

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 прокатного виробництва
(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 _____ Віталій ПОДОЙНІЦІН
(підпис) (ім'я, прізвище)

Науковий керівник _____ Павло БУДАНОВ
(підпис) (ім'я, прізвище)

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))

ПОДОЙНІЦИН Віталій Миколайович
(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 прокатного
виробництва

керівник роботи Буданов Павло Феофанович, 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: Загальна характеристика
технологічного процесу проєктованого об'єкта; Розрахунок електричних
навантажень в мережі напругою до 1 кВ; Розміщення цехових трансформаторів
на площі цеху; Вибір схеми живлення цехових трансформаторів; Вибір схеми

внутрішньоцехової мережі напругою до 1 кВ; Вибір типу і параметрів комутаційно-захисних апаратів у внутрішньоцехових мережах (для одного з приєднань); Вибір марки і перетину струмоведучих частин; Розрахунок струмів К.З. в мережі напругою до 1 кВ. Перевірка апаратів та СВЧ на стійкість дії СКЗ; Перевірка показників якості електроенергії на шинах цехової ТП; Проектування однолінійної схеми електропостачання вузла навантаження; Охорона праці

5. План роботи

№ з/п	Назви етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Загальна характеристика технологічного процесу проєктованого об'єкта		
2	Розрахунок електричних навантажень в мережі напругою до 1 кВ		
3	Розрахунок потужності КП в мережі напругою до 1 кВ		
4	Визначення потужності компенсуючих пристроїв за умовою вибору оптимального числа цехових трансформаторів		
5	Визначення додаткової потужності КП в мережі напругою до 1 кВ		
6	Розміщення цехових трансформаторів на площі цеху		
7	Вибір схеми живлення цехових трансформаторів		
8	Вибір схеми внутрішньоцехової мережі напругою		
9	Вибір типу і параметрів комутаційно-захисних апаратів у внутрішньоцехових мережах (для одного з приєднань)		
10	Вибір марки і перетину струмоведучих частин		
11	Розрахунок струмів К.З. в мережі напругою до 1 кВ. Перевірка апаратів та СВЧ на стійкість дії СКЗ		
12	Перевірка показників якості електроенергії на шинах цехової ТП		
13	Проектування однолінійної схеми електропостачання вузла навантаження		
14	Охорона праці		

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

Здобувач вищої освіти _____ Віталій ПОДОЙНІЦІН
(підпис) (ім'я, прізвище)

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

РЕФЕРАТ

У дипломній роботі розглянуто питання проєктування системи внутрішньоцехового електропостачання прокатного цеху підприємства металургійної промисловості.

Об'єкт дослідження – система електропостачання прокатного цеху, її структура, режими роботи та елементна база.

Предмет дослідження – процеси розрахунку електричних навантажень, вибору засобів компенсації реактивної потужності, силових трансформаторів, комутаційно-захисних апаратів і струмоведучих частин, а також забезпечення надійності, якості електроенергії та безпеки експлуатації цехової мережі.

У процесі виконання роботи проведено аналіз технологічного процесу прокатного цеху, на основі якого споживачів віднесено до I категорії надійності. Розрахунок електричних навантажень виконано методом упорядкованих діаграм. Визначено потужність компенсувальних установок у мережі 0,4 кВ за умовами мінімізації втрат, обрано два цехові трансформатори потужністю по 1000 кВА з розташуванням у прибудованій комплектній підстанції. Обґрунтовано магістральну схему живлення з резервними перемичками та застосуванням блоків «трансформатор–магістраль» (БТМ). Проведено вибір автоматичних вимикачів, перерізів кабелів і шинопроводів з перевіркою за умовами нагріву, захисту та допустимої втрати напруги. Розраховано струми трифазного й однофазного короткого замикання в мережі 0,4 кВ, підтверджено чутливість і вимикаючу здатність захисних апаратів. Перевірено відхилення напруги на шинах цехової підстанції – воно перебуває в допустимих межах. Розроблено заходи з охорони праці, електробезпеки, пожежної безпеки та захисту від шкідливих виробничих факторів. Прийняті технічні рішення забезпечують надійне, економічно обґрунтоване та безпечне електропостачання цеху.

