

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

До захисту допущено
кафедрою електротехніки та електроенергетики протокол № _____ від _____

завідувач кафедри _____ Артем ЧЕРНЮК
(підпис) (ім'я, прізвище)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

здобувача першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
(першого (бакалаврського) / другого (магістерського))

Проектування СЕП вузла навантаження цеху металообробної промисловості
(тема роботи)

Спеціальність (спеціалізація) 141 «Електроенергетика, електротехніка та
(код та найменування спеціальності; спеціалізації спеціальності)
електромеханіка»

Освітня програма Електричні станції, мережі та системи
(назва освітньої програми)

Здобувач _____ Павло КАПУСТІН
(підпис) (ім'я, прізвище)

Науковий керівник _____ Костянтин БРОВКО
(підпис) (ім'я, прізвище)

Харків – 2026

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

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Завідувач кафедри

Артем ЧЕРНЮК

(ім'я, прізвище)

_____ (підпис)

«__» _____ 2026 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
здобувача першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
(першого (бакалаврського) / другого (магістерського))

КАПУСТІН Павло Володимирович

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

Спеціальність (спеціалізація) 141 «Електроенергетика, електротехніка та
(код та найменування спеціальності; спеціалізації спеціальності)
електромеханіка»

Освітня програма Електричні станції, мережі та системи
(назва освітньої програми)

1. Тема роботи: Проектування СЕП вузла навантаження цеху
металообробної промисловості

керівник роботи Бровко Костянтин Юрійович, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по Університету від «15» грудня 2025 року,

№ 4801-5/4400

2. Строк подання здобувачем роботи: «20» червня 2026 року

3. Вихідні дані до роботи: технологічний процес, характеристика
електроприймачів, кількість та потужність електроприймачів напругою до 1 кВ

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

5. План роботи

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

6. Дата видачі завдання: «__» _____ 2026 року

Здобувач вищої освіти _____ Павло КАПУСТІН
(підпис) (ім'я, прізвище)

Керівник роботи _____ Костянтин БРОВКО
(підпис) (ім'я, прізвище)

РЕФЕРАТ

У дипломній роботі розглянуто питання проектування та вдосконалення системи електропостачання навантажувального вузла металообробного цеху.

Об'єкт дослідження – процес проектування, розрахунку та техніко-економічного обґрунтування системи електропостачання промислового цеху.

Предмет дослідження – система електропостачання навантажувального вузла металообробного цеху, її конфігурація, параметри силового обладнання, засоби компенсації реактивної потужності та захисту.

У процесі виконання роботи проведено аналіз технологічного процесу цеху, визначено категорію надійності електроприймачів. Розраховано електричні навантаження методом упорядкованих діаграм, вибрано оптимальну кількість і потужність цехових трансформаторів із урахуванням компенсації реактивної потужності. Обґрунтовано схему внутрішньоцехової мережі на базі блоків «трансформатор–магістраль», виконано вибір комутаційно-захисних апаратів, розраховано струми короткого замикання та перевірено чутливість захисту. Розроблено заходи з електробезпеки, охорони праці та пожежної безпеки.

Ключові слова: електропостачання, електричні навантаження, цехова трансформаторна підстанція, компенсація реактивної потужності, струми короткого замикання, автоматичний вимикач, електробезпека, металообробний цех.

ABSTRACT

The thesis considers the issue of designing and improving the power supply system of the loading unit of a metalworking shop.

The object of the study is the process of designing, calculating and feasibility study of the power supply system of an industrial shop.

The subject of the study is the power supply system of the loading unit of a metalworking shop, its configuration, parameters of power equipment, means of reactive power compensation and protection.

In the process of performing the work, an analysis of the technological process of the shop was carried out, the reliability category of electrical receivers was determined. Electrical loads were calculated using the method of ordered diagrams, the optimal number and power of shop transformers were selected taking into account reactive power compensation. The scheme of the intra-shop network based on the "transformer-main" blocks was substantiated, switching and protective devices were selected, short-circuit currents were calculated and the sensitivity of protection was checked. Electrical safety, labor protection and fire safety measures were developed.

Keywords: power supply, electrical loads, shop transformer substation, reactive power compensation, short-circuit currents, circuit breaker, electrical safety, metalworking shop.

ЗМІСТ

УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ.....	
ВСТУП.....	
1. Загальна характеристика технологічного процесу проєктованого об'єкта.....	
2. Електричні розрахунки.....	
2.1 Розрахунок електричних навантажень в мережі напругою до 1 кВ	
2.2 Розрахунок потужності КП в мережі напругою до 1 кВ.....	
2.2.1 Визначення потужності компенсуючих пристроїв за умовою вибору оптимального числа цехових трансформаторів.....	
2.2.2 Визначення додаткової потужності КП в мережі напругою до 1кВ.....	
2.3 Розміщення цехових трансформаторів на площі цеху.....	
2.4 Вибір схеми внутрішньоцехової мережі напругою до 1 кВ.....	
2.5 Вибір типу і параметрів комутаційно-захисних апаратів у внутрішньо цехових мережах (для одного з приєднань)	
2.6 Вибір марки і перетину струмоведучих частин	
2.7.1 Розрахунок початкового значення періодичної складової струму трифазного короткого замикання.....	
2.7.2 Розрахунок струмів однофазного короткого замикання в точці К-2	
3. Охорона праці.....	
ВИСНОВОК.....	
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	

					ЕТ і ЕЕ 041.310.000 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Проектування СЕП вузла навантаження цеху металообробної промисловості	Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.		Капустін						
Перевір.		Бровко						
Н. Контр.						гр. ДЕА-Е22		
Затверд.		Чернюк						

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 041.310.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

ВСТУП

Дипломний проєкт спрямовано на створення та вдосконалення схеми електроживлення навантажувального вузла виробничого цеху металообробного профілю. Робота спирається на системний підхід до проєктування, який охоплює вивчення вихідних параметрів, розрахунок споживаної потужності, аргументований добір електричного устаткування та запровадження інженерних заходів, покликаних гарантувати безперебійність, економічну доцільність і безпечну експлуатацію системи живлення.

Щоб реалізувати зазначену мету, в межах дипломної роботи необхідно розв'язати такі ключові задачі:

- дослідити початкову інформацію та режим функціонування металообробного цеху, беручи до уваги специфіку технологічних операцій, перелік встановлених електроприймачів і нормативні вимоги до якості електроенергії;
- виконати обчислення електричних навантажень вузла, враховуючи робочі графіки обладнання, коефіцієнти попиту й одночасності;
- визначити оптимальну конфігурацію мережі електропостачання, здатну підтримувати потрібний рівень надійності та безперервності виробничого циклу;
- здійснити техніко-економічне оцінювання та підбір основних компонентів: силових трансформаторів, комутаційної апаратури, кабельних ліній і захисних пристроїв;
- запропонувати заходи з компенсації реактивної складової, щоб покращити коефіцієнт потужності та зменшити втрати електричної енергії;
- обґрунтувати рішення, націлені на підвищення енергоефективності та скорочення витрат на утримання системи електроживлення.

Виконання дипломного проєкту дасть змогу набути практичного досвіду в галузі проєктування систем електропостачання та сформувані виважені технічні пропозиції, орієнтовані на підвищення ефективності й безвідмовності подачі електроенергії на промислових об'єктах.

									Лист	
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЕТ і ЕЕ 041.310.000 ПЗ					

1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ, ЩО ПРОЕКТУЄТЬСЯ

Вивчення виробничого циклу та його характерних рис дозволяє спрогнозувати й оцінити масштаб потенційних фінансових і технологічних наслідків, спричинених збоями або повною зупинкою подачі електроенергії на об'єкті проектування. З огляду на сьогоденні стандарти безперервності виробництва, особливо в металообробній галузі, де навіть миттєве знеструмлення обертається не лише прямими збитками від вимушеного простою, а й загрожує браком продукції, виходом з ладу коштовного верстатного парку або аварійними інцидентами, подібне дослідження стає критично важливим. Саме спираючись на його підсумки, з урахуванням розміру ймовірних втрат та специфіки технологічних операцій, приймачі електроенергії в цеху класифікують за рівнем необхідної надійності живлення, що, своєю чергою, визначає вектор подальших інженерних розробок. Отримані відомості слугують основою для встановлення потрібної кількості незалежних введів: скажімо, для споживачів першої категорії обов'язкове під'єднання до двох автономних джерел з автоматичним перемиканням на резерв. Крім того, результати такого обстеження дають змогу вмотивовано обрати найкращу структуру живильних і розподільчих ліній – радіальну, магістральну чи комбіновану, залежно від відповідальності під'єданого навантаження. Врешті, саме глибина опрацювання технологічного процесу підказує виважений вибір між упровадженням високоінтелектуальних систем автоматики мережі — на кшталт пристроїв автоматичного повторного ввімкнення або автоматичного введення резерву – і, коли виробничий цикл допускає тимчасові перерви, застосуванням простіших та економічніших схем, що дозволяє не перевантажувати мережу зайвою автоматизацією.

									Лист	
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЕТ і ЕЕ 041.310.000 ПЗ					

2. ЕЛЕКТРИЧНІ РОЗРАХУНКИ

Показники споживаної потужності належать до ключових понять під час розробки систем електроживлення, адже вони відображають обсяг використання електрики та задаються величинами активної складової P (кВт), реактивної Q (квар) або повного струму I (А). Ці параметри непостійні в часі, змінюються залежно від робочих циклів електроприймачів і підкоряються певним закономірностям. Отримані значення навантажень є головними вхідними даними для аргументованого підбору основних компонентів мережі: спираючись на них, визначають необхідну кількість і номінальну потужність силових трансформаторів на різних щаблях системи, обирають типи та характеристики апаратів комутації, захисту й іншого електротехнічного устаткування, а також обчислюють і призначають площі поперечного перерізу провідників ліній.

Слід наголосити, що правильність обчислення розрахункових навантажень прямо позначається на техніко-економічних параметрах майбутньої мережі: невиправдане збільшення або зменшення цих величин спричиняє неоптимальне застосування обладнання, зростання інвестиційних і поточних видатків і, як наслідок, падіння продуктивності роботи об'єкта. Отже, коректне оцінювання споживаної потужності є основою для побудови надійної, економічно доцільної та безпечної схеми електропостачання, яка цілком задовольнятиме виробничі запити й гарантуватиме неперервну роботу технологічних машин.

