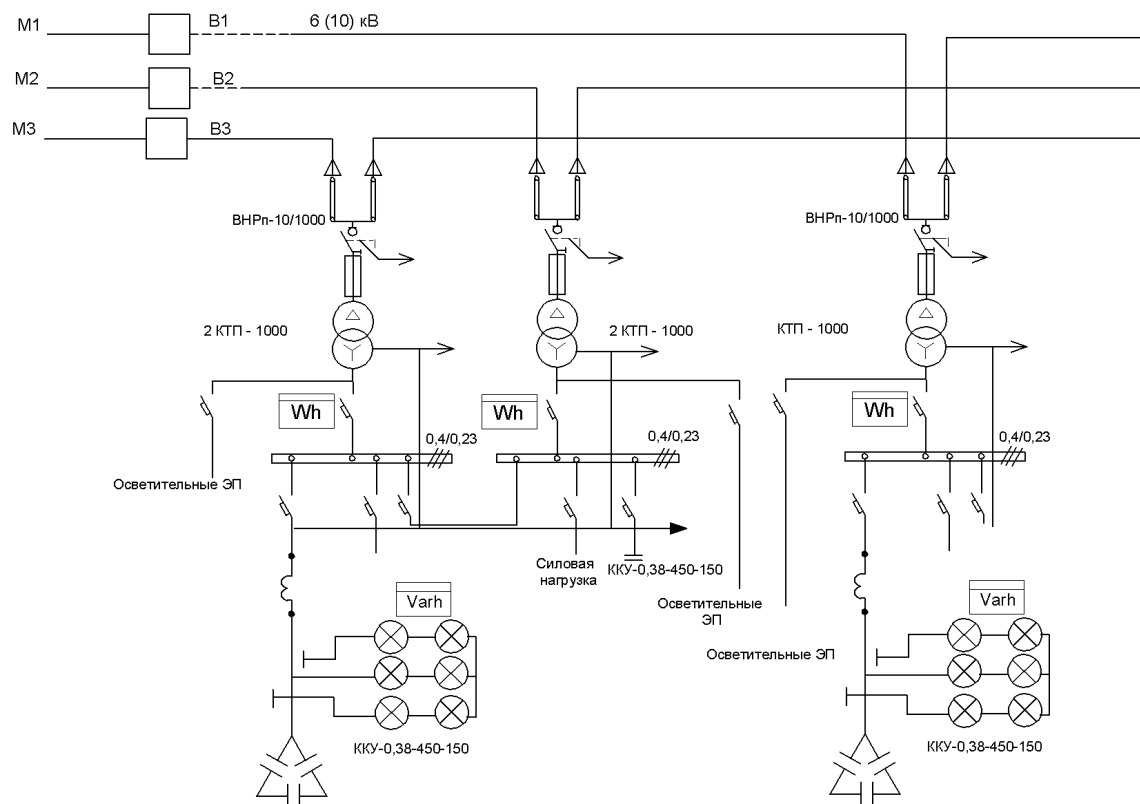


Рисунок 2.2.а – Схема сумісного живлення силового та освітлювального навантаження від КТП з КРП в мережі до 1 кВ

					ЕТ і ЕЕ 041.032.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Таблиця 1 Розрахунок електричних навантажень напругою до 1 кВ

№ п/ п	Найменування характерних груп ЕП	Кількість, п шт	Паспортні дані ЕП в кВт		Номинал на потужні сть характе ричних груп ЕП	Кое фіціє нт вдк. Ки	cos φ	tg φ	Середньозміане навантаження за найбільш завантажену зміну		Ефективне число ЕП, не	Коефіцієнт розрахункового навантаження К _р	Розрахунковий максимум навантаження			Розр ахунок ови й стру м, І _р , А
			Одного ЕП Р _н мін/Р _н тах, кВт	Загальн а Р _{дасп} , кВт					Р _{ср} , кВт	Q _{ср} , квар			Р _р , кВт	Q _р , квар	Sp, кВА	
1	Металорізальні верстати дрібносерійного виробництва	75	5	120	120,00	0,2	0,6 5	1,1 7	24	28.08						
			40													
2	Металорізальні верстати багатосерійного виробництва	90	10	650	650,00	0,25	0,6 5	1,1 7	162.5	216.13						
			120													
3	Вентилятори	20	1	160	160,00	0,7	0,8	0,7 5	112	84						
			20													
4	Насоси, компресори	35	10	1000	1000,00	0,7	0,8	0,7 5	700	525						
			300													
5	Крани, тельфери ПВ = 25%	80	3	300	150,00	0,18	0,4 5	1,9 8	27	53.46						
			30													
6	Крани, тельфери ПВ = 40%	175	5	1830	1157,39	0,18	0,4 5	1,9 8	208.33	412.49						
			80													
7	Зварювальні машини шовного зварювання, кВА	10	30	450	247,50	0,3	0,3 5	2,6 8	74.25	198.99						
			100													
8	Елеватори, конвеєри зблоковані	30	10	1200	1200,00	0,6	0,7	1,0 2	720	734.4						
			600													
9	Разом силові ЕП	515		4684,89					2028,08	2252,55	0,43	0,72	146 0,22	225 2,5 5	268 4,4	
10	Освітлювальні ЕП (площа цеху), м2	10000			200,00								209	69	220 ,1	
11	Всього по цеху												166 9,22	232 1,5 5	285 9,4	2539

2.4. Вибір схеми внутрішньоцехової мережі напругою до 1 кВ

Схема живлення цехових трансформаторів залежить від їх кількості, розташування в цеху та категорії навантажень, які вони живлять.

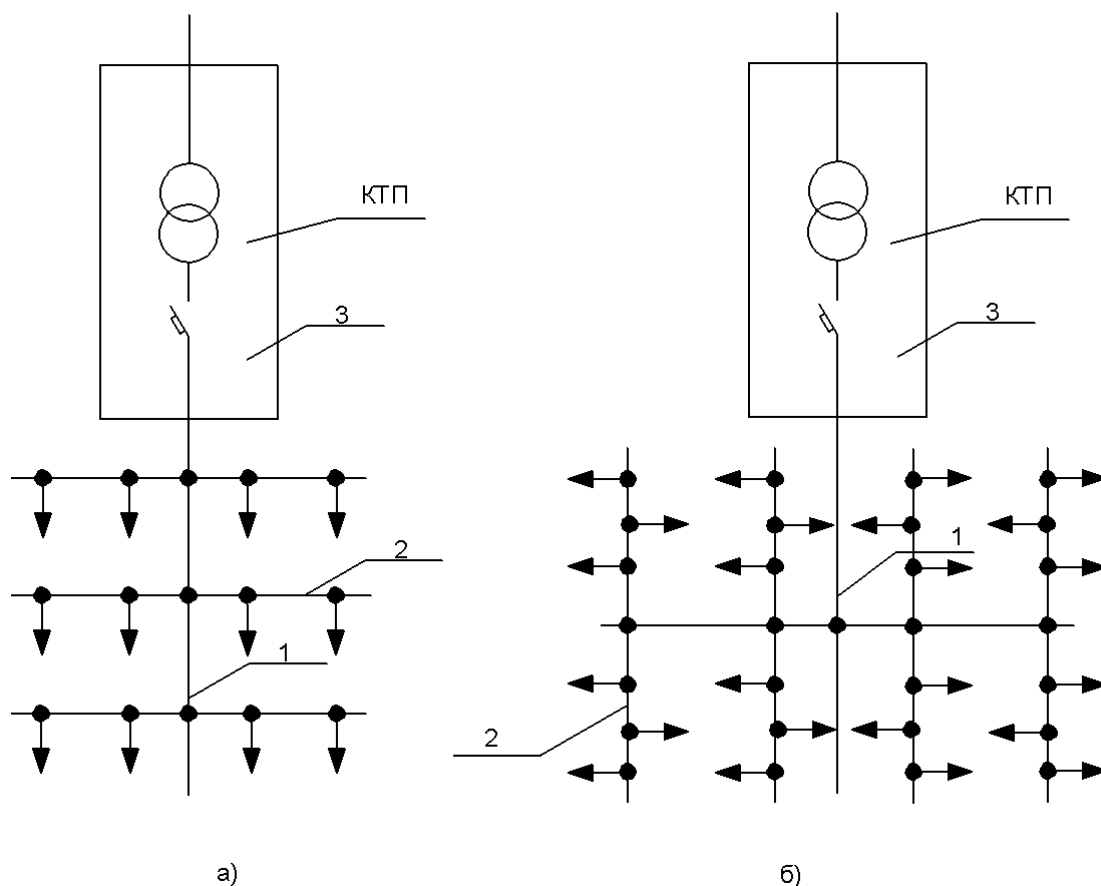
Рекомендації щодо схем живлення

Згідно з "Інструкцією з проєктування електропостачання промислових підприємств" [7], рекомендується живити цехові трансформатори за допомогою подвійних наскрізних магістралей.