Ключові слова: електропостачання, прокатний цех, електричні навантаження, компенсація реактивної потужності, трансформаторна підстанція, блок «трансформатор–магістраль», автоматичний вимикач, струми короткого замикання, якість електроенергії, електробезпека.

ABSTRACT

The thesis considers the issue of designing an in-house power supply system for a rolling mill of a metallurgical industry enterprise.

The object of the study is the power supply system of a rolling mill, its structure, operating modes and element base.

The subject of the study is the processes of calculating electrical loads, selecting reactive power compensation means, power transformers, switching and protective devices and live parts, as well as ensuring the reliability, quality of electricity and safety of operation of the shop network.

In the process of performing the work, an analysis of the technological process of the rolling mill was carried out, on the basis of which consumers were assigned to the 1st reliability category. The calculation of electrical loads was performed using the method of ordered diagrams. The power of the compensating installations in the 0.4 kV network was determined under the conditions of minimizing losses, two shop transformers with a capacity of 1000 kVA each were selected and located in an attached complete substation. The main power supply scheme with backup jumpers and the use of transformer-main blocks (BTM) was substantiated. The selection of circuit breakers, cable cross-sections and busbars was carried out with a check for heating conditions, protection and permissible voltage loss. The three-phase and single-phase short-circuit currents in the 0.4 kV network were calculated, the sensitivity and switching capacity of protective devices were confirmed. The voltage deviation on the busbars of the workshop substation was checked - it is within permissible limits. Measures for labor protection, electrical safety, fire safety and protection against harmful production factors were developed. The adopted technical solutions ensure reliable, economically justified and safe power supply to the workshop.

Keywords: power supply, rolling mill, electrical loads, reactive power compensation, transformer substation, transformer-main unit, circuit breaker, short-circuit currents, electricity quality, electrical safety.

3MICT

УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ.....

ВСТУП.....

1. Загальна характеристика технологічного процесу проектуваного 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 живлення цехових трансформаторів.....

2.5 Вибір схеми внутрішньоцехової мережі напругою до 1 кВ.....

2.6 Вибір типу і параметрів комутаційно-захисних апаратів у внутрішньоцехових мережах (для одного з приєднань).....

2.7 Вибір марки і перетину струмоведучих частин.....

2.8 Розрахунок струмів К.З. в мережі напругою до 1 кВ. Перевірка апаратів та СВЧ на стійкість дії СКЗ.....

2.9 Перевірка показників якості електроенергії на шинах цехової ТП.

2.10 Проектування однолінійної схеми електропостачання вузла навантаження.....

3 Охорона праці.....

ВИСНОВОК.....

ЛІТЕРАТУРА.....

					ЕТ та ЕЕ 4815.035.000 ПЗ						
					Проектування СЕП вузла навантаження цеху прокатного виробництва	Лім.			Маса	Масштаб	
									1	1 : 1	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Пояснювальна записка	Арк.			3	Аркушів	
Розроб.	Подоїнцін					гр. ДЕА-Е22					
Перевір.	Буданов										
Т. Контр.											
Реценз.											
Н. Контр.											
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 та ЕЕ 4815.035.000 ПЗ	Лист
Вим.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

ВСТУП

Головна мета дипломного проєкту – набуття практичного досвіду самостійного вирішення комплексних інженерних проблем у сфері внутрішньоцехового електропостачання з огляду на сучасні енергоощадні технології, затребувані в електроенергетиці. Робота спрямована на формування вмінь і навичок проєктування внутрішньоцехових систем електропостачання промислових підприємств, що базуються на загальних принципах організації новітніх енергетичних систем.

Під час виконання проєкту студент опановує ефективні прийоми роботи з нормативною та довідковою документацією, типовими проєктами, а також із директивними й методичними матеріалами.

Сучасні тенденції в економіці та енергетиці засвідчують нагальність розв’язання стратегічно важливої проблеми – енергозбереження. Чимало промислових об’єктів не завантажують проєктну потужність повністю, що призводить до простоювання обладнання, падіння обсягів виробництва і, як наслідок, до збитковості підприємства.