					ЕТ і ЕЕ 041.310.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

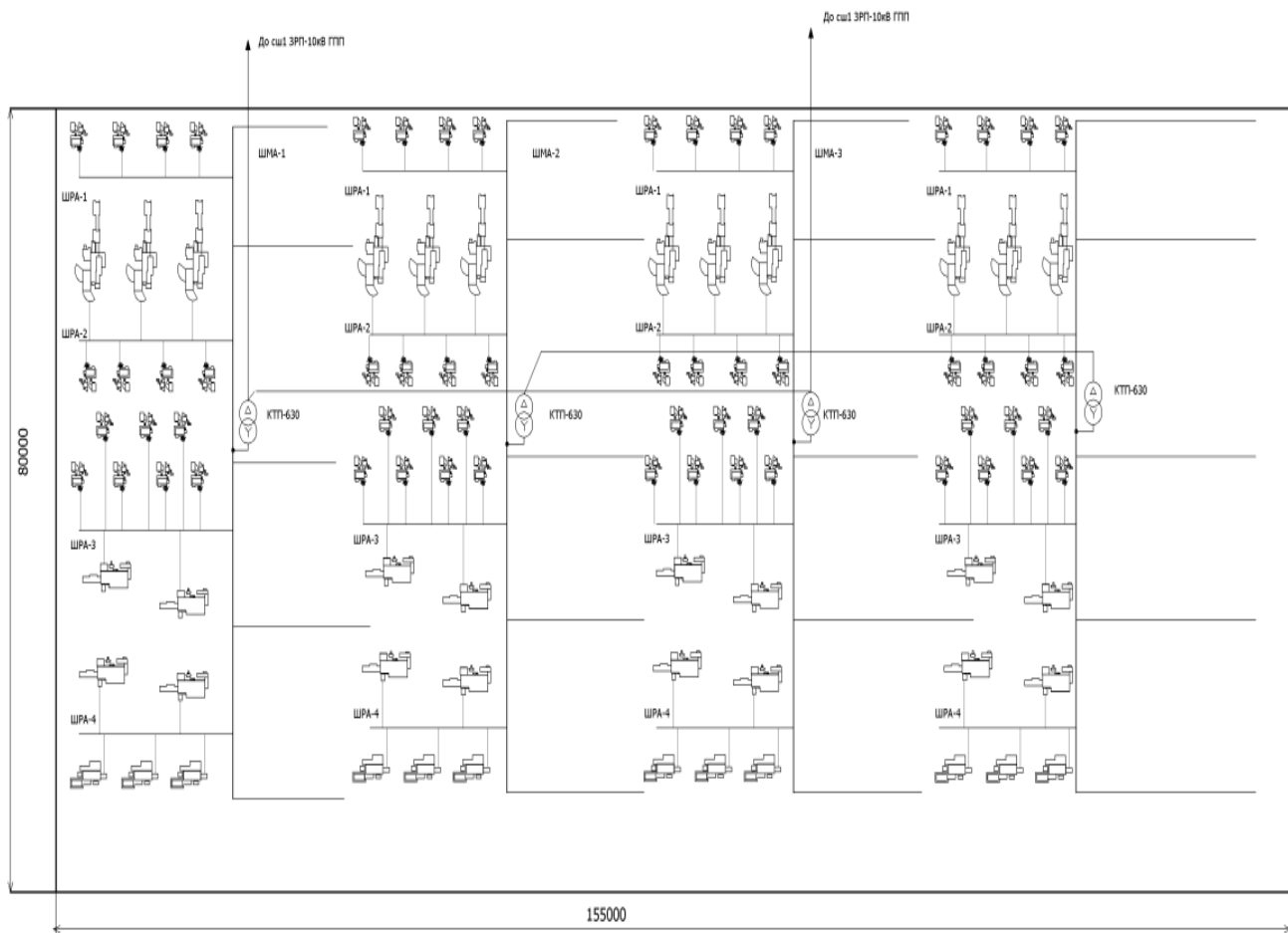


Рисунок 2.1 – План розташування цехового обладнання в цеху

Під час обчислення прогнозованих електричних навантажень беруть до уваги електричну відстань запроєктованого навантажувального вузла, яка визначається числом трансформаторних щаблів між цеховими підстанціями й головними точками живлення – шинами вторинної напруги 6 (10) кВ головної знижувальної підстанції (ГЗП) або підстанції глибокого введення (ПГВ). Самі обчислення проводяться відповідно до процедури, описаної в «Рекомендаціях із розрахунку електричних навантажень».

Базою для встановлення навантажень слугує метод упорядкованих графіків, який сьогодні виступає основним інструментом під час розроблення технічних та робочих проєктів систем електроживлення. За цим методом, розрахункова активна потужність електроприймачів на будь-якому рівні мереж живлення та розподілу (охоплюючи також трансформатори та перетворювальні пристрої) знаходиться

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЕТ і ЕЕ 041.310.000 ПЗ	

через усереднене навантаження та розрахунковий коефіцієнт навантаження. У формалізованому вигляді це записується формулою:

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

Значення коефіцієнта розрахункового навантаження беруть із нормативно-довідкових матеріалів. Цей показник залежить від ефективного числа електроприймачів n_e та середньозваженого групового коефіцієнта використання.

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

У пояснювальній записці наводиться деталізований приклад обчислення для однієї типової групи електроприймачів, який ілюструє алгоритм та послідовність виконання розрахунків. Перші три графи зведеної таблиці результатів заповнюються на підставі вихідних технічних умов на проєктування. Значення коефіцієнтів використання та коефіцієнтів потужності ($\cos \varphi$), що розміщуються в довідкових графах 5 і 6, приймаються як типові для відповідних категорій електроприймачів згідно з чинними нормативно-довідковими матеріалами.

У графі 3 для кожної групи фіксуються мінімальне та максимальне значення одиничної встановленої потужності окремих електроприймачів, що входять до її складу. Окремо слід виділити електродвигуни, які експлуатуються в повторно-короткочасному режимі роботи: їхня паспортна (каталожна) потужність підлягає обов'язковому приведенню до еквівалентної потужності тривалого режиму. Зазначене приведення виконується шляхом перерахунку на нормовану тривалість увімкнення $ПВ = 100\%$ за відповідною формулою, що забезпечує коректне врахування даних навантажень при проєктуванні електричних мереж і виборі комутаційно-захисної апаратури та провідників.

$$P_{n_i} = P_{nascn_i} \sqrt{ПВ_i}, \text{ кВт} \quad (2.2)$$

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

									Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЕТ і ЕЕ 041.310.000 ПЗ				

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

де m – число характерних груп ЕП.

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

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

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

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

$\text{tg} \varphi_i$ – коефіцієнт реактивної потужності i – тої характерної групи ЕП, який відповідає коефіцієнту активної потужності.

На наступному етапі знаходять підсумкові величини середньозмінного навантаження за максимально завантажену зміну для цеху в цілому:

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

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

Визначається середнє важений (груповий) коефіцієнт використання:

$$K_{в.гр.} = \frac{\sum_{i=1}^m P_{см_i}}{\sum_{i=1}^m P_{H_i}} \quad (2.8)$$

Пікове значення сумарного графіка навантаження є визначальним розрахунковим параметром, за яким обирають перерізи струмоведучих частин, номінальні потужності трансформаторів та інші елементи системи електропостачання, виходячи з умов їх допустимого нагрівання. Цей максимум формується під впливом низки випадкових чинників, серед яких вирішальне значення мають загальна кількість приєднаних електроприймачів у вузлі, їхні поодинокі номінальні потужності та специфіка експлуатаційних режимів. Стохастичний характер навантажень істотно ускладнює пряме обчислення розрахункового максимуму, тому для спрощення інженерних розрахунків використовують поняття ефективного числа електроприймачів n_e . Воно дає змогу звести реальну неоднорідну сукупність до ідеалізованої моделі: під n_e розуміють

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЕТ і ЕЕ 041.310.000 ПЗ	

таку умовну кількість однорідних за потужністю та режимом електроприймачів, яка зумовлює розрахунковий максимум, тотожний тому, що виникає від фактичної групи електроприймачів пд, котрі можуть істотно різнитися як за встановленою потужністю, так і за характером роботи. Принципово, що ефективне число визначають для вузла навантаження в цілому, а не для окремих груп, а обчислюють його 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.

Коефіцієнт розрахункового навантаження K_P визначають за довідковими таблицями, виходячи із середньозваженого (групового) коефіцієнта використання $K_{в.гр}$ та ефективного числа електроприймачів n_{ef} . Під активним розрахунковим максимальним навантаженням розуміють умовно постійне в часі навантаження, яке за своїм найгіршим тепловим впливом на елементи системи електропостачання (СЕП) еквівалентне дійсному змінному навантаженню. Для групи електроприймачів напругою до 1 кВ активне розрахункове навантаження обчислюється з використанням зазначеного коефіцієнта K_P за формулою:

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

З огляду на специфіку споживання реактивної потужності електроприймачами, яка майже не залежить від їхнього активного навантаження, приймаємо:

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

Сумарну повну розрахункову потужність, створювану силовими електроприймачами, знаходять за формулою:

									Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЕТ і ЕЕ 041.310.000 ПЗ				

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

Розрахункове значення струму, за яким здійснюють вибір перерізу струмопровідних елементів за умовою допустимого нагріву та визначають параметри електричних апаратів, обчислюють за виразом:

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

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

Розрахунок електричних навантажень від силових електроприймачів

1. На підставі вихідних даних електроприймачі цеху об'єднують у характерні групи, що мають однакові значення коефіцієнта використання K_e та коефіцієнта активної потужності $\cos\phi$.

2. Паспортну потужність груп електроприймачів, які функціонують у повторно-короткочасному режимі (зокрема зварювальні машини шовного зварювання та підйомно-транспортне обладнання), приводять до номінальної потужності тривалого режиму (кВт).

$$P_H = 300 \cdot \sqrt{0,25} = 150 , \text{кВт} \quad (2.14)$$

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

та заносимо ці значення у відповідну колонку табл.2.1.

Таблиця 2.1 Розрахунок електричних навантажень напругою до 1 кВ

					ЕТ і ЕЕ 041.310.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

№п/п	Найменування характерних груп ЕП	Кількість, шт	Паспортні дані ЕП в кВт		Номінальна потужність характерних груп ЕП P _{ном} , кВт	Коефіцієнт вик. Кв	cos w	tg w	Середньозмісне навантаження за найбільш завантажену зміну		Ефективне число ЕП, лс	Коефіцієнт розрахункового навантаження K _p	Розрахунковий максимум навантаження			Розрахунковий струм, І _p , А
			Одного ЕП P _н min/P _н max, кВт	Загальна на P _{пасп.} , кВт					P _{см} , кВт	Q _{см} , квар			P _p , кВт	Q _p , квар	S _p , кВА	
1	Металорізальні верстати дрібносерійного виробництва	75	5	120	120,00	0,2	0,65	1,17	24	28.08						
			40													
2	Металорізальні верстати багатосерійного виробництва	90	10	650	650,00	0,25	0,65	1,17	162.5	216.13						
			120													
3	Вентилятори	20	1	160	160,00	0,7	0,8	0,75	112	84						
			20													
4	Насоси, компресори	35	10	1000	1000,00	0,7	0,8	0,75	700	525						
			300													
5	Крани, тельфери ПВ = 25%	80	3	300	150,00	0,18	0,45	1,98	27	53.46						
			30													
6	Крани, тельфери ПВ = 40%	175	5	1830	1157,39	0,18	0,45	1,98	208.33	412.49						
			80													
7	Зварювальні машини шовного зварювання, кВА	10	30	450	247,50	0,3	0,35	2,68	74.25	198.99						
			100													
8	Елеватори, конвеєри зблоковані	30	10	1200	1200,00	0,6	0,7	1,02	720	734.4						
			600													
9	Разом силові ЕП	515		4684,89					2028,08	2252,55	0,43	0,72	1460,22	2252,55	2684,4	
10	Освітлювальні ЕП (площа цеху), м2	10000			200,00								209	69	220,1	
11	Всього по цеху												1669,22	2321,55	2859.4	2539

3. Підсумовуємо встановлені потужності вузла:

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

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

$$P_{cm1} = P_{H1} \cdot K_{H1} = 120 \cdot 0,22 = 24 \text{ кВт}$$

$$Q_{cm1} = P_{cm1} \cdot tg\varphi_1 = 24 \cdot 1,17 = 28,08 \text{ квар}$$

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

$$P_{cm2} = P_{H2} \cdot K_{H2} = 650 \cdot 0,25 = 162,5, \text{ кВт}$$

$$P_{cm3} = P_{H3} \cdot K_{H3} = 160 \cdot 0,7 = 112, \text{ кВт}$$

$$P_{cm4} = P_{H4} \cdot K_{H4} = 1000 \cdot 0,7 = 700, \text{ кВт}$$

$$P_{cm5} = P_{H5} \cdot K_{H5} = 150 \cdot 0,18 = 27, \text{ кВт}$$

$$P_{cm6} = P_{H6} \cdot K_{H6} = 1157,39 \cdot 0,18 = 208,33, \text{ кВт}$$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЕТ і ЕЕ 041.310.000 ПЗ	Лист

$$P_{см7} = P_{н7} \cdot K_{н7} = 247,5 \cdot 0,3 = 74,25, \text{ кВт}$$

$$P_{см8} = P_{н8} \cdot K_{н8} = 1200 \cdot 0,6 = 720, \text{ кВт}$$

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

5. Підсумовуємо середньозмінні навантаження по вузлу:

$$Q_{см2} = P_{см2} \cdot \text{tg}\varphi_2 = 162,5 \cdot 1,17 = 216,13, \text{ квар}$$

$$Q_{см3} = P_{см3} \cdot \text{tg}\varphi_3 = 112 \cdot 0,75 = 84, \text{ квар}$$

$$Q_{см4} = P_{см4} \cdot \text{tg}\varphi_4 = 700 \cdot 0,75 = 525, \text{ квар}$$

$$Q_{см5} = P_{см5} \cdot \text{tg}\varphi_5 = 27 \cdot 1,98 = 53,46, \text{ квар}$$

$$Q_{см6} = P_{см6} \cdot \text{tg}\varphi_6 = 208,33 \cdot 1,98 = 412,49, \text{ квар}$$

$$Q_{см7} = P_{см7} \cdot \text{tg}\varphi_7 = 74,25 \cdot 2,68 = 198,99, \text{ квар}$$

$$Q_{см8} = P_{см8} \cdot \text{tg}\varphi_8 = 720 \cdot 1,02 = 734,4, \text{ квар}$$

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

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

$$K_{в.гр.} = \frac{\sum_{i=1}^m P_{см_i}}{\sum_{i=1}^m P_{н_i}} = \frac{2028,08}{4687,89} = 0,43 \quad (2.15)$$

7. Визначаємо ефективне число ЕП:

$$N_{эф} = \frac{[\sum_{i=1}^m P_{н_i}]^2}{\sum_1^n P_{ном}^2} = (4687,89)^2 / 600^2 = 61,05 \quad (2.16)$$

8. Виходячи з отриманого групового коефіцієнта використання та ефективного числа електроприймачів, за довідковими таблицями приймаємо коефіцієнт розрахункового навантаження $K_p = 0,72$

9. Розрахунковий максимум активної потужності для вузла визначаємо за формулою:

$$P_p = \kappa_p \cdot \sum_{i=1}^m P_{см_i} = 0,72 \cdot 2028,08 = 1460,22 \text{ кВт} \quad (2.17)$$

10. Враховуючи особливість споживання реактивної потужності ЕП, що мало

					ЕТ і ЕЕ 041.310.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

залежить від завантаження ЕП активною потужністю, приймаємо:

$$Q_p = \kappa_p \cdot \sum_{i=1}^m Q_{cm_i} = 2252,55 \text{ квар} \quad (2.18)$$

11. Повне розрахункове силове навантаження по вузлу дорівнює:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{1460,22^2 + 2252,55^2} = 2684,4 \text{ кВА} \quad (2.19)$$

12. Визначення встановленої потужності освітлювальних ЕП:

$$P_{н.о.} = P_{num.o} \cdot F \cdot 10^{-3} = 20 \cdot 10000 \cdot 10^{-3} = 200 \text{ кВт} \quad (2.20)$$

13. Визначення розрахункового навантаження від освітлювальних ЕП

$$P_{p.o.} = P_{н.о.} \cdot K_{c.o.} \cdot K_{ПРА} = 200 \cdot 0,95 \cdot 1,1 = 209 \text{ кВт} \quad (2.21)$$

$$Q_{p.o.} = P_{p.o.} \cdot \text{tg}\varphi = 209 \cdot 33 = 69 \text{ квар} \quad (2.22)$$

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 компенсуювальних установок (ККУ) напругою до 1 кВ знаходиться шляхом мінімізації приведених витрат у два послідовні етапи:

– Визначення економічно доцільної кількості трансформаторів цехових ТП: на цьому етапі обчислюють потужність ККУ-0,38 кВ, яка відповідає оптимальному за витратами числу цехових трансформаторів.

– Розрахунок додаткової потужності ККУ для мінімізації втрат: на цьому етапі знаходять додаткову потужність ККУ-0,38 кВ, котра забезпечує найвигідніше зниження втрат у трансформаторах цехових підстанцій та приєднаних до них мережах напругою вище 1 кВ, зумовлених перетіканнями реактивної потужності.

									Лист	
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЕТ і ЕЕ 041.310.000 ПЗ					

Повна реактивна потужність ККУ-0,38 кВ визначається як сума:

$$Q_{нк} = Q_{нк1} + Q_{нк2}, \text{ квар} \quad (2.23)$$

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.

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

Визначення кількості та одиничної потужності цехових трансформаторів виконується спільно з підбором пристроїв компенсації реактивної потужності. Рішення приймається на підставі техніко-економічного порівняння варіантів, яке враховує питому щільність навантаження, величину активного розрахункового навантаження та інші технічні фактори. Потужність цехових трансформаторів обирають за показником питомої щільності навантаження цеху відповідно до формули:

$$\gamma = \frac{Sp}{F}, \text{ кВА/м}^2 \quad (2.24)$$

Визначення кількості та номінальної потужності цехових трансформаторів проводять у нерозривному зв'язку з вибором пристроїв компенсації реактивної потужності, що дає змогу досягти найкращих техніко-економічних показників. Таке рішення ухвалюють на основі ґрунтовних техніко-економічних розрахунків, до уваги беруть питому щільність електричного навантаження, розрахункову активну потужність, категорію споживачів за надійністю живлення, режими експлуатації обладнання та інші технічні й експлуатаційні чинники, що впливають на ефективність системи загалом.

					ЕТ і ЕЕ 041.310.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Для обґрунтування раціональної потужності цехових трансформаторів доцільно орієнтуватися на питому щільність навантаження, яку знаходять як відношення повної розрахункової потужності цеху до його площі, а також на повне розрахункове навантаження відповідного вузла. Спираючись на ці величини, можна сформулювати такі орієнтовні рекомендації: якщо питома щільність перевищує 0,2–0,3 кВА/м², а сумарне розрахункове навантаження становить понад 3000–4000 кВА, доцільним з економічної точки зору стає застосування трансформаторів потужністю 1600–2500 кВА, оскільки за високої концентрації навантажень вони забезпечують вигідніші техніко-економічні параметри. Навпаки, за менших значень питомої щільності та невеликої сумарної потужності рекомендують встановлювати трансформатори на 400–1000 кВА — це дозволяє уникнути необґрунтованого завищення встановленої потужності, скоротити капіталовкладення та отримати гнучкіше керування навантаженням під час зміни режимів роботи цеху. Подібний диференційований підхід дає змогу підібрати трансформатори, які найбільше відповідають конкретним умовам експлуатації та гарантують оптимальне співвідношення між надійністю, економічністю й тривалим строком служби системи електропостачання.

Порядок вибору числа цехових трансформаторів

Методика вибору кількості цехових трансформаторів є такою: для кожної технологічно зосередженої групи однотипних за потужністю цехових трансформаторів мінімально необхідне їх число, яке забезпечує покриття розрахункового активного максимуму навантаження, обчислюється за виразом:

$$N_{т.мін} = \frac{Pr.c. + Pr.o.}{\beta \cdot S_{н.тр.}} + \Delta N, шт \quad (2.25)$$

де $Pr.c. + Pr.o.$ – 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.

									Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЕТ і ЕЕ 041.310.000 ПЗ				

Під час вибору номінальної потужності трансформаторів доцільно обмежувати транзит реактивної потужності крізь них, підтримуючи коефіцієнт завантаження в рекомендованому діапазоні 0,7–0,8. Це забезпечує найповніше використання активної потужності трансформаторів та зменшує втрати, спричинені передаванням реактивної складової.

Економічно доцільне число трансформаторів визначається як:

$$N_{opt} = N_{m.min} + m, шт \quad (2.26)$$

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

При визначенні m по кривих довідкової літератури приймаємо допущення:

$$z_{ПС}^* = 0,5; \quad z_{ПС}^* = \frac{(z_{НК} - z_{БК})}{z_{ТП}} \quad (2.27)$$

де $z_{НК}$, $z_{БК}$, $z_{ТП}$, - 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:

$$Q_m = \sqrt{(\beta \cdot N_{opt} \cdot S_{н.тр})^2 - (P_p + P_{p.o.})^2}, \text{ квар} \quad (2.28)$$

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

$$Q_{нк1} = Q_{\Sigma} - Q_m, \text{ квар} \quad (2.29)$$

Підкореневий вираз має бути невід'ємним. Для цього слід скоригувати коефіцієнт завантаження цехових трансформаторів так, щоб зменшуване перевищувало від'ємник.

Потужність НБК, що припадає на один трансформатор:

									Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЕТ і ЕЕ 041.310.000 ПЗ				

$$Q'_{нк1} = \frac{Q_{нк1}}{N_{онт}}, \text{ квар} \quad (2.30)$$

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

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

$$Q''_{НК1.СПР} = N_{онт} \cdot Q'_{НК1.СПР}, \text{ квар} \quad (2.31)$$

Нескомпенсована реактивна потужність в мережі до 1 кВ складе:

$$Q_{неск} = (Q_p + Q_{p.o.}) - Q''_{НК1.СПР}, \text{ квар} \quad (2.32)$$

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:

$$Q_{НК2} = Q_{КЛЬК} - \gamma \cdot N_{ТЕ} \cdot S_{НТ}, \text{ квар} \quad (2.33)$$

де γ - розрахунковий коефіцієнт, що визначається за кривими рис. 4.8 та 4.9 [1] залежно від коефіцієнтів K_1 , K_2 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

$$\gamma = \frac{K_1}{30} \quad (2.34)$$

- для двоступеневої схеми живлення трансформаторів від розподільчих пунктів (РП) 10(6) кВ, на яких відсутні ДДРП, $\gamma = \frac{K_1}{60}$. (2.35)

					ЕТ і ЕЕ 041.310.000 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:

$$K_1 = \frac{(Z_{HK} - Z_{BK})}{C_0}; \quad (2.36)$$

де C_0 – 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:

$$K_2 = \frac{L \cdot S_{H.TP}}{F}; \quad (2.37)$$

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):

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

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

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

2. Мінімальне число трансформаторів:

$$N_{m.min} = \frac{P_{p.c.} + P_{p.o.}}{\beta \cdot S_{H.TP}} + \Delta N = \frac{1660,22}{0,66 \cdot 630} + 0,01 = 4 \text{ шт.} \quad (2.38)$$

Економічно оптимальне число трансформаторів

3. $N_{opt} = N_{m.min} + m, \text{ шт}$ (2.39)

									Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЕТ і ЕЕ 041.310.000 ПЗ				

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

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

$$Q_T = \sqrt{(\beta \cdot N_{opt} \cdot S_{н.спр})^2 - (P_p + P_{p.o.})^2} = \sqrt{(0,66 \cdot 4 \cdot 630)^2 - 1660,22^2} = 99,52 \text{ квар} \quad (2.40)$$