- **Для трансформаторів потужністю 1600-2500 кВА:** Рекомендується використовувати 2-3 трансформатори на магістраль.
- **Для трансформаторів меншої потужності:** Рекомендується використовувати 3-4 трансформатори на магістраль.
- **При використанні двох трансформаторів:** Їх живлення здійснюється за радіальними лініями.

Останнім часом, при розташуванні ТП у центрах електричних навантажень, в мережах до 1 кВ набула поширення схема **БТМ (блок трансформатор-магістраль)**. Ця схема показана на рис. 2.3 б, в.

					ЕТ і ЕЕ 041.032.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



- б – вихід магістралі в одному напрямку;
 в – вихід магістралі в двох напрямках;
 1 – магістраль, що живить;
 2 – розподільчі шинопроводи;
 3 – апаратура управління та захисту.

Рисунок 2.3 а, б – Схеми БТМ

Схема "блок трансформатор-магістраль" (БТМ), що реалізується за допомогою розподільчих шинопроводів, значно спрощує електричну мережу. Завдяки цій схемі, комплектна трансформаторна підстанція (КТП) може бути виготовлена без розподільчого пристрою низької напруги (РП НН).

Особливості схеми БТМ

У такій конфігурації від трансформатора КТП відходить **магістральний шинопровід (ШМА)**. Його основне призначення – передача електроенергії до кількох **розподільчих шинопроводів (ШРА)** або безпосередньо до окремих електроприймачів. Схеми БТМ широко використовуються для живлення цехових мереж у механічних цехах машинобудівних підприємств, особливо тих, що мають **потокове виробництво**.

					ЕТ і ЕЕ 041.032.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Типи силових мереж

За своєю структурою схеми силових мереж поділяються на:

- **Радіальні** (рис. 2.5)
- **Магістральні** (рис. 2.4)
- **Змішані** (рис.2.6)

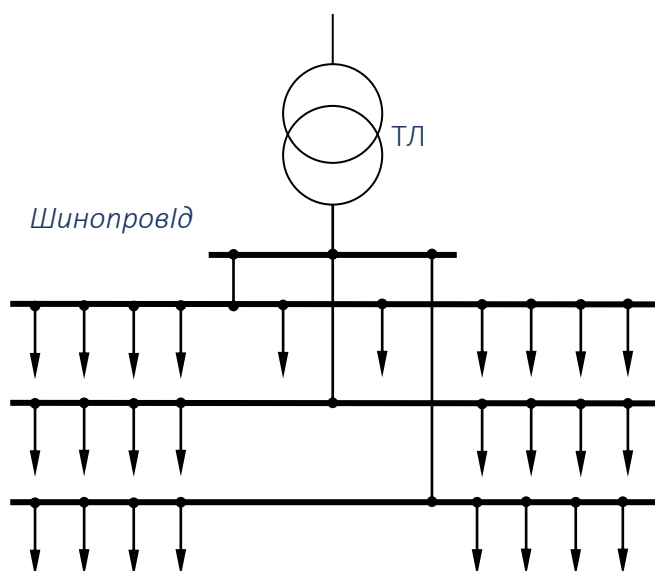


Рисунок 2.4 – Радіальна схема живлення ЕП

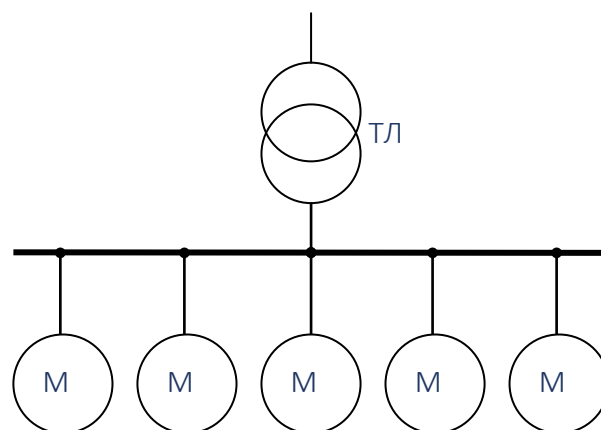


Рисунок 2.5 – Змішана схема живлення ЕП

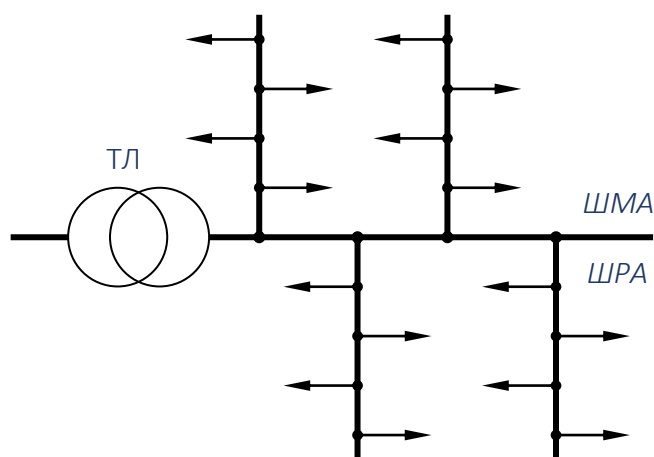


Рисунок 2.6 – Магістральна схема живлення ЕП

Електроприймачі низької напруги (НН) можуть отримувати живлення за різними схемами: радіальною, магістральною або змішаною.

Радіальна схема живлення

					ЕТ і ЕЕ 041.032.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

При **радіальній схемі** живлення кожен електроприймач НН підключається окремою лінією від розподільчого пристрою низької напруги (РП НН) трансформаторної підстанції (ТП). Ця схема оптимальна для цехів з **концентрованими навантаженнями**, що нерівномірно розподілені по площі, а також для вибухо- та пожежонебезпечних приміщень, насосних і компресорних станцій. Радіальні схеми реалізуються за допомогою кабелів або ізольованих проводів.

- **Переваги:** Висока надійність. Аварія на одній лінії не впливає на роботу інших електроприймачів.

- **Недоліки:** Значні капіталовкладення у провідники та комутаційно-захисну апаратуру. Обмежені можливості для використання індустриальних методів монтажу.

Магістральна схема живлення

Магістральні схеми доцільно застосовувати, коли електроприймачі **розташовані відносно рівномірно** по площі цеху, або для живлення груп електроприймачів, що належать до однієї технологічної лінії. У цьому випадку одна живильна магістраль обслуговує кілька розподільчих шаф (РШ) та великі електроприймачі цеху.

- **Переваги:** Використання шинопроводів, що дозволяє застосовувати індустриальні методи монтажу. Електроприймачі можуть бути підключені в будь-якій точці магістрального (розподільчого) шинопроводу.

- **Недоліки:** Менша надійність порівняно з радіальними схемами. Аварія на магістралі призводить до знеструмлення всіх підключених до неї споживачів. Проте, надійність може бути значно підвищена за рахунок використання резервних перемичок між сусідніми магістралями.

Змішані схеми живлення

З огляду на особливості радіальних і магістральних мереж, на практиці часто використовують **змішані схеми**. Їх вибір залежить від характеру виробництва, умов навколишнього середовища тощо.

					ЕТ і ЕЕ 041.032.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Наприклад, у механічних цехах машинобудівної промисловості, де застосовується система "блок трансформатор – магістраль", електропостачання реалізується за допомогою магістрального шинопроводу. До нього приєднуються розподільні штепсельні шинопроводи, від яких вже радіальними лініями живляться всі електроприймачі цеху.

На деяких ділянках цеху встановлюються розподільні пункти для живлення електроприймачів. Ці пункти підключаються до найближчих магістральних або розподільчих шинопроводів. У таких цехах, як прокатні, ковальські, ливарні, розподільча мережа підключається саме до цих розподільчих пунктів.

2.5. Вибір типу і параметрів комутаційно-захисних апаратів у внутрішньо цехових мережах (для одного з приєднань)

Під час експлуатації електричних мереж можливі збої, такі як перевантаження та короткі замикання, що призводять до різкого збільшення струму в провідниках. Щоб уникнути аварій, цехові електричні мережі потребують надійного захисту. Для цього використовуються спеціальні захисні апарати, які швидко відключають пошкоджену ділянку мережі.

Засоби захисту внутрішньоцехових мереж

Для захисту внутрішньоцехових мереж застосовуються:

- **Плавкі запобіжники**
- **Автоматичні повітряні вимикачі (автомати)**
- **Теплові реле магнітних пускачів**

Переваги автоматичних вимикачів

Автомати мають значні переваги перед запобіжниками:

- Вони забезпечують більш стабільні захисні характеристики при перевантаженнях.
- Відключають усі три фази елемента, що захищається, запобігаючи роботі електроприймачів у неповнофазному режимі.

					ЕТ і ЕЕ 041.032.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- Автомати є багаторазовими пристроями, що дозволяє використовувати їх у схемах мережевої автоматики, наприклад, для автоматичного введення резерву (АВР) та автоматичного повторного включення (АПВ).