Зростаючі потреби суспільства й динамічний поступ промисловості породжують попит на технологічно досконале, вискоєфективне та енергоощадне устаткування. У цьому контексті раціональне проєктування систем електропостачання постає одним із ключових чинників стабільного перебігу виробничих процесів.

Отже, ключовим завданням дипломного проєкту є розроблення внутрішньоцехової електричної мережі, що відповідає сучасним вимогам до ефективного використання електроенергії, мінімізації втрат під час трансформації та розподілу, зниження економічних ризиків, а також до підвищення надійності енергопостачання та якості електричної енергії.

					ЕТ та ЕЕ 4815.035.000 ПЗ	Лист
Вим.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ПРОЕКТОВАНОГО ОБ'ЄКТА

Аналіз технологічного процесу проєктованого об'єкта має на меті визначення потенційних втрат у разі перебоїв в електропостачанні, що дозволяє обґрунтовано встановити категорію надійності живлення електроприймачів. Ця класифікація слугує підставою для вибору кількості джерел живлення, конфігурації живильних і розподільних мереж, а також доцільності застосування автоматизованих систем резервування.

Згідно з вихідними даними, у проєкті розглядається цех прокатного виробництва, який входить до основного технологічного ланцюга. Цей цех характеризується складним і безперервним технологічним процесом, порушення якого може спричинити серйозні наслідки, а саме масовий випуск бракованої продукції, пошкодження вартісного електроустаткування та загрозу життю і здоров'ю персоналу. Відповідно до вимог ПУЕ, за ступенем безперебійності електропостачання електроприймачі цеху належать до споживачів першої категорії.

Окремої уваги потребує агресивне виробниче середовище, яке необхідно враховувати під час вибору типу та місця встановлення трансформаторної підстанції, схем електропостачання, різновидів силового обладнання і струмопровідних елементів.

До основних електроприймачів цеху напругою 0,4 кВ належать приводи рольгангів та гойдалкових столів, вентилятори, насоси, компресори, крани, тельфери (з ПВ 25 % і 40 %), машини для шовного зварювання, а також елеватори й блоковані конвеєри. Сумарна встановлена потужність обладнання наведена в таблиці 2.1. Площа виробничого цеху становить 9500 м², при цьому питома щільність освітлювального навантаження прийнята на рівні 20 Вт/м². Робочі режими електроприймачів описуються коефіцієнтом використання та коефіцієнтом активної потужності, значення яких подано в таблиці 2.1. План

					ЕТ та ЕЕ 4815.035.000 ПЗ	Лист
Вим.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

розміщення обладнання на території цеху відображено на рисунку 1.1 та на аркуші 1 графічної частини проєкту.