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

$$Q_{нк} = Q_{p\Sigma} - Q_T = 2252,55 - 257,04 = 2153,03 \text{ квар} \quad (2.41)$$

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

$$Q_{нк} \text{ '} = \frac{Q_{нк}}{N_{opt}} = \frac{2153,03}{4} = 538,3 \text{ квар} \quad (2.42)$$

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

$$Q_{нк1.спр} \text{ '}' = N_{opt} \cdot Q_{нк1.спр} \text{ '}' = 2 \cdot 200 + 2 \cdot 300 = 1000 \text{ квар} \quad (2.43)$$

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

$$Q_{неск} = (Q_p + Q_{p.o.}) - Q_{нк1.спр} \text{ '}' = 2252,55 - 1000 = 1252,55 \text{ квар} \quad (2.44)$$

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

$$Q_{нк2} = Q_{неск} - \gamma \cdot N_{TE} \cdot S_{HT} = 1252,55 - 0,5 \cdot 4 \cdot 630 = -7,45, \text{ квар} \quad (2.45)$$

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

									Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЕТ і ЕЕ 041.310.000 ПЗ				

2.3. Розташування цехових трансформаторів на площі цеху

Вибір місць розташування цехових трансформаторних підстанцій належить до ключових проєктних рішень і залежить від щільності електричного навантаження, просторової конфігурації технологічного устаткування, наявності засобів компенсації реактивної потужності та мікрокліматичних характеристик виробничої зони. Узагальнений досвід проєктування й експлуатації дозволяє сформулювати низку рекомендацій щодо раціонального розміщення підстанцій. Зокрема, обґрунтовано перевагу комплектних трансформаторних підстанцій (КТП), які забезпечують прискорений монтаж, незалежний від загальнобудівельних робіт. Принциповою вимогою є максимальне наближення КТП до центрів електричних навантажень, що дає змогу скоротити протяжність низьковольтних мереж, зменшити витрати кольорових металів і знизити втрати електроенергії. Подрібнення одиничної потужності підстанцій з одночасним їхнім наближенням до споживачів розглядається як ефективний засіб підвищення енергоефективності вже на стадії проєктування.

Параметри КТП – місце встановлення, одинична потужність і кількість трансформаторів – повинні відповідати розрахунковим навантаженням, враховувати умови довкілля та гарантувати необхідний рівень безперебійності живлення. Залежно від умов експлуатації компонування цехових ТП може бути внутрішньоцеховим, вбудованим, прибудованим або окремо розташованим. Для умов металообробного цеху прийнято внутрішньоцехове розміщення трансформаторів у так званих «мертвих зонах» роботи мостових кранів, що дозволяє раціонально використовувати виробничу площу. Внутрішньоцехові ТП реалізують принцип глибокого введення напруги понад 1 кВ безпосередньо до споживачів, істотно скорочуючи довжину розподільчих мереж низької напруги та знижуючи як капітальні, так і експлуатаційні витрати.

									Лист	
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЕТ і ЕЕ 041.310.000 ПЗ					

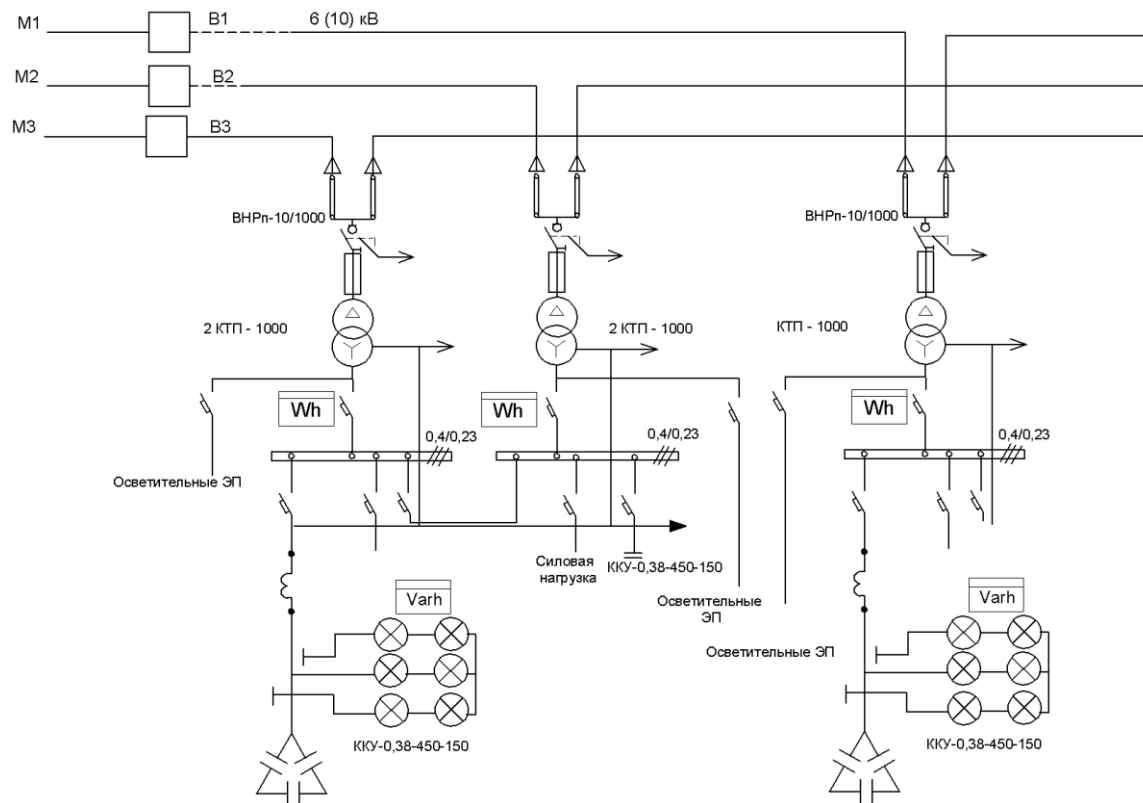


Рисунок 2.2. – Схема сумісного живлення силового та освітлювального навантаження від КТП з КРП в мережі до 1 кВ

Для резервування навантаження на випадок вимкнення одного з трансформаторів у мережах низької напруги передбачають резервні перемички. Їхню пропускну здатність приймають на рівні 20–30 % потужності трансформатора, якщо зв'язок виконано кабельними лініями, та до 60 % у разі застосування шинопроводів. Двотрансформаторні КТП застосовують за високої щільності навантаження або за наявності споживачів 1-ї категорії; потужність трансформаторів при цьому вибирають із урахуванням допустимих перевантажень відповідно до чинних нормативних вимог. У цехових ТП установлюють трифазні трансформатори напругою 6–10 кВ – масляні, із заповненням негорючою рідиною або сухі. Для КТП внутрішнього встановлення перевагу віддають трансформаторам закритого виконання (типів ТМЗ, ТНЗ, ТСЗ) у герметичному кожусі, що дозволяє розміщувати їх безпосередньо в цеху. Рекомендованою є схема з'єднання обмоток Δ/Y_0-11 : вона характеризується зниженим опором нульової

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЕТ і ЕЕ 041.310.000 ПЗ	

послідовності, завдяки чому зростають струми однофазного короткого замикання та поліпшуються умови спрацьовування захисних апаратів.

2.4. Вибір схеми внутрішньоцехової мережі напругою до 1 кВ

Конфігурація схеми живлення цехових трансформаторів залежить від їхньої кількості, розміщення в межах цеху та категорії під'єднаних споживачів. Відповідно до вимог чинної нормативної бази – Правил улаштування електроустановок (ПУЕ) і галузевих рекомендацій з проєктування систем електропостачання промислових об'єктів – пріоритет надають схемі подвійних наскрізних магістралей. Для трансформаторів одиничною потужністю 1600–2500 кВА на одну магістраль раціонально заводити два-три приєднання, тоді як для агрегатів меншої потужності кількість приєднань можна збільшувати до трьох-чотирьох. У разі встановлення в цеху лише двох трансформаторів їх, як правило, живлять за радіальними схемами. У сучасній практиці, завдяки розташуванню підстанцій безпосередньо в центрах електричних навантажень, у мережах до 1 кВ дедалі частіше впроваджують схему «блок трансформатор–магістраль» (БТМ), типові приклади якої ілюструє рис. 2.3 б, в.

					ЕТ і ЕЕ 041.310.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

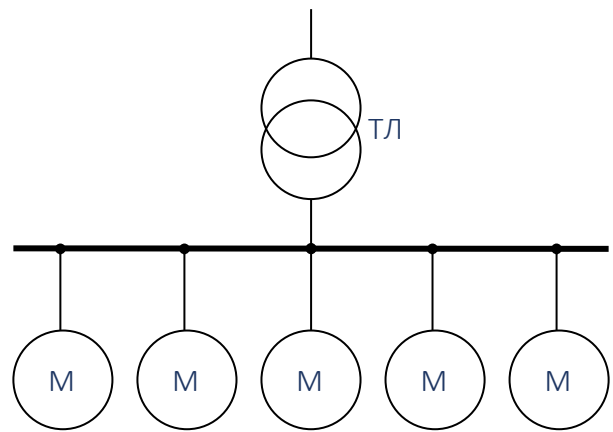
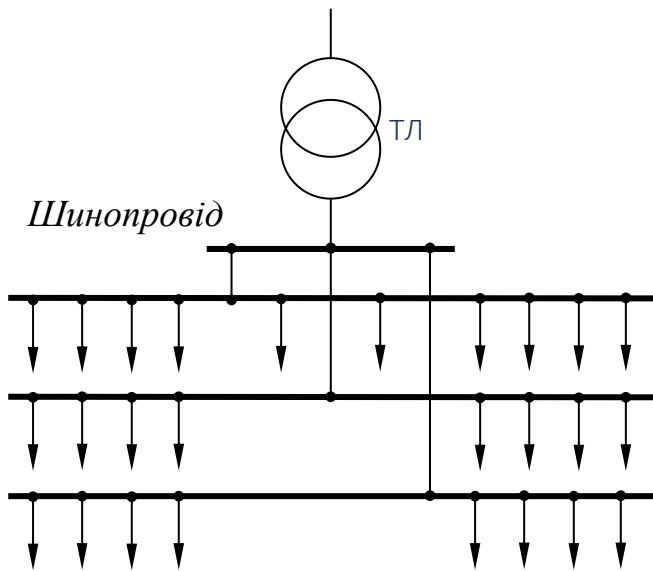


Рисунок 2.4 – Радіальна схема живлення ЕП Рисунок 2.5 – Змішана схема живлення ЕП

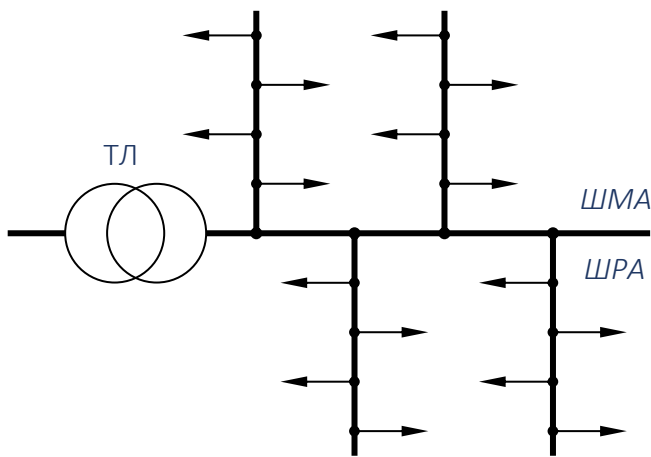


Рисунок 2.6 – Магістральна схема живлення ЕП

Такі конфігурації набули поширення для електроживлення цехових мереж у механічних цехах машинобудівних заводів, насамперед за умов потокового виробництва, де критичного значення набувають компактність, безвідмовність і адаптивність системи розподілу електроенергії. За принципом побудови силові електричні мережі поділяють на три базові різновиди: радіальні, магістральні та комбіновані (змішані). Схема «блок трансформатор–магістраль» (БТМ) є підтипом магістральних схем, спеціально пристосованим для живлення розосереджених навантажень у виробничій зоні.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Схеми живлення електроприймачів низької напруги (НН)

Електроприймачі низької напруги живлять за радіальними, магістральними або змішаними схемами залежно від характеру навантажень, планування цеху та технологічних умов. Радіальна схема (окрема лінія до кожного споживача від РПНН) доцільна при концентрованих, нерівномірно розподілених навантаженнях, у вибухо- та пожежонебезпечних зонах; її перевага – висока надійність, недолік – значні витрати на кабелі та апаратуру. Магістральна схема ефективна при рівномірному розміщенні споживачів або живленні технологічно пов'язаних груп через шинопроводи, що дає змогу застосовувати індустріальний монтаж і гнучко змінювати точки підключення, проте пошкодження магістралі знеструмлює всіх приєднаних споживачів (недолік компенсується резервними перемичками між сусідніми магістралями).