Завдяки цим перевагам, автомати широко застосовуються в установках змінного струму з напругою до 660 В.

Принципи роботи захисту в автоматах

Автомати оснащені спеціальними пристроями релейного захисту. Залежно від типу автомата, це може бути:

- **Струмове відсічення**
- **Максимальний струмовий захист**

Для цього використовуються **електромагнітні первинні реле прямої дії**, які можуть працювати як з витримкою часу, так і без неї. Ці реле називаються **розчіплювачами**.

Для забезпечення надійного та селективного захисту від коротких замикань і перевантажень, максимальні розчіплювачі автоматів обладнуються **витримками часу**, що реалізуються за допомогою годинникових механізмів. Уповільнення досягається завдяки **сповільнювачу розчіплювача** – механізму, що забезпечує незалежну витримку часу, яка регулюється в межах 0,2–0,4 с або 0,4–0,6 с.

Автомати вибирають з дотриманням наступних вимог:

$$U_{a.ном} > U_{ном.с} \quad (2.29)$$

де $U_{a.ном}$ – номінальна напруга автомата;

$U_{ном.с}$ – номінальна напруга ділянки мережі, що захищається.

$$I_{расч.ном} \geq I_{расч.тах} \quad (2.30)$$

де $I_{расч.ном}$ – номінальний струм розчеплювача, А;

$I_{расч.тах}$ – розрахунковий струм ділянки мережі, що захищається.

Для одиночних двигунів, що захищаються автоматом:

$$I_{расч.тах} = I_{ном дв} \quad (2.31)$$

					ЕТ і ЕЕ 041.032.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Якщо елемент мережі, що захищається, працює в режимі технологічних перевантажень, то необхідно вибрати автомати з регульованим розчеплювачем сповільненого спрацьовування, що здійснює захист від перевантаження. Уставка сповільненого спрацьовування регульованих розчеплювачів, що здійснюють захист від перевантаження $I_{уст\ n}$ вибирається за виразом:

$$I_{уст\ n} \geq (1,3 \div 1,5) I_{расч. max}. \quad (2.32)$$

При виборі струму уставки миттєвого спрацьовування електромагнітного розчеплювача, що здійснює захист від к.з., $I_{уст\ к.з.}$, необхідно відбудуватися від короткочасних перевантажень, двигунів, що викликаються пуском (самозапуском), по вираженню:

$$I_{уст\ к.з.} \geq (1,5 \div 1,8) I_{пер}, \quad (2.33)$$

де $I_{пер}$ ($I_{пик}$) – струм короткочасного перевантаження або піковий, який визначається в залежності від характеру навантаження ділянки мережі, що захищається, за виразом:

- для одиночних двигунів:

$$I_{перерг} = I_{пуск} = k_{пуск} \cdot I_{ном\ дв}, \quad (2.34)$$

де $k_{пуск}$ – кратність пускового струму двигуна;

- для режиму запуску двигунів, що не відключаються та само запускаються:

$$I_{перерг} = \sum_{i=1}^n I_{пускі}, \quad (2.35)$$

де $\sum_{i=1}^n I_{пускі}$ - сума пускових струмів двигунів, що само запускаються;

- для випадку найбільш потужного двигуна та режиму нормальної роботи всіх інших електроприймачів, які підключені до лінії, що захищається:

$$I_{пер} \geq k_c \cdot \sum_{i=1}^{n-1} I_{н. дв} + I_{пуск. max}, \quad (2.36)$$

де $\sum_{i=1}^{n-1} I_{н. дв}$ - сума номінальних струмів двигунів, які приєднані до лінії, що

					ЕТ і ЕЕ 041.032.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

захищається, без врахування найбільш потужного двигуна;

$I_{пуск\ max}$ – пусковий струм найбільш потужного двигуна на ділянці мережі, що захищається, A ;

k_c – коефіцієнт попиту, $k_c < 1$.

Всі вибрані автомати перевіряють:

- по відключаючій здатності:

$$I_{пред.откл} \geq I_{к.з. \max}^{(3)} \quad (2.37)$$

- на чутливість захисту:

- при захист автоматами з розчеплювачами сповільненої дії:

$$I_{к.з. \min}^{(1)} \geq I_{расц.ном} \quad (2.38)$$

де $I_{к.з. \min}^{(1)}$ - мінімальний струм однофазного к.з. (в електрично віддаленій точці ділянки мережі, що захищається);

$I_{расц.ном}$ - номінальний струм розчеплювача сповільненого спрацювання, A .

- при захисті автоматами з розчеплювачами миттєвого спрацювання:

$$I_{к.з. \min}^{(1)} \geq (1,25 \div 1,4) I_{уст.к.з.} \quad (2.39)$$

де $I_{уст.к.з.}$ - струм уставки миттєвого спрацювання;

1,4 – коефіцієнт для автоматів $I_{авт.ном.} < 100, A$;

1,25 – коефіцієнт для автоматів $I_{авт.ном.} \geq 100, A$;

Допускається не перевіряти на чутливість захисту при кратності струму к.з. у наступних випадках:

- при захисті ділянки мережі автоматом з розчеплювачем миттєвого спрацювання:

$$I_{уст.к.з.} \leq 4,5 \cdot I_{дл.доп.} \quad (2.40)$$

					ЕТ і ЕЕ 041.032.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

де $I_{\text{дл.доп.}}$ - тривало допустимий струм провідника;

- при захисті ділянки мережі автоматом з регулюємим розчеплювачем сповільненого спрацювання:

$$I_{\text{уст.к.з.}} \leq 1,5 \cdot I_{\text{дл.доп.}} \quad (2.41)$$

Селективні автомати перевіряють на динамічну та термічну стійкість за виразами:

$$i_{\text{дин}} \geq i_y \quad (2.42)$$

$$B_{\text{К.доп.}} \geq I_{\text{П.О.}}^2 \cdot t_{\text{сраб}} \quad (2.43)$$

де i_y - ударний струм к.з.; $i_y = K_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{\text{П.О.}}$ (2.44)

$I_{\text{П.О.}}$ - початкове діюче значення періодичної складової струму к.з.;

K_y - ударний коефіцієнт; $K_y = 1 + e^{-0,01/T_a}$;

$$T_a = \frac{X_K}{2 \cdot \Pi \cdot f \cdot r_K} \quad (2.45)$$

K_y , T_a - визначають, як правило, за довідником для конкретних ділянок мережі.

Наведемо приклад вибору параметрів і типа автоматів, виходячи з розрахункової схеми, рис. 7, де вказані місця розміщення автоматів і їх призначення.

Автомати QF1-QF3 захищають асинхронні двигуни з параметрами вказаними в таблиці 6. (виходячи з умови завдання студент самостійно вибирає одиничну потужність АД). Двигуни встановлені в приміщенні з нормальним середовищем. Режим роботи двигунів визначається режимом роботи приводного механізму.

					ЕТ і ЕЕ 041.032.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Автомати QF4-QF7 мають однакові параметри, оскільки забезпечують захист ЕП, підключених до розподільних шинопроводів ШРА1, - ШРА4, завантажених рівномірно.

Автомат QF8 – ввідний, параметри якого визначаються встановленою потужністю трансформатора з врахуванням можливих перевантажень, допустимих ГОСТ 14209-85.

Автомат QF₉ – секційний, параметри якого по ввідному автомату.

Вибір параметрів автоматів QF1- QF3 – починаємо з визначення номінальних струмів двигунів, що захищаються автоматами. Визначуваний (по довіднику [3]) тип і потужність двигунів, а по ним – номінальні струми двигунів:

$$I_{н.дв.} = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos\varphi \cdot \eta}, A; \quad (2.46)$$

$$I_{н.дв.} = \frac{55}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,92 \cdot 0,91} = 99 A;$$

Результати розрахунку заносимо в таблицю 4.

За довідником [3] визначаємо кратність пускових струмів, а потім і пусковий струм двигунів:

$$I_{пуск} = k_n \cdot I_{н.дв.}, A; \quad (2.47)$$

$$I_{пуск} = 6 \cdot 99 = 594 A;$$

По розрахункових величинах приймаємо до установки автомат типа А3710 з номінальними параметрами (таблиця 10.4. [2]). При виборі номінального струму комбінованого електромагнітного розчеплювача автомата, вбудованого в шафу, слід враховувати тепловий поправочний коефіцієнт 0,85:

$$I_{н.расц.} = \frac{I_{н.дв.}}{0,85}, A; \quad (2.48)$$

$$I_{н.расц.} = \frac{99}{0,85} = 117 A;$$

Вибираємо розчеплювача з номінальним струмом $I_{н.расц.} = 125 A$.