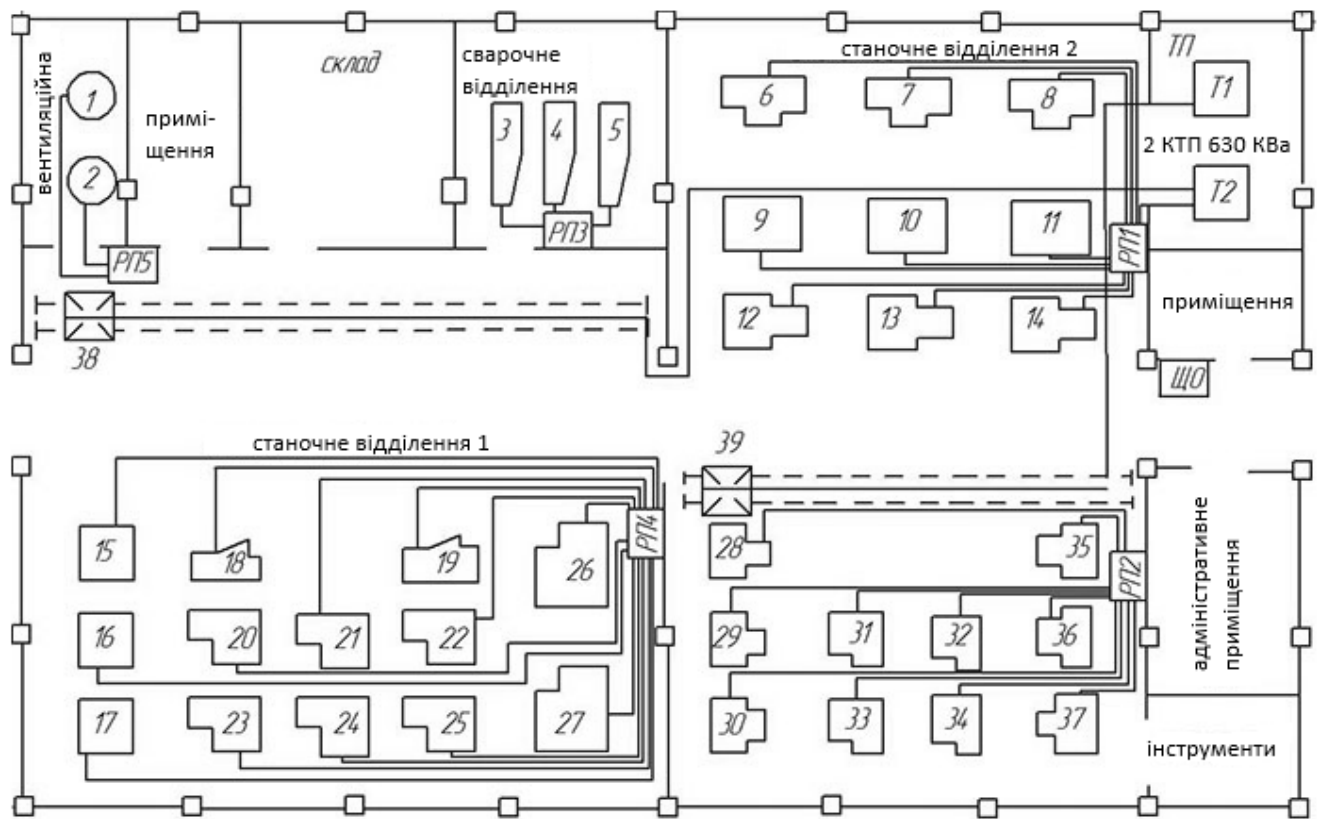


Рис. 1.1. Ситуаційний план цеху прокатного виробництва.

2. ЕЛЕКТРИЧНІ РОЗРАХУНКИ

2.1. Розрахунок електричних навантажень від силових і освітлювальних електроприймачів

Очікувані електричні навантаження розраховуються згідно з методикою, поданою у «Вказівках з розрахунку електричних навантажень» (РТМ 36.18.32.4-92), які набули чинності в січні 1993 року. Для цього застосовується метод упорядкованих діаграм, що на сьогодні є основним під час розроблення технічних і робочих проєктів електропостачання. Відповідно до цього методу, розрахункове активне навантаження електроприймачів на всіх рівнях живильних і розподільних мереж (включно з трансформаторами та перетворювачами) визначають через середнє навантаження та коефіцієнт розрахункового навантаження за виразом (1):

$$P_p = \kappa_p \cdot \sum P_{см} \quad (1)$$

Розрахунковий коефіцієнт навантаження κ_p знаходимо за таблицею П.5 методичних вказівок до виконання бакалаврського дипломного проєкту, де його подано як функцію ефективного числа електроприймачів та групового коефіцієнта використання.

$$\kappa_p = f(n_e, \kappa_{в.гр.взв.}) \quad (2)$$

Обчислення виконано для однієї характерної групи, а розрахунки решти характерних груп зведено в таблицю 2.1. Очікувані величини електричних навантажень визначаються за методикою, наведеною у «Вказівках з розрахунку електричних навантажень» (РТМ 36.18.32.4-92), які набули чинності в січні 1993 року. У розрахунку застосовано метод упорядкованих діаграм, що на сьогодні є основним під час розроблення технічних і робочих проєктів електропостачання. Для двигунів, які працюють у повторно-короткочасному режимі (ПКР), приведення їхньої паспортної потужності до тривалого режиму ($ПВ = 100\%$) здійснюється за виразами (3)–(4).

$$P_{н_i} = P_{насп_i} \sqrt{ПВ_i}, \text{ кВт} \quad (3)$$

$$P_{н_i} = S_{н_i} \cdot \cos \varphi_i \sqrt{ПВ_i}, \text{ кВт} \quad (4)$$

Дані сумуються:

					ЕТ та ЕЕ 4815.035.000 ПЗ	Лист
Вим.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

$$\sum_i^m P_{H_i}, \text{ кВт} \quad (5)$$

де m – число характерних груп ЕП.