На практиці переважають змішані схеми, що поєднують сильні сторони обох підходів. Типове рішення для механічних цехів – система «блок трансформатор–магістраль»: від трансформатора відходить магістральний шинопровід, до якого приєднуються розподільчі штепсельні шинопроводи, а від них радіальними лініями живляться окремі електроприймачі. На окремих ділянках також установлюють розподільчі пункти, під'єднані до найближчих шинопроводів, а в цехах із важкими умовами (прокатне, ковальське, ливарне виробництво) саме через такі пункти організовують усю розподільчу мережу.

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

В експлуатації електричних мереж можливі аварійні режими – перевантаження та короткі замикання, що призводять до небезпечного зростання струму, пошкодження ізоляції та пожеж. Для захисту внутрішньоцехових мереж застосовують плавкі запобіжники, автоматичні вимикачі (автомати) й теплові реле; найширші можливості мають автомати. Вони вигідно відрізняються від запобіжників: забезпечують стабільні, регульовані захисні характеристики при

									Лист	
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЕТ і ЕЕ 041.310.000 ПЗ					

перевантаженнях, гарантовано вимикають усі три фази, унеможливаючи роботу в неповнофазному режимі, та є багаторазовими пристроями, що дозволяє інтегрувати їх у схеми АВР та АПВ. Завдяки цьому автомати широко використовують у мережах змінного струму до 660 В.

Автомати оснащуються максимальними розчіплювачами – електромагнітними реле прямої дії, які реалізують струмове відсічення та максимальний струмовий захист. Розчіплювачі можуть спрацьовувати миттєво або з витримкою часу (годинниковий механізм чи електронна схема), що регулюється в межах, наприклад, 0,2–0,4 с або 0,4–0,6 с. Це забезпечує незалежну витримку часу, узгоджену селективність захисту й вимкнення лише пошкодженої ділянки без знеструмлення всієї мережі.

Автомати вибирають з дотриманням наступних вимог:

$$U_{a.ном} > U_{ном.с} \quad (2.46)$$

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

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

$$I_{розч.ном} \geq I_{розр.тах} \quad (2.47)$$

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

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

Для одиночних двигунів, що захищаються автоматом:

$$I_{розр.тах} = I_{ном.дв} \quad (2.48)$$

Для елементів мережі, схильних до технологічних перевантажень, слід застосовувати автоматичні вимикачі з регульованим розчіплювачем сповільненого спрацьовування, який виконує функцію захисту від перевантаження. Струм уставки такого розчіплювача обирається відповідно до виразу:

$$I_{уст.п} \geq (1,3 \div 1,5) I_{розр.тах} \quad (2.49)$$

При виборі струму уставки миттєвого спрацьовування електромагнітного розчеплювача, що здійснює захист від к.з., $I_{уст.к.з.}$, необхідно відбудуватися від

									Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЕТ і ЕЕ 041.310.000 ПЗ				

короткочасних перевантажень, двигунів, що викликаються пуском (самозапуском), по вираженню:

$$I_{уст\ к.з.} \geq (1,5 \div 1,8)I_{пер}, \quad (2.50)$$

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:

$$I_{перзр} = I_{пуск} = k_{пуск} \cdot I_{ном\ дв}, \quad (2.51)$$

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

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

$$I_{перзр} = \sum_{i=1}^n I_{пуски}, \quad (2.52)$$

де $\sum_{i=1}^n I_{пуски}$ - 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:

$$I_{пер} \geq k_c \cdot \sum_1^{n-1} I_{н.дв} + I_{пуск.мак}, \quad (2.53)$$

де $\sum_1^{n-1} I_{н.дв}$ - сума номінальних струмів двигунів, які приєднані до лінії, що захищається, без врахування найбільш потужного двигуна;

$I_{пуск\ мак}$ – 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:

$$I_{пред.вимк.} \geq I_{к.з.мак}^{(3)} \quad (2.54)$$

- на чуттєвість захисту:

									Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЕТ і ЕЕ 041.310.000 ПЗ				

- при захист автоматами з розчеплювачами сповільненої дії:

$$I_{к.з.мин}^{(1)} \geq I_{розч.ном} \quad (2.55)$$

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

$I_{розч.ном}$ – номінальний струм розчеплювача сповільненого спрацювання, А.

– при захисті автоматами з розчеплювачами миттєвого спрацювання:

$$I_{к.з.мин}^{(1)} \geq (1,25 \div 1,4)I_{уст.к.з.} \quad (2.56)$$

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

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

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

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

– при захисті ділянки мережі автоматом з розчеплювачем миттєвого спрацювання:

$$I_{уст.к.з.} \leq 4,5I_{тр.доп} \quad (2.57)$$

де $I_{тр.доп}$ – тривало допустимий струм провідника;

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

$$I_{уст.к.з.} \leq 1,5I_{тр.доп} \quad (2.58)$$

Селективні автомати перевіряють на динамічну та термічну стійкість за виразами:

					ЕТ і ЕЕ 041.310.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$i_{\text{дин}} \geq i_y \quad (2.59)$$

$$B_{K.\text{дон}} \geq I_{\text{п.о.}}^2 \cdot t_{\text{снр}} \quad (2.60)$$

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; $K_y = 1 + e^{-0.01/T_a}$;

$$T_a = \frac{X_K}{2 \cdot \Pi \cdot f \cdot r_K} \quad (2.61)$$

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

Наведемо порядок вибору типу та параметрів автоматичних вимикачів згідно з розрахунковою схемою, де позначено місця їх встановлення та функціональне призначення.

Вимикачі QF1–QF3 призначені для захисту асинхронних двигунів, розташованих у приміщенні з нормальним виробничим середовищем. Режим роботи двигунів відповідає режиму роботи приводних механізмів.

Вимикачі QF4–QF7 мають ідентичні параметри, оскільки захищають електроприймачі, рівномірно розподілені по шинопроводах ШРА1–ШРА4.

Вимикач QF8 є ввідним, його параметри визначаються встановленою потужністю трансформатора з урахуванням допустимих перевантажень згідно з чинними нормативними вимогами до навантажувальної здатності трансформаторів.

Вимикач QF9 — секційний, його параметри приймаються аналогічними ввідному автомату.

Вибір параметрів вимикачів QF1–QF3 розпочинаємо з визначення номінальних струмів двигунів, що підлягають захисту. За довідковими даними встановлюємо тип і потужність двигунів, а за ними — відповідні номінальні струми:

$$I_{\text{н.об.}} = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi \cdot \eta}, A; \quad (2.62)$$

									Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЕТ і ЕЕ 041.310.000 ПЗ				

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

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

$$I_{пуск} = k_n \cdot I_{н.дв.}, \text{ A}; \quad (2.63)$$

$$I_{пуск} = 6 \cdot 99 = 594 \text{ A};$$

На підставі розрахункових даних до встановлення приймаємо автоматичний вимикач типу А3710, номінальні параметри якого наведено в таблиці 10.4 [2]. Під час вибору номінального струму комбінованого електромагнітного розчіплювача, вбудованого в шафу, необхідно застосувати тепловий поправочний коефіцієнт 0,85:

$$I_{н.розч} = \frac{I_{н.дв.}}{0,85}, \text{ A}, \text{ A}; \quad (2.64)$$

$$I_{н.розч} = \frac{99}{0,85} = 117, \text{ A}$$

Вибираємо розчеплювач з номінальним струмом $I_{н.розч} = 125 \text{ A}$.

Встановлюємо неможливість спрацювання (відстроюємося від пускових струмів) автомата при пуску двигуна:

$$I_{ср.ел} = 1,25 \cdot I_{пуск}, \text{ A}, \text{ A}; \quad (2.65)$$

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

Приймаємо уставку струму розчеплювача 1000 A .

Розраховуємо навантаження шинопроводу ШРА-73-1.

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

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

									Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЕТ і ЕЕ 041.310.000 ПЗ				

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

$$I_{пik} = I_{пyск.маx} + \sum_1^{n-1} I_{номдв} = 594 + 70 + 56 = 720 A$$

Вибираємо номінальний струм електромагнітного розчеплювача з врахуванням теплового поправочного коефіцієнта:

$$I_{н.розч} \geq I_{P.ШРА-1} \quad (2.66)$$

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

$$I_{пik} \leq I_{ср.ел.розч} \quad (2.67)$$

Результати розрахунку заносимо в таблицю.

Вибір ввідного автомата. Параметри ввідних автоматичних вимикачів визначають, виходячи зі встановленої потужності цехових трансформаторів, та враховують допустиме перевантаження в післяаварійному режимі, регламентоване ДСТУ 3463-96.

$$I_{н.ав.} = \frac{1,4 \cdot S_{ном.т}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{1,4 \cdot 630}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 1341,7 A.$$

За струмом післяаварійного режиму, з урахуванням теплового поправочного коефіцієнта, вибираємо номінальний струм селективного автоматичного вимикача з витримкою часу, незалежною від величини струму короткого замикання:

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

$$1576,5 < 1600$$

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

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

					ЕТ і ЕЕ 041.310.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

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

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

$$I_{p.секції} = \frac{(0,68)1341,7}{0,85} = 1073,3 A$$

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:

$$I_{p.max} \leq I_{трив.доп} \quad (2.54)$$

де $I_{p.max}$ – розрахунковий максимальний струм лінії, А;

$I_{трив.доп}$ – тривало допустимий струм стандартних перерізів, А.

Розрахунок кола за умовою нагріву починають із вибору марки провідника, яка залежить від характеристик виробничого середовища, планувальної конфігурації цеху та способу прокладання мережі. До визначення перерізів проводів і кабелів напругою до 1 кВ переходять після завершення вибору захисних апаратів, оскільки переріз, обраний за допустимим нагрівом, підлягає обов'язковій перевірці на відповідність вимогам захисту.

$$I_{трив.доп} \geq k_3 \cdot I_3 \quad (2.55)$$

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

k_3 – коефіцієнт захисту, який визначається за довідковими даними.

Для електрообладнання, яке є вибухобезпечним, однак не належить до пожежобезпечного, і при цьому може зазнавати технологічних перевантажень

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЕТ і ЕЕ 041.310.000 ПЗ	

(наприклад, металорізальні верстати, підйомно-транспортні механізми, зварювальні агрегати), рекомендовано застосовувати проводи та кабелі з гумовою ізоляцією. Для таких ліній коефіцієнт захисту беруть рівним 1.