Встановлюємо неможливість спрацювання (відстроюємося від пускових

					ЕТ і ЕЕ 041.032.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

струмів) автомата при пуску двигуна:

$$I_{\text{ср.эл.}} = 1,25 \cdot I_{\text{пуск}}, A; \quad (2.49)$$

$$I_{\text{ср.эл.}} = 1,25 \cdot 594 = 744 A.$$

Приймаємо уставку струму розчеплювача $1000A$.

Розраховуємо навантаження шинопроводу $ШРА-73-1$.

При підключенні до шинопроводу трьох двигунів розрахунковим завантаженням буде сума номінальних струмів цих двигунів:

$$I_{\text{Р.ШРА-1}} = \sum_1^3 I_{\text{НОМ.ДВ.}} = 225 A;$$

Піковий струм шинопроводу визначається виходячи з умови пуску найбільш потужного двигуна, який приєднано до шинопроводу:

$$I_{\text{пик}} = I_{\text{пуск.мах}} + \sum_1^{n-1} I_{\text{ном.дв.}} = 594 + 70 + 56 = 720 A$$

Вибираємо номінальний струм електромагнітного розчеплювача з врахуванням теплового поправочного коефіцієнта:

$$I_{\text{н.расц.}} \geq I_{\text{Р.ШРА-1}} \quad (2.50)$$

Перевіряємо неможливість спрацьовування автоматів при пуску найбільш потужного двигуна (відстройки від пускових струмів):

$$1,25 \cdot I_{\text{пик}} \leq I_{\text{ср.эл.расц.}} \quad (2.51)$$

Результати розрахунку заносимо в таблицю 4.

Вибір ввідного автомата. Ввідні автомати вибирають по встановленій потужності цехових трансформаторів з врахуванням їх можливого перевантаження в післяаварійному режимі, згідно ГОСТ 14209 89.

$$I_{\text{п.ав.}} = \frac{1,4 \cdot S_{\text{НОМТ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}} = \frac{1,4 \cdot 630}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 1341,7 A.$$

					ЕТ і ЕЕ 041.032.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

По струму післяаварійного режиму з врахуванням поправочного теплового коефіцієнта вибираємо номінальний струм селективного автомата з незалежною від величини струму витримкою часу при к.з.:

$$\frac{I_{н.ав}}{0,85} \leq I_{ном расц} \quad (2.52)$$

$$1576,5 < 1600$$

Приймаємо до установки автомат ВА55 – 43, $I_{н.а.} = 1600 A$.

Секційний автомат вибираємо по навантаженню секції або на рівень нижче за ввідний автомат:

$$I_{р.секции} = \frac{(0,6 \div 0,7) \cdot I_{н.ав.}}{0,85}, A \quad (2.53)$$

Приймаємо до установки автомат типа ВА – 55 – 41, $I_{н.ав.} = 1000 A$.

$$I_{р.секции} = \frac{(0,68) \cdot 1341,7}{0,85} = 1073,3, A$$

2.6. Вибір марки і перерізу струмоведучих частин

У внутрішньоцехових мережах напругою до 1 кВ у вибухонебезпечних приміщеннях переріз дротів вибирають по умові нагріву тривало-допустимим струмом:

$$I_{р max} \leq I_{дл доп} \quad (2.54)$$

де $I_{р max}$ – розрахунковий максимальний струм лінії, A ;

$I_{дл доп}$ – тривало допустимий струм стандартних перерізів, A .

При розрахунку ланцюга по нагріву спочатку вибирають марку провідника, залежно від характеру середовища в цеху, конфігурації цеху і способу прокладки мережі.

До вибору перерізів дротів і кабелів напругою до 1 кВ приступають після вибору захисних апаратів, оскільки вибраний по умові нагріву переріз струмоведучих частин необхідно перевірити на відповідність захисту:

					ЕТ і ЕЕ 041.032.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$I_{\text{дл доп}} \geq k_3 \cdot I_3 \quad (2.55)$$

де I_3 – номінальний струм розчеплювача або струм спрацювання розчеплювача, А;

k_3 – коефіцієнт захисту, який визначається за довідковими даними.

Для вибухобезпечного, але не пожежобезпечного обладнання, що працює з можливим технологічним перевантаженням (наприклад, металорізальні верстати, підйомно-транспортне устаткування, зварювальні агрегати), рекомендується використовувати дроти та кабелі з гумовою ізоляцією. У такому випадку коефіцієнт захисту (K_3) приймається рівним 1.

Вибраний і перевірений на відповідність захисту переріз кабелю перевіряється по втраті напруги по умові:

$$\Delta U_{\text{действ}} \leq \Delta U_{\text{доп}} \quad (2.56)$$

$$\Delta U_{\text{доп}} = 0,05 U_{\text{ном}}$$

$$0,05 U_{\text{ном}} = 0,05 \cdot 380 \text{ В} = 19 \text{ В}$$

$$\Delta U_{\text{действ}} = \sqrt{3} \cdot I_p \cdot l \cdot (r_0 \cdot \cos \varphi + x_0 \cdot \sin \varphi), \quad (2.57)$$

де I_p – розрахунковий струм лінії, А;

l – довжина лінії, км, яка визначається за генпланом цеху;

r_0, x_0 – відповідно питомі активні і індуктивні опори провідника, Ом/км – довідкові дані для стандартних перерізів. Індуктивний опір $x_0 = 0,06$ Ом/км.

Якщо здійснюється захист від перевантаження автоматами з регульованою, зворотньою залежною характеристикою для всіх приміщень для дротів з гумовою або аналогічною ізоляцією струм уставки автомата:

$$I_{\text{ср.расц.}} \leq I_{\text{дл.доп.}} \quad (2.58)$$

При захисті проводів з паперовою ізоляцією у всіх приміщеннях:

					ЕТ і ЕЕ 041.032.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$I_{н.расц.} \leq I_{дл.доп.} \quad (2.59)$$

Захист від струмів к.з. повинна діяти з мінімальним часом відключення і по можливості селективно

При захисті ділянок мережі автоматами, що мають лише електромагнітний розчеплювач типа 1 (відсічення) струм уставки спрацьовування визначається умовою:

$$I_{у.ср.эл.м.} \leq 4,5I_{дл.доп.} \quad (2.60)$$

При захисті автоматами з нерегульованою зворотньою залежною характеристикою повинна виконуватися умова:

$$I_{ср.расц} \leq 1,5I_{дл.доп.} \quad (2.61)$$

Для автоматів з нерегульованим розчеплювачем зі зворотньою залежною характеристикою:

$$I_{ср.расц} \leq I_{дл.доп.} \quad (2.62)$$

Згідно з викладеними принципами, ми перевіряємо правильність вибору перерізів струмоведучих частин, звіряючись з таблицею 2.4.

У схемі БТМ (безпосередньо заземленої нейтралі) трансформатор струму встановлюється в нейтралі трансформатора. За допомогою максимального реле надсилається відключаючий імпульс. Цей імпульс може бути направлений або на загальний (ввідний) автомат QF8 (як показано на Рис. 8.а), який знаходиться за цеховим трансформатором, або на відключаючу котушку апарату з боку високої напруги – вимикач навантаження (як показано на Рис. 8.б).