Середньозмінне навантаження для найбільш завантаженої зміни по кожній характерній групі електроприймачів обчислюють за формулами (6) та (7):

$$P_{cm_i} = P_{H_i} \cdot K_{H_i}, \text{ кВт} \quad (6)$$

$$Q_{cm_i} = P_{cm_i} \cdot \operatorname{tg} \varphi_i, \text{ квар} \quad (7)$$

де K_{H_i} – коефіцієнт використання i – тої характерною групи ЕП;

$\operatorname{tg} \varphi_i$ – коефіцієнт реактивної потужності i – тої характерної групи ЕП, відповідний коефіцієнту реактивної потужності (табл. П.3.[2]).

Обчислення за характерними групами вносяться до відповідних граф таблиці 2.1. Сумарні величини середньозмінного навантаження за найбільш завантаженою зміну по цеху визначаються за виразами (8)–(9).

$$\sum_i^m P_{cm_i} = \sum_i^m P_{H_i} K_{H_i}, \text{ кВт} \quad (8)$$

$$\sum_i^m Q_{cm_i} = \sum_i^m P_{cm_i} \operatorname{tg} \varphi_i, \text{ квар} \quad (9)$$

Визначаємо середньозважений (груповий) коефіцієнт використання:

$$K_{H.зр.} = \frac{\sum_{i=1}^m P_{cm_i}}{\sum_{i=1}^m P_{H_i}} \quad (10)$$

На формування абсолютного максимуму групового графіка навантаження, який слугує вихідною величиною для вибору параметрів елементів системи електропостачання за умовою нагріву, впливає низка випадкових чинників, серед яких кількість електроприймачів у розрахунковому вузлі, їхні номінальні потужності, режими роботи та інші випадкові величини. Для спрощення методики визначення розрахункового максимуму навантаження вводиться поняття ефективного числа електроприймачів, яким називають таку кількість однакових за встановленою потужністю та режимом роботи електроприймачів, що створюють той самий розрахунковий максимум навантаження, що й фактична

					ЕТ та ЕЕ 4815.035.000 ПЗ	Лист
Вим.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

сукупність електроприймачів, різних за потужністю та режимами. Ефективне число електроприймачів для всього вузла навантаження, а не окремо для кожної характерної групи, розраховують за виразом (11).

$$n_{ef} = \frac{2 \sum_{i=1}^m P_{ni}}{P_{n \max}}, \quad (11)$$

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

Коефіцієнт розрахункового навантаження визначають за таблицею П.4.2 залежно від середньозваженого (групового) значення коефіцієнта використання та ефективного числа електроприймачів. Під активним розрахунковим максимальним навантаженням розуміють таке незмінне за величиною та тривалістю навантаження, яке за найважчим тепловим впливом на елемент системи електропостачання є еквівалентним фактичному змінному навантаженню. Активне розрахункове навантаження групи електроприймачів напругою до 1 кВ обчислюється за виразом (12):

$$P_p = \kappa_p \cdot \sum_{i=1}^m P_{cmi}, \text{ кВт} \quad (12)$$

Зважаючи на особливість споживання реактивної потужності електроприймачами, яка слабо залежить від їхнього навантаження активною потужністю, приймаємо таке положення: $Q_p = \sum_{i=1}^m Q_{cmi}, \text{ квар.}$

Повне розрахункове навантаження, яке створюють силові електроприймачі, обчислюється за формулою (13):

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \text{ кВА} \quad (13)$$

Величину розрахункового струмового навантаження, за якою добирають переріз струмоведучих частин за умовою нагріву, а також параметри апаратів, визначають за виразом (14):

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n}, \text{ А} \quad (14)$$

					ЕТ та ЕЕ 4815.035.000 ПЗ	Лист
Вим.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