Обраний за нагрівом та перевірений на відповідність вимогам захисту переріз кабелю підлягає подальшій перевірці за допустимою втратою напруги відповідно до умови:

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

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

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

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

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 перерізи. 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:

$$I_{\text{сер.розч}} \leq I_{\text{трив.доп}} \quad (2.58)$$

При захисті проводів з паперовою ізоляцією у всіх приміщеннях:

$$I_{\text{н.розч}} \leq I_{\text{трив.доп}} \quad (2.59)$$

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:

$$I_{\text{у.спр.ел.м.}} \leq 4,51 I_{\text{трив.доп}} \quad (2.60)$$

									Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЕТ і ЕЕ 041.310.000 ПЗ				

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

$$I_{сер.розч} \leq 1,5I_{трив.доп} \quad (2.61)$$

Для автоматів з нерегульованим розчеплювачем зі зворотньою залежною характеристикою:

$$I_{сер.розч} \leq I_{трив.доп} \quad (2.62)$$

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

У схемі з глухозаземленою нейтраллю (БТМ) трансформатор струму встановлюють у нейтральний провід трансформатора. Від максимального реле подається відключаючий імпульс, який може діяти або на загальний (ввідний) автоматичний вимикач QF8, розташований за цеховим трансформатором (рис. 2.7, а), або на відключаючу котушку комутаційного апарата з боку високої напруги – вимикач навантаження (рис. 2.7, б).

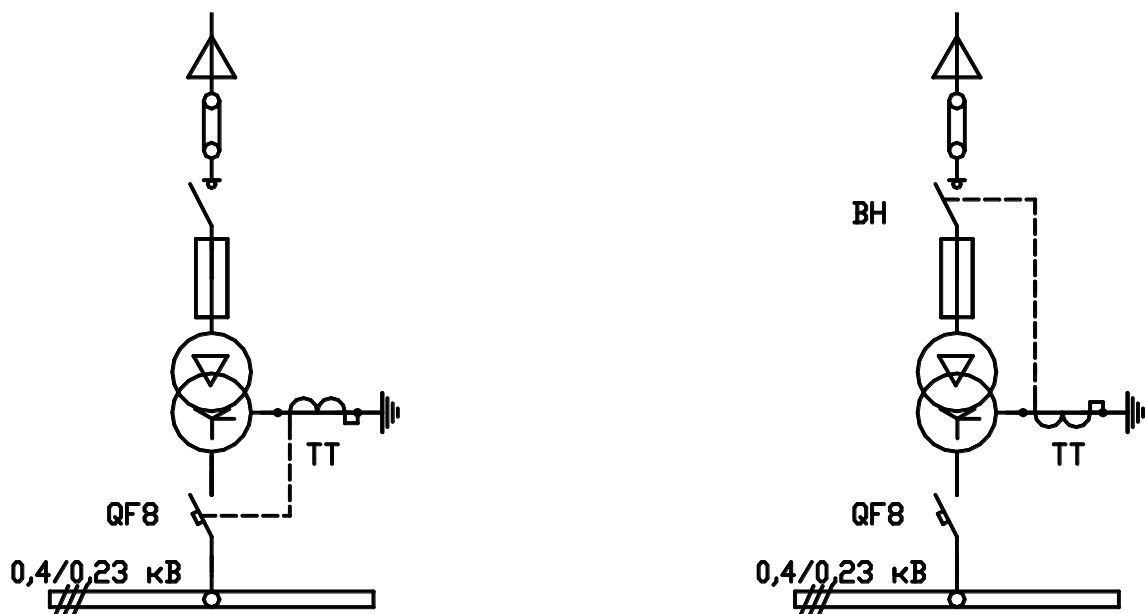


Рисунок 2.7 – Схема струмового захисту нульової послідовності при схемі БТМ
а – дія на вводній автомат; б – дія на вимикач навантаження.

									Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЕТ і ЕЕ 041.310.000 ПЗ				

Захист, що реагує на струм нульової послідовності, функціонує безвідносно до величини робочих струмів лінії, однак його застосування призводить до ускладнення захисної системи загалом. Для підвищення чутливості захисту доцільно збільшувати значення струму однофазного короткого замикання. Цього можна досягти шляхом раціонального вибору схеми з'єднання обмоток цехового трансформатора, а також впровадженням принципу «подрібнення підстанцій» під час їх розташування в межах цеху. Окремо слід розглянути індуктивний опір петлі «фаза – нуль»: якщо в мережі застосовано кабелі з алюмінієвою оболонкою, опір нульової послідовності знижується настільки суттєво, що прокласти четверту жилу немає потреби. При цьому принципово важливо забезпечити надійне з'єднання алюмінієвої оболонки із заземлювальним контуром на обох кінцях кабелю.

					ЕТ і ЕЕ 041.310.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Таблиця 2.2 – Вибір параметрів автоматів і СВЧ

№ автомата	Назва автомата (місце в схемі)	Номинальна потужність, P_n , кВт / Розрахункове навантаження P_r , кВт; S_p , кВА	Номін. струм, А / Розр. струм, А	Кратність пускового струму, Кл	Пуск. струм, пик. струм, А	Тепл. поправ. коеф.	А	Ном. струм розч., А	Струм уставки розчеплювача,	Тип автомата, А	Коеф. захисту, K_z	Допуст. струм СВЧ, А	Перевірка вибраного перерізу за умови	Остаточнo вибраний марка і переріз СВЧ, мм ²	Перевірка СВЧ по втраті напруги
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
QF1	ШРА-1-АД-1	55	99	6	594	0,85	117	125	1000	A3710/160	1	115	140	ABBG(3*50)	5
QF2	ШРА-1-АД-2	37	70	6	420	0,85	82	100	630	A3710/160	1	70	115	ABBG(3*25)	4,9
QF3	ШРА-1-АД-3	30	56	6	336	0,85	66	80	630	A3710/160	1	70	90	ABBG(3*16)	6
QF4	ШМА-ШРА-1	-	225	-	720	0,85	265	320	2500	A3730/400	1	400		ШРА-73	
QF5	ШМА-ШРА-2	-	225	-	720	0,85	265	320	2500	A3730/400	1	400		ШРА-73	
QF6	ШМА-ШРА-3	-	225	-	720	0,85	265	320	2500	A3730/400	1	400		ШРА-73	
QF7	ШМА-ШРА-4	-	225	-	720	0,85	265	320	2500	A3730/400	1	400		ШРА-73	
QF8	Тр-р-ШМА	630	1340	-	-	-	-	1600	4000	ВА-55-43/1600	-	1600		ШМА-73	
QF9	Секційний	-	940	-	-	-	-	1600	3000	приймаємо 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

Розрахунок струмів короткого замикання в мережах до 1 кВ виконують для: перевірки стійкості автоматичних вимикачів та шинопроводів до дії струмів к.з.; перевірки захисних апаратів (автоматів і запобіжників) за граничною вимикаючою здатністю; оцінювання чутливості захистів.

Для цього визначають максимальне значення струму трифазного короткого замикання (використовується для перевірки апаратів за граничним струмом відключення) та мінімальне значення струму однофазного короткого замикання в найвіддаленішій від джерела точці мережі (для перевірки чутливості захисту).

Розрахунок струмів к.з. у низьковольтних мережах має дві суттєві особливості: він виконується в іменованих одиницях, а також вимагає врахування активних та індуктивних опорів усіх елементів короткозамкнутого кола – провідників, трансформаторів струму, струмових котушок автоматів, опорів дуги, контактів і контактних з'єднань. Впливом асинхронних двигунів дозволено знехтувати, якщо їхній сумарний номінальний струм не перевищує 10 % початкового діючого значення періодичної складової струму к.з., розрахованого без урахування двигунів у місці пошкодження.

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

Розрахунок струмів короткого замикання виконують у такій послідовності:

Будують розрахункову схему (приклад наведено на рис. 8) із зазначенням розрахункових точок к. з.

На основі розрахункової схеми розробляють схему заміщення (рис. 9), у якій усі елементи подають активними та індуктивними опорами.

Обчислюють опори елементів мережі — прямої послідовності, нульової послідовності, а також опір петлі «фаза-нуль».

Розраховують значення струмів трифазного й однофазного коротких замикань у визначених точках мережі.

									Лист	
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЕТ і ЕЕ 041.310.000 ПЗ					