					ЕТ і ЕЕ 041.032.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

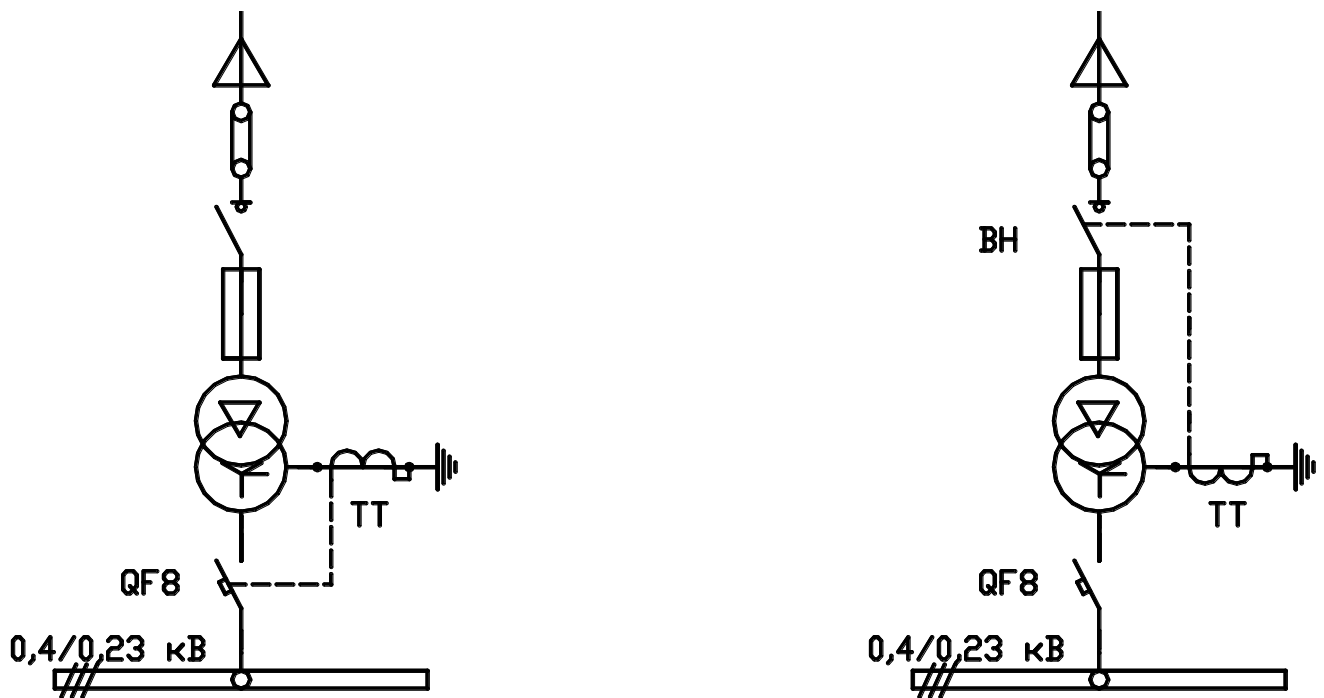


Рисунок 2.7 – Схема струмового захисту нульової послідовності при схемі БТМ
а – дія на вводной автомат; б – дія на вимикач навантаження.

Струмовий захист нульової послідовності діє незалежно від розрахункових струмів мережі, однак його використання ускладнює загальну систему захисту.

Для покращення чутливості захисту слід збільшити струм однофазного короткого замикання. Цього можна досягти за допомогою відповідної схеми з'єднання обмоток цехового трансформатора, а також шляхом застосування принципу "дроблення підстанцій" при їх розміщенні в цехах.

Особливу увагу варто звернути на індуктивний опір "фаза – нуль". Якщо використовуються кабелі з алюмінієвою оболонкою, опір нульовій послідовності настільки зменшується, що четверта жила стає непотрібною. Важливо лише забезпечити надійний контакт алюмінієвої оболонки із заземлювальним контуром на обох кінцях кабелю.

Таблиця 2 – Вибір параметрів автоматів і СВЧ

№ автомата	Назва автомата (місце в схемі)	Номинальна потужність, P_N кВт / Розрахункове навантаження P_r кВт; S_r kVA	Номін. струм, I_n А / Розр. струм I_r А	Кратність пускового струму, $K_{п}$	Пуск. струм, пик. струм $I_{п}$ А	Темп. поправ. коеф.	$\frac{I_{ном}}{0,85}$ А, $\frac{I_r}{0,85}$ А	Ном. струм розр. розч. плав. $I_{рп}$ А, $I_{сррп}$ А	Струм уставки розч. плав. $I_{сррп} \geq 1,25$	Тип автомата, $I_{н.с.}$ А	Коеф. захисту, K_3	Доп. уст. струм СВЧ, I_1 А	Перевірка вибраного перерізу за умови $I_{длдоп} \geq K_3 \cdot I_1$	Остаточний вибраний маркувальний переріз СВЧ, mm^2	Перевірка СВЧ по втраті напруги
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
QF_1	ШПА-1-АД-1	55	99	6	594	0,85	117	125	1000	A3710/160	1	115	140	АВВГ(3*50)	5
QF_2	ШПА-1-АД-2	37	70	6	420	0,85	82	100	630	A3710/160	1	70	115	АВВГ(3*25)	4,9
QF_3	ШПА-1-АД-3	30	56	6	336	0,85	66	80	630	A3710/160	1	70	90	АВВГ(3*16)	6
QF_4	ШМА-ШПА-1	-	225	-	720	0,85	265	320	2500	A3730/400	1	400		ШПА-73	
QF_5	ШМА-ШПА-2	-	225	-	720	0,85	265	320	2500	A3730/400	1	400		ШПА-73	
QF_6	ШМА-ШПА-3	-	225	-	720	0,85	265	320	2500	A3730/400	1	400		ШПА-73	
QF_7	ШМА-ШПА-4	-	225	-	720	0,85	265	320	2500	A3730/400	1	400		ШПА-73	
QF_8	Тр-р-ШМА	630	1340	-	-	-	-	1600	4000	ВА-55-43/1600	-	1600		ШМА-73	
QF_9	Секційний	-	940	-	-	-	-	1600	3000	прийма 55-41/1000	-	1600		ШМА-73	

2.7. Розрахунок струмів к.з. в мережі до 1 кВ. Перевірка апаратів і СВЧ на стійкість дії струмів короткого замикання

Мета розрахунку струмів короткого замикання в мережах до 1 кВ

Розрахунок струмів короткого замикання (к.з.) у мережах до 1 кВ виконується для кількох цілей:

- Перевірка автоматів і шинопроводів на стійкість до дії струмів к.з.
- Перевірка всіх захисних апаратів (автоматів і запобіжників) за граничним струмом відключення.
- Оцінка чутливості захистів.

Визначення струмів для перевірки

Щоб перевірити захисні апарати за граничним струмом к.з., визначають максимальне значення струму трифазного к.з.. Для перевірки чутливості захистів розраховують мінімальне значення струму однофазного к.з. у найбільш віддаленій від джерела живлення точці мережі.

Особливості розрахунків струмів к.з. у мережах до 1 кВ

Розрахунки струмів короткого замикання в мережах до 1 кВ мають дві ключові особливості:

- Вони проводяться в іменованих одиницях.
- Під час розрахунку необхідно враховувати активні та індуктивні опори всіх елементів короткозамкнутого ланцюга. Це включає провідники, трансформатори струму, струмові котушки автоматів, а також опір дуги, контактів і контактних з'єднань.

При розрахунках струмів к.з. допускається не враховувати вплив асинхронних двигунів, якщо їх сумарний номінальний струм не перевищує 10% початкового значення періодичної складової струму в місці к.з., розрахованого без врахування двигунів:

$$0,1 \cdot I_{no} > \sum_{i=1}^n I_{н.дв.и.} \quad (2.63)$$

Розрахунок струмів короткого замикання (к.з.) виконується за таким порядком:

1. Складається розрахункова схема (як показано на Рис. 8), на яку наносяться струми к.з.
2. На основі розрахункової схеми формується схема заміщення (див. Рис. 9), де всі елементи розрахункової схеми замінюються активними та індуктивними опорами.
3. Розраховуються опори елементів мережі: опори прямої послідовності, опори нульової послідовності, а також опори ланцюга "фаза-нуль".
4. Визначаються величини струмів трифазного та однофазного к.з. у визначених точках мережі.

Методика цих розрахунків для електроустановок змінного струму напругою до 1 кВ відповідає ДСТ 28249–89.