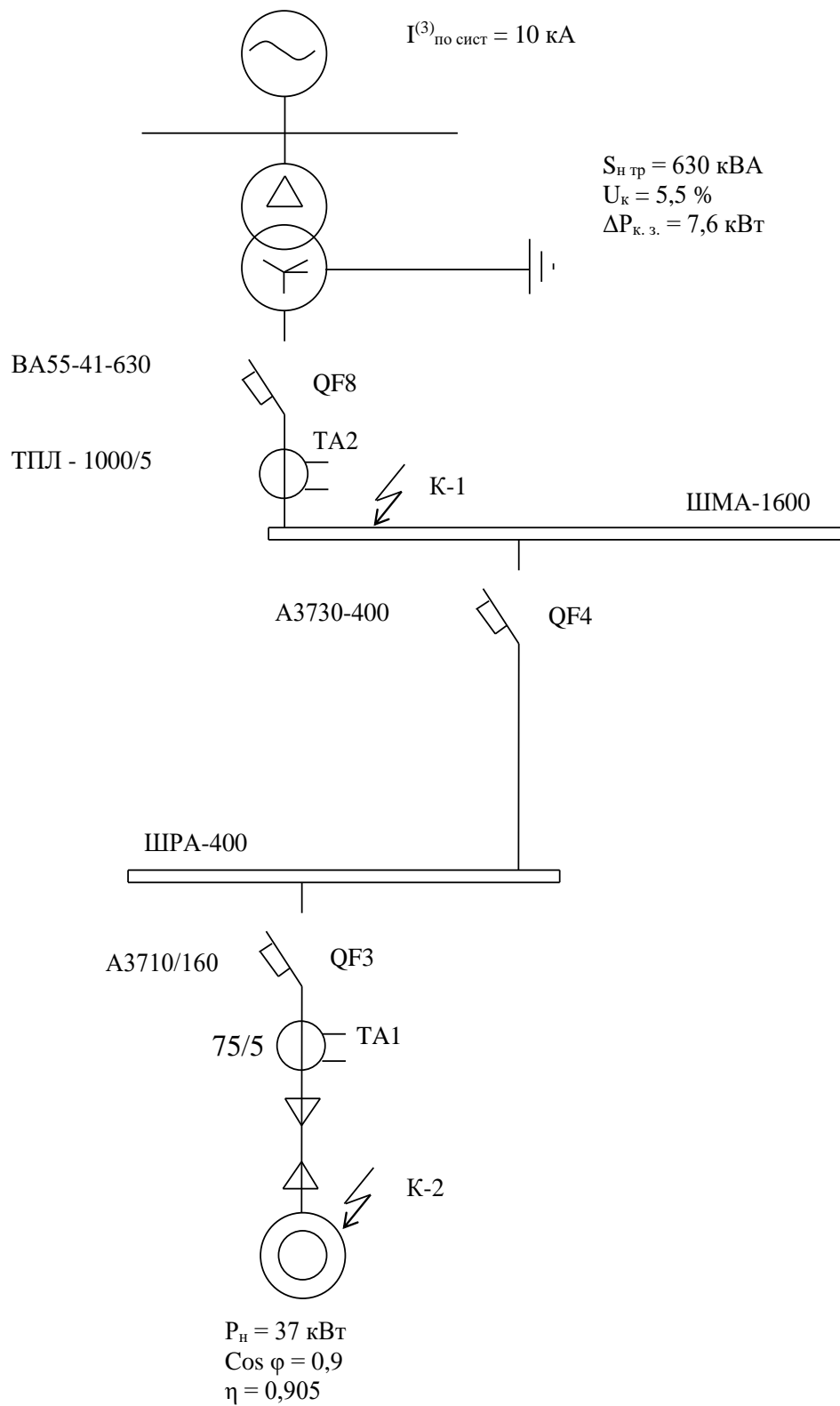


Рисунок 2.8 – Розрахункова схема

					ЕТ і ЕЕ 041.310.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

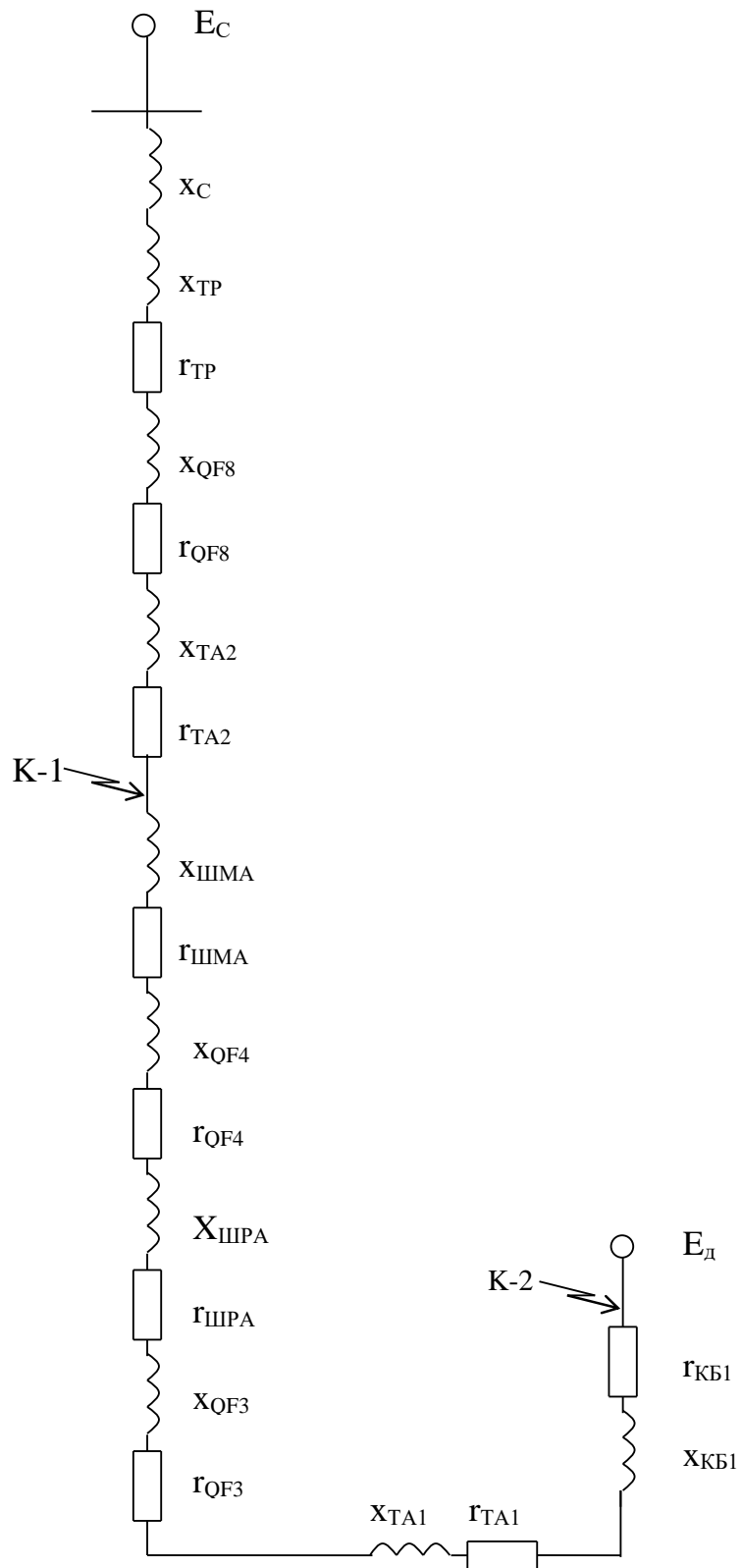


Рисунок 2.9 – Схема заміщення

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.

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

де $U_{cp\ ni}$ - 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:

$$r_{1\Sigma} = r_{IT} + r_{IA8} + r_{TA2} \quad (2.65)$$

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

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

$$x_C = \frac{U_{cp\ ni}^2}{\sqrt{3} \cdot I_{кз\ вн} \cdot U_{cp\ вн}}, \quad (2.67)$$

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

									Лист	
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЕТ і ЕЕ 041.310.000 ПЗ					

Опори (питомі) елементів мережі наведені в довідкових даних.

Таблиця 2.3 – Опори (питомі) елементів мережі

Опори послідовностей	Питомі опори мОм/м	СВЧ			Трансформатори 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	QF 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_{IT} і x_{IT} визначаються за виразами:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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:

$$I_{no \min}^{(1)} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_{ср.лн}}{\sqrt{(r_{1\Sigma}'' + r_{o\Sigma})^2 + (x_{1\Sigma}'' + x_{o\Sigma})^2}}, \quad (2.70)$$

$$\text{де } r_{1\Sigma}'' = r_{1\Sigma}' + (r_{\phi-o.Ш1} + r_{\phi-o.Ш2} + r_{\phi-o.КБ}) \quad (2.71)$$

$$r_{1\Sigma}' = r_{1\Sigma} + r_{1Ш1} + r_{A4} + r_{1Ш2} + r_{A3} + r_{TA1} + r_{1КБ} \quad (2.72)$$

$$x_{1\Sigma}'' = x_{1\Sigma}' + (x_{\phi-o.Ш1} + x_{\phi-o.Ш2} + x_{\phi-o.КБ}); \quad (2.73)$$

$$x_{1\Sigma}' = x_{1\Sigma} + x_{1Ш1} + x_{A4} + x_{1Ш2} + x_{TA} + x_{1КБ}; \quad (2.74)$$

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

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЕТ і ЕЕ 041.310.000 ПЗ	

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:

$$I_{no\ min}^{(1)} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_{CP.HH}}{\sqrt{(2r_{1\Sigma}^1 + r_{0\Sigma})^2 + (2x_{1\Sigma}^1 + x_{0\Sigma})^2}}, \text{ кА} \quad (2.75)$$

$$I_{no\ min}^{(1)} = \frac{\sqrt{3} \cdot 400}{\sqrt{(2 \cdot 121,8 + 59,1)^2 + (2 \cdot 35,63 + 30,45)^2}} = 2,17 \quad \text{кА.}$$

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

$$r_{1\Sigma} = r_{1T} + r_{A8} + r_{TA2} + r_{1Ш1} + r_{A4} + r_{1Ш2} + r_{A3} + r_{TA1} + r_{1KB} \quad (2.76)$$

$$x_{1\Sigma} = x_C + x_{1T} + x_{A8} + x_{TA2} + x_{1Ш1} + x_{A4} + x_{1Ш2} + x_{A3} + x_{TA1} + x_{1KB} \quad (2.77)$$

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

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

$$r_{1\Sigma}^1 = 34,2 + (0,067 \cdot 35 + 0,262 \cdot 20 + 20 \cdot 4) = 121,8 \text{ мОм}$$

$$x_{1\Sigma}^1 = 27,79 + (0,056 \cdot 35 + 0,294 \cdot 20 + 20 \cdot 0,15) = 35,63 \text{ мОм}$$

$$r_{0\Sigma} = 0,6 + 0,14 + 0,05 + 0,037 \cdot 35 + 0,65 + 0,162 \cdot 20 + 0,14 + 3 + 20 \cdot 2,5 = 59,1 \text{ мОм}$$

$$x_{0\Sigma} = 19 + 0,08 + 0,07 + 35 \cdot 0,042 + 0,17 + 20 \cdot 0,164 + 0,08 + 4,8 + 20 \cdot 0,075 = 30,45 \text{ мОм}$$

Всі обрані автомати перевіряють:

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

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

- на чутливість захисту:

при захисті автоматами з розчеплювачами уповільненої дії: $I_{\text{к.з.мін}}^{(1)} \geq 3 \cdot I_{\text{расщном}}$,

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЕТ і ЕЕ 041.310.000 ПЗ	

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

$I_{расцном}$ - номінальний струм розчіплювача уповільненого спрацьовування, А.

при захисті автоматами з розчеплювачами миттєвого спрацьовування:

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

де $I_{кстк.з.}$ - струм уставки миттєвого спрацьовування, А;

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

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

Перевіримо автомати по граничному струму відключення:

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

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.

Якість електричної енергії, що подається на електроприймачі, має відповідати показникам, регламентованим ДСТУ 13109-87, оскільки саме вони визначають надійну та економічну роботу обладнання. Згідно з вимогами ПУЕ, усю розподільчу мережу – від цехової підстанції до кінцевих споживачів – необхідно перевіряти на допустимі відхилення напруги, беручи до уваги фактичний рівень напруги на шинах центру живлення. Якщо розрахункове відхилення виходить за нормовані межі, у мережі слід передбачати спеціальні технічні рішення для регулювання напруги.

Під відхиленням напруги розуміють різницю між поточним значенням напруги U_f та її номінальним значенням U_n , зафіксовану за умови повільної зміни напруги, коли швидкість цієї зміни не перевищує 1 % за секунду:

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЕТ і ЕЕ 041.310.000 ПЗ	

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

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:

$$U_{11} = U_1 + U_{011} - U_{H1} - U_{01} - \Delta U_T, \quad (2.79)$$

де $U_{011} - U_{H1} - U_{01} = E$ - добавка напруги при регулюванні;

U_1 - відхилення напруги на первинній стороні трансформатора;

U_{H1} - 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:

$$\Delta U_T = \beta \cdot (R_T \cdot \cos \varphi + X_T \cdot \sin \varphi) = \frac{S_p}{S_{\text{нтр}}} \cdot \left(\frac{\Delta P_{\text{кз}}}{S_{\text{нтр}}} \cdot \cos \varphi + U_{\text{кз}} \cdot \sin \varphi \right) \quad (2.80)$$

$$\text{або } \Delta U_T = \frac{Q_p}{\sin \varphi} \cdot U_{\text{кз}}, \quad (2.81)$$

де $\Delta P_{\text{кз}}$ та $U_{\text{кз}}$ - паспортні дані трансформатора, відповідно втрати короткого замикання, кВт, і напруга короткого замикання, %.

									Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЕТ і ЕЕ 041.310.000 ПЗ				

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

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

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

Коефіцієнт активної потужності визначаю, виходячи зі значення коефіцієнта реактивної потужності

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{Q_{нecк}}{P_{p\Sigma}} \quad (2.83)$$

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

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 ($U_1 = 5\%$, $U_n = 0$). 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:

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

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 041.310.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

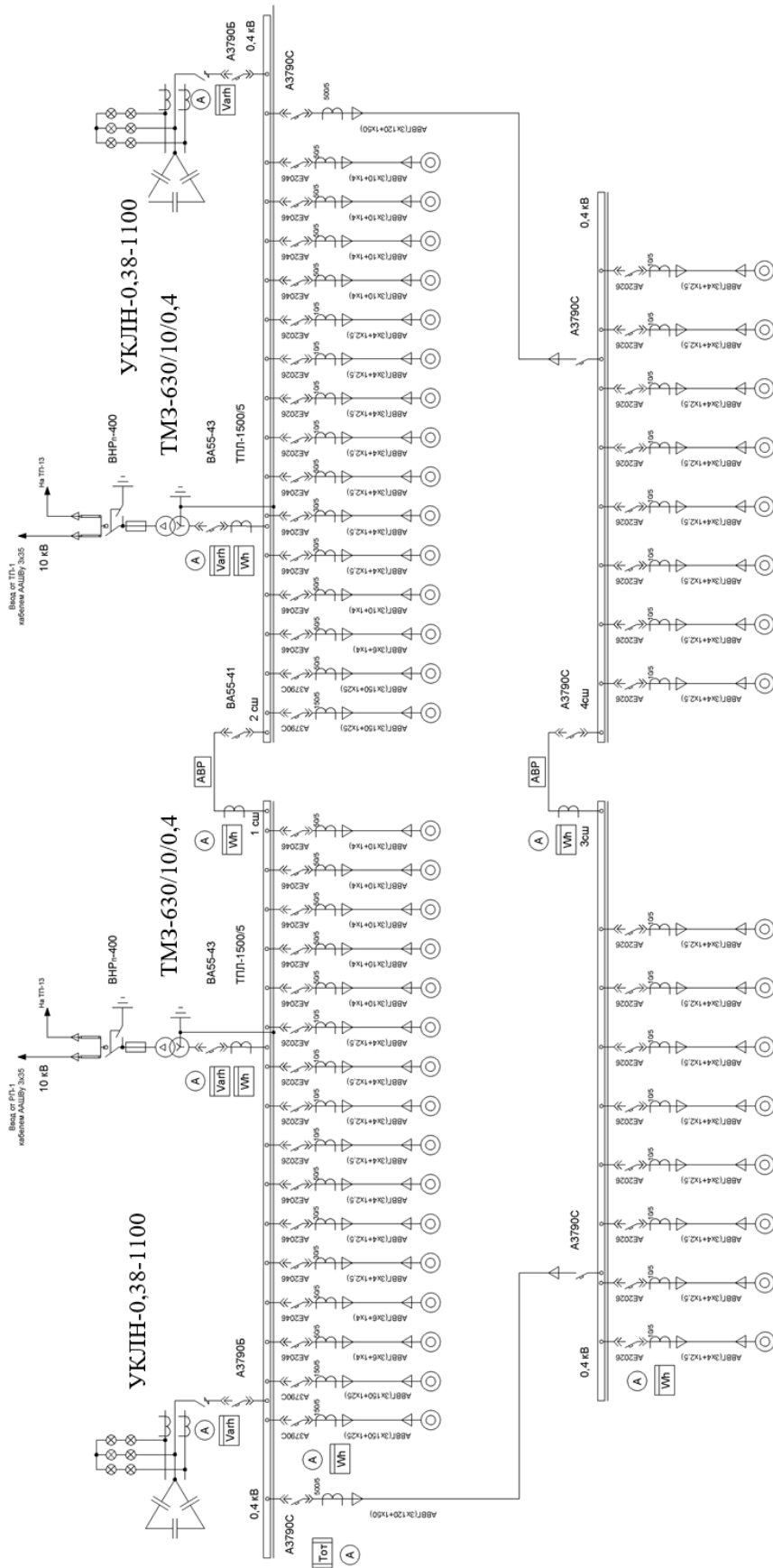


Рис. 2.10 – Схема електропостачання цеху металообробної промисловості

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЕТ і ЕЕ 041.310.000 ПЗ

3. ОХОРОНА ПРАЦІ

1. Загальні положення та характеристика умов праці

Охорона праці під час проектування та експлуатації систем електропостачання (СЕП) металообробного цеху ґрунтується на вимогах Закону України «Про охорону праці», Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів (НПАОП 40.1-1.21-98) та Правил улаштування електроустановок (ПУЕ). Специфіка цеху — наявність металорізальних верстатів, зварювальних агрегатів, підйомно-транспортного устаткування — формує комплекс небезпечних і шкідливих виробничих факторів, серед яких провідними є небезпека ураження електричним струмом, підвищений рівень шуму та вібрації, наявність рухомих частин обладнання, виділення аерозолів мастильно-охолоджувальних рідин.

2. Електробезпека

Згідно з ПУЕ, приміщення цеху за небезпекою ураження електричним струмом належить до категорії з підвищеною небезпекою (струмопровідна підлога, можливість одночасного дотику до корпусів електрообладнання та заземлених металоконструкцій). Основним технічним захистом у мережі з глухозаземленою нейтраллю (TN-S, TN-C-S) передбачено автоматичне вимкнення живлення. Розрахунок струмів однофазного короткого замикання, виконаний у проєкті, підтверджує достатню чутливість захисних апаратів (QF1–QF9) для забезпечення нормованого часу відключення (не більше 0,4 с для мереж 380/220 В).

Проєктом передбачено:

- захисне занулення всіх металевих корпусів електрообладнання;
- систему зрівнювання потенціалів;
- подвійну ізоляцію ручного електроінструменту;
- застосування пристроїв захисного вимкнення (ПЗВ) для розеткових мереж;
- захист від перенапруг, реалізований у ввідному розподільчому пристрої.

									Лист	
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЕТ і ЕЕ 041.310.000 ПЗ					

У схемі «блок трансформатор–магістраль» захист нульової послідовності реалізовано встановленням трансформатора струму в нейтралі трансформатора з дією на незалежний розчіплювач ввідного автомата, що підвищує надійність вимкнення замикань на землю.

3. Захист від шуму, вібрації та шкідливих речовин

Джерелами шуму в цеху є працюючі верстати, вентиляційні установки, трансформатори. Нормовані рівні шуму (ДСТУ 2867-94, ДСН 3.3.6.037-99) забезпечуються звукоізоляцією найбільш гучного обладнання, застосуванням вібропоглинальних опор під верстати та трансформатори, а також використанням засобів індивідуального захисту органів слуху. Для зменшення вібрації КТП внутрішньоцехового виконання встановлюються на віброізолювальні прокладки. Концентрація шкідливих речовин (аерозолі мастил, продукти зварювання) підтримується в межах ГДК завдяки загальнообмінній припливно-витяжній вентиляції та місцевим відсмоктувачам.

4. Мікроклімат і освітлення

Параметри мікроклімату (температура, вологість, швидкість руху повітря) підтримуються згідно з ДСН 3.3.6.042-99. Для компенсації тепловиділень від працюючого обладнання проектом передбачено кондиціонування повітря на окремих ділянках. Робоче та аварійне освітлення спроектовано відповідно до ДБН В.2.5-28:2018; рівень освітленості на робочих місцях металорізальних верстатів прийнято не нижче 300 лк. Живлення світильників аварійного освітлення здійснюється від окремої секції шин із автоматичним введенням резерву, що гарантує їх роботу в разі зникнення основного живлення.

5. Пожежна безпека

Приміщення цеху за вибухопожежонебезпекою класифікується як категорія «В». Системою електропостачання враховано:

					ЕТ і ЕЕ 041.310.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- застосування кабелів із негорючою або важкогорючою ізоляцією (типу ВВГнг, АВВГнг);

- проходження кабельних трас через протипожежні перешкоди із закладанням негорючими матеріалами;

- установка автоматичних вимикачів із належною вимикаючою здатністю, що запобігає займанню ізоляції під час коротких замикань;

- блискавкозахист будівлі (відповідно до ДСТУ EN 62305), реалізований сітчастим заземлювачем, поєднаним із контуром заземлення електрообладнання.

У цеху передбачено первинні засоби пожежогасіння (вогнегасники ВП-5, ВВК-5) та автоматичну пожежну сигналізацію зі сповіщувачами диму.

6. Організаційні заходи з безпечної експлуатації

Безпечна експлуатація спроектованої СЕП забезпечується:

- допуском до роботи лише електротехнічного персоналу з групою з електробезпеки не нижче III (для чергового персоналу – IV);

- проведенням первинних, повторних та цільових інструктажів;

- наявністю затверджених схем мереж, інструкцій з оперативних перемикачів;

- використанням перевірених електрозахисних засобів (діелектричні рукавички, боти, покажчики напруги, ізольований інструмент);

- організацією технічного обслуговування та планово-попереджувальних ремонтів (ППР) згідно з графіком, складеним на підставі вимог заводу-виробника та нормативних документів.

7. Заходи безпеки в надзвичайних ситуаціях

На випадок аварійного знеструмлення проектом передбачено автоматичне введення резерву (АВР) на напрузі 0,4 кВ через секційний вимикач QF9. Дії персоналу під час пожежі, відмови захисту або інших позаштатних ситуацій регламентуються планом локалізації та ліквідації аварійних ситуацій (ПЛАС). Усі

									Лист	
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЕТ і ЕЕ 041.310.000 ПЗ					

працівники забезпечуються засобами індивідуального захисту, а шляхи евакуації позначені фотолюмінесцентними покажчиками, підключеними до мережі гарантованого живлення.

Впроваджені в дипломному проєкті технічні рішення – від вибору захисної апаратури до компонування цехових підстанцій – повною мірою відповідають чинним нормативам з охорони праці, електробезпеки та пожежної безпеки, що забезпечує допустимі рівні професійних ризиків під час експлуатації системи електропостачання металообробного цеху.

					ЕТ і ЕЕ 041.310.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

ВИСНОВКИ

У межах дипломного проєкту виконано розроблення та технічне обґрунтування системи електропостачання (СЕП) для навантажувального вузла металообробного цеху. Проведено аналіз чинних нормативних вимог до живлення промислових об'єктів і враховано особливості технологічного процесу цеху, для якого характерні значні пускові струми та нерівномірний графік споживання.

У ході роботи:

- Виконано детальний розрахунок електричних навантажень із урахуванням встановленої потужності технологічного устаткування, коефіцієнтів попиту й одночасності, що дало змогу визначити раціональну потужність трансформаторної підстанції та необхідні перерізи живильних кабелів.

- Здійснено вибір основного й допоміжного електрообладнання — силових трансформаторів, розподільчих пристроїв, комутаційно-захисної апаратури – з одночасним урахуванням технічних характеристик, економічної доцільності та експлуатаційної надійності.

- Розроблено принципові схеми електропостачання та схеми головних електричних з'єднань, які гарантують безперебійне й безпечне постачання електроенергії до всіх споживачів вузла.

- Опрацьовано заходи із забезпечення якості електричної енергії та електробезпеки з дотриманням вимог нормативної документації щодо заземлення, блискавкозахисту й захисту від надструмів, що є критично важливим для виробничих об'єктів.

Упровадження запропонованої СЕП забезпечить надійне, безпечне та енергоефективне живлення навантажувального вузла цеху, мінімізує втрати електричної енергії, знизить імовірність аварійних ситуацій і сприятиме підвищенню загальної продуктивності виробництва. Отримані проєктні рішення є масштабованими й можуть бути адаптовані для інших аналогічних об'єктів металообробної галузі.

									Лист	
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЕТ і ЕЕ 041.310.000 ПЗ					

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/]

									Лист	
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЕТ і ЕЕ 041.310.000 ПЗ					

9. Козирський В.В. Основи електропостачання: підруч. / Козирський В.В., Волошин С.М., – К.: Компринт, 2021. – 497с.
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 041.310.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		