					ЕТ і ЕЕ 041.032.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

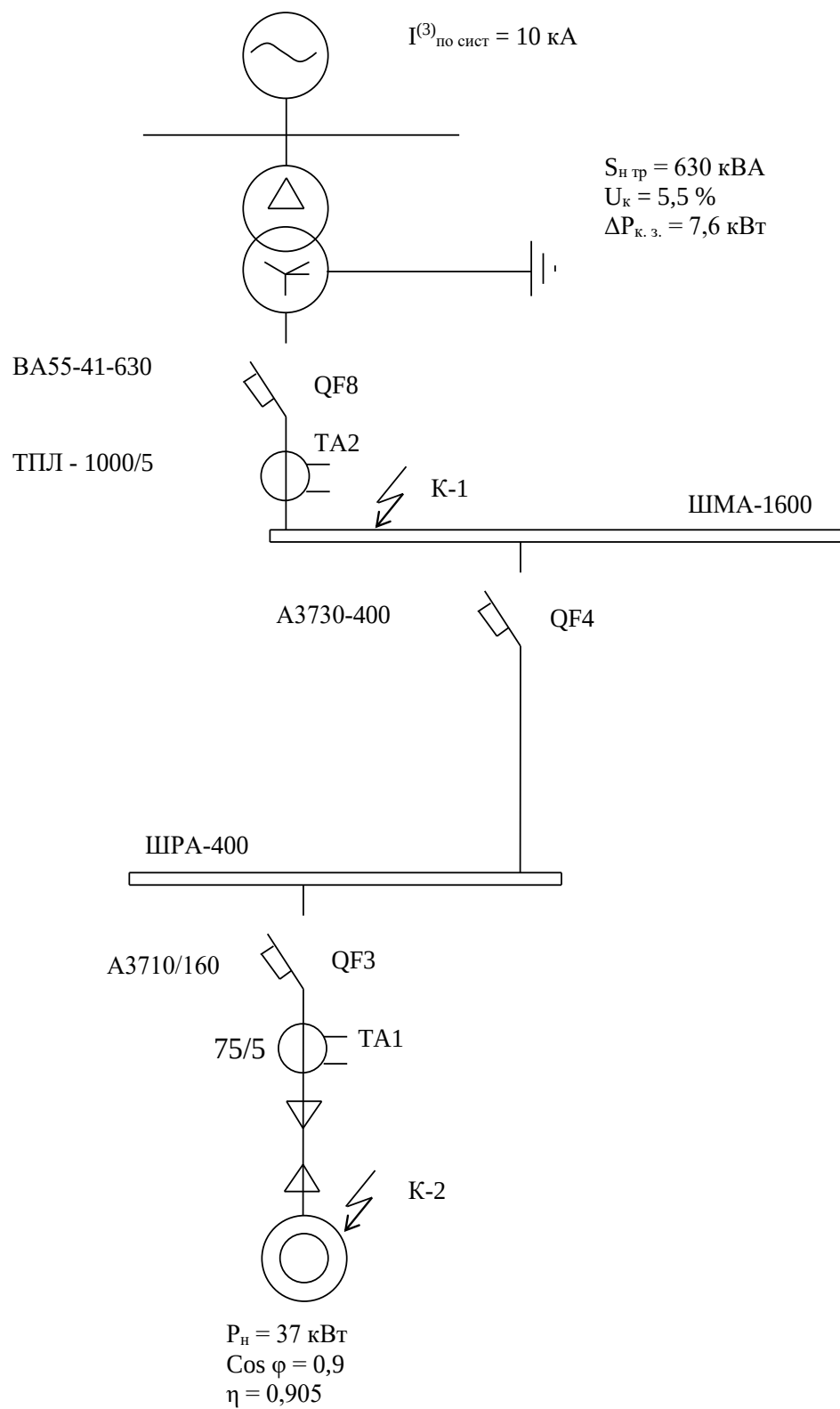


Рисунок 2.8 – Розрахункова схема

					ЕТ і ЕЕ 041.032.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

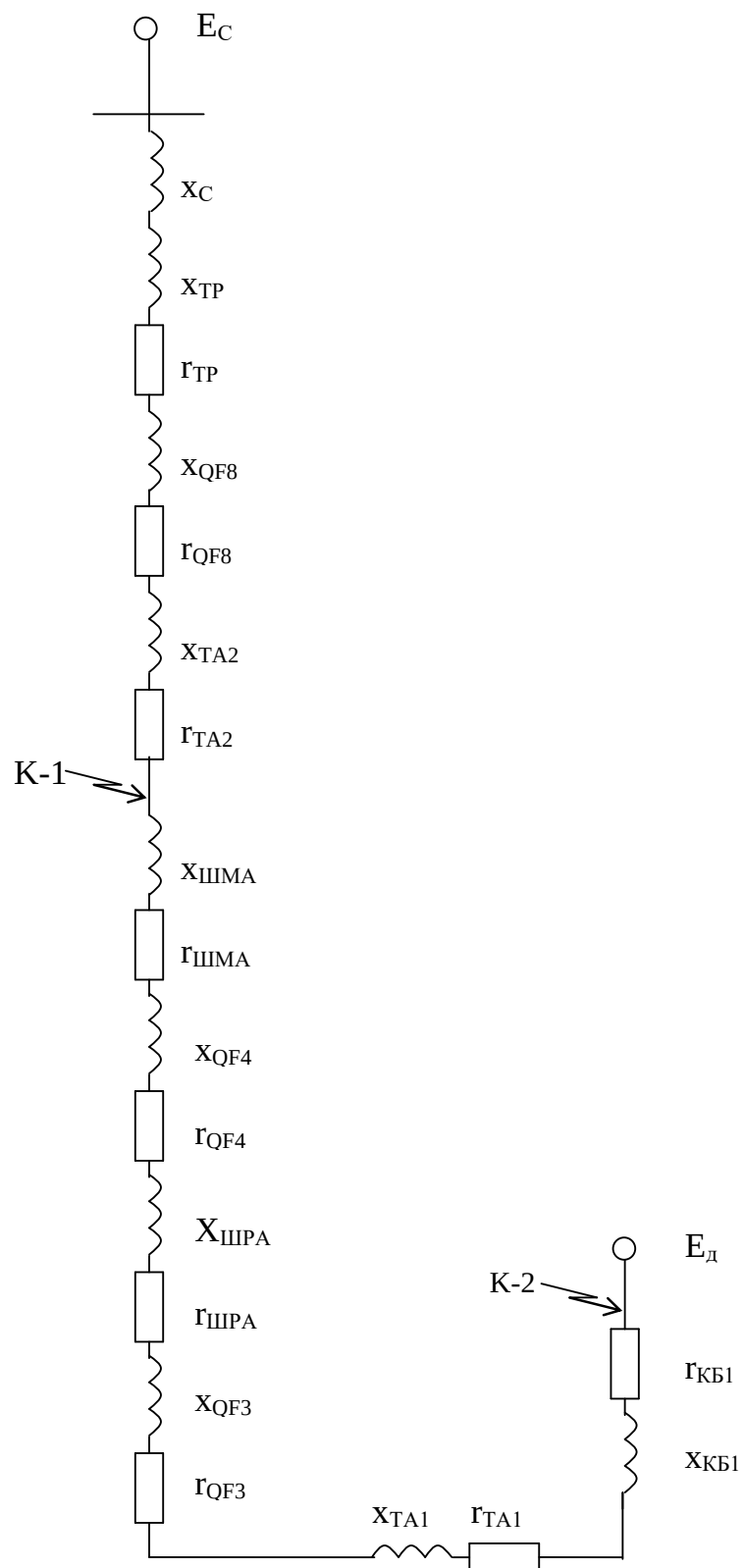


Рисунок 2.9 – Схема заміщення

					ЕТ і ЕЕ 041.032.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

2.7.1. Розрахунок початкового значення періодичної складової струму трифазного короткого замикання

При електропостачанні електроустановок від енергосистеми через знижувальний трансформатор початкове значення періодичної складової струму трифазного к.з., що діє.

$$I_{ПО}^{(3)} = \frac{U_{cp_{нн}}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{r_{1\Sigma}^2 + x_{1\Sigma}^2}}, \quad (2.64)$$

де $U_{cp_{нн}}$ - середня номінальна напруга мережі, в якій виникло к.з., В.

$r_{1\Sigma}$, $x_{1\Sigma}$ – сумарні активні та індуктивні опори прямої послідовності ланцюга к.з., мОм.

Опори для точки к.з. К – 1 визначають:

$$r_{1\Sigma} = r_{1T} + r_{1A8} + r_{TA2} \quad (2.65)$$

$$x_{1\Sigma} = x_C + x_{1T} + x_C + x_{A8} + x_{TA2} \quad (2.66)$$

де x_C – еквівалентний індуктивний опір системи до знижуючого трансформатора, приведене до сторони низької напруги:

$$x_C = \frac{U_{cp_{нн}}^2}{\sqrt{3} \cdot I_{кз_{вн}} \cdot U_{cp_{вн}}}, \quad (2.67)$$

Приклад розрахунку.

$$x_C = \frac{400^2 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 10,5} = 0,8 \text{ мОм}$$

Параметри трансформатора ТМЗ-630-10/0,4; $U_K = 5,5 \%$, $\Delta P_{к. з.} = 7,6$ кВт.

де $U_{cp_{вн}}$ – середня номінальна напруга мережі, до якої підключена обмотка вищої напруги трансформатора, В;

$I_{кз_{вн}}$ – діюче значення періодичної складової струму при трифазному к.з. у виводів обмотки вищої напруги трансформатора, кА;

r_{1T} , r_{A8} , r_{TA2} , x_{1T} , x_{A8} , x_{TA2} – активні та індуктивні опори трансформатора, автоматів, трансформаторів струму.

					ЕТ і ЕЕ 041.032.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Опори (питомі) елементів мережі наведені в довідкових даних.

Таблиця 3 – Опори (питомі) елементів мережі

Опори послідовності	Питомі опори мОм/м	СВЧ			Трансформатор и струму		Автомати		
		ШМА 1600 (Ш1) (35м)	ШРА 400 (Ш2) (20м)	Кабель АВВГ (3*25) мм ² (К6) (20м)	ТА 1 75/5	ТА 2 1000/5	QF 3	QF 4	Q F 8
Пряма	r ₁	0,03	0,15	1,28	3	0,05	1,1	0,6 5	0,1 4
	x ₁	0,014	0,17	0,06	4,8	0,07	0,5	0,1 7	0,0 8
Нульова	r ₀	0,037	0,162	2,5					
	x ₀	0,042	0,164	0,075					
Фаза-нуль	r _{Ф-0}	0,067	0,262	4					
	x _{Ф-0}	0,056	0,294	0,15					

Активні та індуктивні опори прямої послідовності знижуючих трансформаторів r_{1T} і x_{1T} визначаються за виразами:

$$r_{1T} = \frac{\Delta P_{кз} \cdot U_{нн}^2 \cdot 10^6}{S_{нт}^2}; \quad (2.68)$$

$$x_{1m} = \sqrt{U_{кз}^2 - \left(\frac{100 \cdot \Delta P_{кз}}{S_{нт}} \right)^2} \cdot \frac{10^4 \cdot U_{нн}^2}{S_{нт}}, \quad (2.69)$$

де $\Delta P_{кз.}$ – втрати к.з. в трансформаторі, кВт (довідкові дані трансформатора);

$U_{кз.}$ – напруга короткого замикання трансформатора, % (довідкові дані трансформатора);

$U_{нн}$ – номінальна напруга обмоток низької напруги трансформатора, кВ;

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

$$r_{1T} = \frac{4,5 \cdot 0,23^2 \cdot 10^6}{630^2} = 0,6 \text{ мОм};$$

$$x_{1m} = \sqrt{4,5^2 - \left(\frac{100 \cdot 4,5}{630}\right)^2} \cdot \frac{10^4 \cdot 0,4^2}{630} = 19 \text{ мОм.}$$

$$r_{1\Sigma} = 0,6 + 0,14 + 0,01 = 0,75 \text{ мОм,}$$

$$x_{1\Sigma} = 0,25 + 19 + 0,08 + 0,002 = 20,1 \text{ мОм.}$$

$$I_{ПО}^{(3)} = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{0,75^2 + 20,1^2}} = 28,7 \text{ кА.}$$

Необхідність обліку впливу електродвигунів при розрахунку струму к.з. визначається із співвідношення: $I_{ндв\Sigma} \leq 0,1 \cdot I_{кз}^{(3)}$. Присутність двигунів в місці к.з. можна не враховувати.

2.7.2. Розрахунок струмів однофазного короткого замикання в точці К-2

Струм однофазного к.з. в точці К – 2 розраховується за формулою:

$$I_{nomin}^{(1)} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_{ср.лн}}{\sqrt{(r_{1\Sigma}'' + r_{o\Sigma})^2 + (x_{1\Sigma}'' + x_{o\Sigma})^2}}, \quad (2.70)$$

$$\text{де } r_{1\Sigma}'' = r_{1\Sigma}' + (r_{\phi-o.III1} + r_{\phi-o.III2} + r_{\phi-o.КБ}) \quad (2.71)$$

$$r_{1\Sigma}' = r_{1\Sigma} + r_{1III1} + r_{A4} + r_{1III2} + r_{A3} + r_{TA1} + r_{1KB} \quad (2.72)$$

$$x_{1\Sigma}'' = x_{1\Sigma}' + (x_{\phi-o.III1} + x_{\phi-o.III2} + x_{\phi-o.КБ}); \quad (2.73)$$

$$x_{1\Sigma}' = x_{1\Sigma} + x_{1III1} + x_{A4} + x_{1III2} + x_{TA} + x_{1KB}; \quad (2.74)$$

Опори нульовій послідовності: активні і індуктивні опори нульової послідовності знижувальних трансформаторів, обмотки яких з'єднані за схемою Δ/∇ при к.з. у мережі низької напруги слід приймати реальні опори прямої послідовності.

					ЕТ і ЕЕ 041.032.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Приклад розрахунку.

Якщо електропостачання електроустановки напругою до 1 кВ здійснюється від енергосистеми через знижуючі трансформатори, то значення періодичної складової струму однофазного К.З. від системи ($I_{по}^{(1)}$) в кілоамперах розраховують по наступній формулі:

$$I_{nomin}^{(1)} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_{CP.HH}}{\sqrt{(2r_{1\Sigma}^1 + r_{0\Sigma})^2 + (2x_{1\Sigma}^1 + x_{0\Sigma})^2}}, \text{ кА} \quad (2.75)$$

$$I_{nomin}^{(1)} = \frac{\sqrt{3} \cdot 400}{\sqrt{(2 \cdot 121,8 + 59,1)^2 + (2 \cdot 35,63 + 30,45)^2}} = 2,17 \text{ кА.}$$

де $r_{1\Sigma}$ і $x_{1\Sigma}$ - визначається:

$$r_{1\Sigma} = r_{1T} + r_{A8} + r_{TA2} + r_{1III1} + r_{A4} + r_{1III2} + r_{A3} + r_{TA1} + r_{1KB} \quad (2.76)$$

$$x_{1\Sigma} = x_C + x_{1T} + x_{A8} + x_{TA2} + x_{1III1} + x_{A4} + x_{1III2} + x_{A3} + x_{TA1} + x_{1KB} \quad (2.77)$$

$$r_{1\Sigma} = 0,6 + 0,14 + 0,05 + 0,03 \cdot 35 + 0,65 + 20 \cdot 0,15 + 0,14 + 3 + 20 \cdot 1,28 = 34,2 \text{ мОм}$$

$$x_{1\Sigma} = 0,8 + 13,7 + 0,08 + 0,07 + 0,014 \cdot 35 + 0,17 + 20 \cdot 0,17 + 0,08 + 4,8 + 20 \cdot 0,06 = 24,79 \text{ мОм}$$

$$r'_{1\Sigma} = r_{1\Sigma} + (r_{\phi-H.III1} + r_{\phi-H.III2} + r_{1KB}) = 34,2 + (0,067 \cdot 35 + 0,262 \cdot 20 + 20 \cdot 4) = 121,8 \text{ мОм};$$

$$x'_{1\Sigma} = x_{1\Sigma} + (x_{\phi-H.III1} + x_{\phi-H.III2} + x_{1KB}) = 24,79 + (0,056 \cdot 35 + 0,294 \cdot 20 + 20 \cdot 0,15) = 35,63 \text{ мОм};$$

$$\begin{aligned} r_{0\Sigma} &= r_{0T} + r_{A8} + r_{TA2} + r_{0III1} + r_{A4} + r_{0III2} + r_{A3} + r_{TA1} + r_{0KB} = \\ &= 0,6 + 0,14 + 0,05 + 0,037 \cdot 35 + 0,65 + 0,162 \cdot 20 + 0,14 + 3 + 20 \cdot 2,5 \\ &= 59,1 \text{ мОм}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x_{0\Sigma} &= x_{0m} + x_{A8} + x_{TA2} + x_{0III1} + x_{A4} + x_{0III2} + x_{A3} + x_{TA1} + x_{0KB} = \\ &= 19 + 0,08 + 0,07 + 35 \cdot 0,042 + 0,17 + 20 \cdot 0,164 + 0,08 + 4,8 + 20 \cdot 0,075 \\ &= 30,45 \text{ мОм.} \end{aligned}$$

Всі обрані автомати перевіряють:

					ЕТ і ЕЕ 041.032.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- по відключаючій здатності: $I_{\text{пред.откл}} \geq I_{\text{к.з. max}}^{(3)}$,

де $I_{\text{к.з. max}}^{(3)}$ - максимальний струм трифазного короткого замикання.

- на чутливість захисту:

при захисті автоматами з розчеплювачами уповільненої дії:

$$I_{\text{к.з. min}}^{(1)} \geq 3 \cdot I_{\text{расц ном}},$$

де $I_{\text{к.з. min}}^{(1)}$ - мінімальний струм однофазного к.з. у електрично видаленій точці ділянки мережі, що захищається,

$I_{\text{расц ном}}$ - номінальний струм розчіплювача уповільненого спрацьовування, А.

при захисті автоматами з розчеплювачами миттєвого спрацьовування:

$$I_{\text{к.з. min}}^{(1)} \geq (1,25 \div 1,4) \cdot I_{\text{кст к.з.}}, \quad (96)$$

де $I_{\text{кст к.з.}}$ - струм уставки миттєвого спрацьовування, А;

1,4 – коефіцієнт для автоматів з $I_{\text{ном а}} < 100$ А;

1,25 – коефіцієнт для автоматів з $I_{\text{ном а}} \geq 100$ А.

Перевіримо автомати по граничному струму відключення:

$$I_{\text{пред.откл}} \geq I_{\text{к.з. max}}^{(3)}$$

Усі інші автомати мають граничний струм відключення більше 12,5 кА, тому усі вони задовольняють умові перевірки по граничному струму відключення.

Всі автомати задовольняють умовам перевірки на чутливість захисту.

Електроенергія, призначена для роботи електроприймачів, повинна мати визначені ГОСТ 13109-87 /21/ якісні показники, які забезпечують надійність і економічність роботи електроприймачів. В ПУЕ вказується, що "вся мережа, від цехової підстанції до електроприймачів, має бути перевірена на допустимі відхилення напруги з урахуванням режиму напруги на шинах центру живлення. У разі, якщо відхилення напруги більше відповідної межі, необхідно передбачити в мережах відповідні технічні заходи по

					ЕТ і ЕЕ 041.032.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

регулюванню напруги".

Відхилення напруги - різниця між фактичним значенням напруги U_{ϕ} та номінальним значенням напруги $U_{\text{н}}$ при напрузі, що повільно змінюється, коли швидкість зміни напруги не перевищує 1% в секунду:

$$U = \frac{U_{\phi} - U_{\text{ном}}}{U_{\text{ном}}} \cdot 100\% \quad (2.78)$$

Нормальне допустиме відхилення напруги в мережі низької напруги складає $\pm 5\%$, а максимально допустиме в мережах НН та ВН (напруга до 20 кВ) $\pm 10\%$.

Збиток від відхилення напруги має дві складові - електромагнітна і технологічна. Електромагнітна складова визначається додатковими втратами електроенергії в елементах мережі, а технологічна - пониженням продуктивності технологічного устаткування і продуктивністю праці.

Найбільш чутливі до відхилень напруги освітлювальні установки і конденсаторні батареї. Так, при зниженні напруги на 5% світловий потік ламп розжарювання знижується на 20%, підвищення напруги на 10% знижує їх термін служби в 4 рази.

Значення відхилення напруги на вторинній стороні трансформатора:

$$U_{11} = U_1 + U_{011} - U_{\text{Н1}} - U_{01} - \Delta U_{\text{T}}, \quad (2.79)$$

де $U_{011} - U_{\text{Н1}} - U_{01} = E$ - добавка напруги при регулюванні;

U_1 - відхилення напруги на первинній стороні трансформатора;

$U_{\text{Н1}}$ - відхилення від номінальної напруги в мережі високої напруги для основного регулювального відгалуження обмотки ВН;

U_{01} - відхилення напруги регулювального відгалуження;

U_{011} - відхилення номінальної напруги вторинної обмотки трансформатора від номінальної напруги мережі низької напруги;

ΔU_{T} - втрати напруги в трансформаторі:

$$\Delta U_{\text{T}} = \beta \cdot (R_{\text{T}} \cdot \cos \varphi + X_{\text{T}} \cdot \sin \varphi) = \frac{S_{\text{p}}}{S_{\text{нтр}}} \cdot \left(\frac{\Delta P_{\text{кз}}}{S_{\text{нтр}}} \cdot \cos \varphi + U_{\text{кз}} \cdot \sin \varphi \right) \quad (2.80)$$

					ЕТ і ЕЕ 041.032.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$\text{або } \Delta U_{\tau} = \frac{Q_p}{\sin \varphi} \cdot U_{\kappa 3}, \quad (2.81)$$

де $\Delta P_{\kappa 3}$ та $U_{\kappa 3}$ – паспортні дані трансформатора, відповідно втрати короткого замикання, кВт, і напруга короткого замикання, %.

У застосування до цих умов маємо: $S_{\text{н тр}} = 630$ кВА; $U_{\kappa 3} = 5,5\%$; $\Delta P_{\kappa 3} = 16,5$ кВт. Навантаження трансформатора розраховується по формулі:

$$S_p = \frac{\sqrt{P_p^2 + Q_{\text{нск}}^2}}{N_{\min}} \quad (2.82)$$

$$S_p = \frac{\sqrt{1460,22^2 + 1252,55^2}}{4} = 481 \text{ кВА.}$$

Коефіцієнт активної потужності визначаю, виходячи зі значення коефіцієнта реактивної потужності

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{Q_{\text{нск}}}{P_{\text{п}\Sigma}} \quad (2.83)$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{1252,55}{1669,22} = 0,75.$$

Отже $\cos \varphi = 0,8$, $\sin \varphi = 0,6$.

Трансформатор має номінальну напругу виводів $10 \pm 2 \times 2,5\% / 0,4$ кВ.

На стороні ВН трансформатора підтримується напруга 10,5 кВ ($U_1 = 5\%$, $U_{\text{н}} = 0$). Відхилення напруги на стороні НН трансформатора при включенні його відгалуженням $+2,5\%$ ($U_{01} = 2,5\%$, $U_{011} = 5\%$). Втрати напруги в трансформаторі при розрахунковому навантаженні:

$$\Delta U_m = \frac{481}{630} \cdot \left(\frac{7,6}{630} \cdot 0,8 + 0,055 \cdot 0,6 \right) = 0,03 = 3\%$$

Визначаємо відхилення напруги на стороні НН трансформатора з урахуванням заданих відхилень при включенні його відгалуженням $+2,5\%$.

$$U_{11} = 5 + 2,5 - 0 - 2,5 - 3 = 2\%.$$

Отримане значення не перевищує допустимі межі відхилення напруги.

					ЕТ і ЕЕ 041.032.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

ВИСНОВКИ

У цьому дипломному проєкті було успішно розроблено та обґрунтовано систему електропостачання (СЕП) вузла навантаження цеху металообробної промисловості. Проаналізовано існуючі вимоги до електропостачання на виробничих підприємствах та враховано специфіку роботи металообробного цеху, що характеризується значними пусковими струмами та нерівномірним графіком навантаження.

Проект включав:

- Детальний розрахунок електричних навантажень з урахуванням потужності технологічного обладнання, коефіцієнтів попиту та одночасності. Це дозволило визначити оптимальну потужність трансформаторної підстанції та переріз живлячих кабелів.

- Вибір основного та допоміжного електрообладнання, включаючи силові трансформатори, розподільчі пристрої, апарати захисту та комутації. При цьому враховувалися не тільки технічні характеристики, а й економічна доцільність та експлуатаційна надійність.

- Розробку принципів схем електропостачання та схем головних електричних з'єднань, що забезпечують безперебійну та безпечну подачу електроенергії до всіх споживачів вузла.

- Обґрунтування заходів щодо забезпечення якості електроенергії та електробезпеки. Були враховані вимоги нормативних документів щодо заземлення, блискавкозахисту та захисту від надструмів, що є критично важливим для виробничих об'єктів.

Реалізація запропонованої СЕП дозволить забезпечити надійне, безпечне та ефективне електропостачання вузла навантаження цеху, мінімізувати втрати електроенергії, знизити ризики аварійних ситуацій та підвищити загальну продуктивність виробництва. Розроблені рішення є масштабованими та можуть бути адаптовані для інших подібних виробничих об'єктів металообробної галузі.

					ЕТ і ЕЕ 041.032.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Електропостачання: Конспект лекцій для денної форми навчання спец. 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка/ Ю.С. Олійник, Укр. інж.-пед. академія - Х.: [б.в.], 2020. - 81 с.
2. Електропостачання: методичні вказівки до виконання курсового проекту з курсу для студентів денної форми навчання спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка/ Ю.С. Олійник, Укр. інж.-пед. академія - Х.: [б.в.], 2020. - 51 с.
3. Шестеренко В.Є. Системи електроспоживання та електропостачання промислових підприємств: Підручник для вищих навч. закладів/ В. Є. Шестеренко; Нац. ун-т харчових технологій. - Вінниця: Нова книга, 2004. - 656 с.
4. Закладний О.М. Енергозбереження засобами промислового електропривода: навч. посібник для вищих навч. закладів/ О.М. Закладний, А.В. Праховник, О.І. Соловей. - К.: Кондор, 2005. - 407 с.
5. Енергетична стратегія України на період до 2030 р. Вилучено з <https://de.com.ua/uploads/0/1703-EnergyStratagy2030.pdf>
6. Бакалін Ю.І. Енергозбереження та енергетичний менеджмент: навч. посібник для вищих навч. закладів/ Ю. І. Бакалін. - 3-е вид., доп. та перероб. - Х.: БУРУН і К, 2006. - 320 с.
7. Мілих В.І. Електропостачання промислових підприємств: Підручник для студентів електромеханічних спеціальностей / В.І. Мілих, Т.П. Павленко. – Харків : ФОП Панов А. М., 2016. – 272 с.
8. Енергетика: історія, сучасність і майбутнє. Електроенергетика та охорона навколишнього середовища. Функціонування енергетики у сучасному світі/ [упоряд. С.Г. Плачкова, І.В. Плачков та ін.] – К. 2013 [http://energetika.in.ua/ua/]
9. Козирський В.В. Основи електропостачання: підруч. / Козирський В.В., Волошин С.М., – К.: Компринт, 2021. – 497с.

					ЕТ і ЕЕ 041.032.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

10. Шкрабець Ф.П. Електропостачання: навч. посіб. / Ф.П.Шкрабець; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Д.: НГУ, 2015. – 540 с.

11. Давиденко Л. В. Електропостачання промислових об'єктів. Практикум: навчальний посібник / Людмила Валеріївна Давиденко, Наталія Володимирівна Коменда, Володимир Анатолійович Давиденко, Микола Миколайович Євсюк – Луцьк: ВІП ЛНТУ, 2022.– 244с.

12. Енергетика: історія, сучасність і майбутнє. Електроенергетика та охорона навколишнього середовища. Функціонування енергетики у сучасному світі/ [упоряд. С.Г. Плачкова, І.В. Плачков та ін.] – К. 2013
[<http://energetika.in.ua/ua/>]

					ЕТ і ЕЕ 041.032.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		