де U_n – номінальна напруга в даній ділянці мережі, κB

Розрахункові навантаження освітлювальних електроприймачів обчислюються на основі встановленої потужності освітлювальних електроустановок із застосуванням відповідного коефіцієнта попиту.

$$P_{P.O.} = P_{H.O.} \cdot K_{C.O.} \cdot K_{ПРА}, \kappa Bm \quad (15)$$

$$Q_{P.O.} = P_{P.O.} \cdot \operatorname{tg} \varphi, \text{ квар} \quad (16)$$

де $K_{C.O.}$ – коефіцієнт попиту освітлювальних установок;

$K_{C.O.} = 0,95$ для виробничих будівель, що складаються з окремих великих прольотів;

$K_{ПРА}$ – коефіцієнт, що враховує втрати потужності в пускорегулюючій апаратурі (ПРА) газорозрядних ламп;

$K_{ПРА} = 1,1$ для ламп типу ДРЛ (ртутно-кварцові лампи з виправленою кольоровістю) і ДРН (металогалогенні).

Встановлена потужність електричного освітлення:

$$P_{H.O.} = P_{Пит.O.} \cdot F \cdot 10^{-3} \kappa Bm \quad (17)$$

де $P_{Пит.O.}$ – питома щільність освітлювального навантаження; $P_{Пит.O.} = 20 \text{ Вт/м}^2$ – для виробничих цехів. F – площа цеху, м^2 – див.умову завдання.

Результати розрахунку зводимо в таблицю 2.1. Відповідно до вихідних даних (табл. П.2 [2]) електроприймачі цеху поділяються на характерні групи з однаковими коефіцієнтами використання та активної потужності.

Паспортні дані окремих груп електроприймачів, що функціонують у повторно-короткочасному режимі (зварювальні машини шовного зварювання та підйомно-транспортне обладнання), перераховуються до номінальної потужності в κBm за виразами (18)–(19).

$$P_H = 1100 \cdot \sqrt{0,25} = 550, \kappa Bm \quad (18)$$

$$P_H = 1150 \cdot \sqrt{0,4} = 727,3, \kappa Bm \quad (19)$$

та заносимо ці значення у відповідну колонку табл.2.1.

Підсумовуємо встановлені потужності вузла:

					ЕТ та ЕЕ 4815.035.000 ПЗ	Лист
Вим.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

$$P_{H_{\Sigma}} = 650 + 800 + 1000 + 300 + 550 + 727,32 + 227,5 + 300 = 4554,82, \text{ кВт}$$

Для кожної характерної групи електроприймачів розраховуємо середньозмінні навантаження за найбільш завантажену зміну:

$$P_{cm_1} = P_{H_1} \cdot K_{H_1} = 650 \cdot 0,3 = 195, \text{ кВт} \quad (20)$$

$$Q_{cm_1} = P_{cm_1} \cdot \operatorname{tg} \varphi_1 = 195 \cdot 1,33 = 259,4, \text{ квар} \quad (21)$$

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

Підсумовуємо середньозмінні навантаження по вузлу:

$$P_{cm_{\Sigma}} = 195 + 240 + 650 + 195 + 330 + 43,64 + 68,25 + 180 = 1901,89, \text{ кВт}$$

$$Q_{cm_{\Sigma}} = 260 + 320 + 487,5 + 146,25 + 654,89 + 86,6 + 182,67 + 183,64 = 2321,54, \text{ квар}$$

Визначаємо середньозважений (груповий) коефіцієнт використання по вузлу навантаження:

$$K_{в.зр.} = \frac{\sum_{i=1}^m P_{cm_i}}{\sum_{i=1}^m P_{H_i}} = \frac{1901,9}{4554,8} = 0,42 \quad (22)$$

Визначаємо ефективне число ЕП:

$$n_{ef} = \frac{\left[\sum_{i=1}^m P_{ni} \right]^2}{\sum_1^n P_{ном}^2} = \frac{2 \cdot 4554,8}{80} = 113,9, \quad (23)$$

За значенням групового коефіцієнта використання та ефективного числа ЕП по табл. П.5 [2] визначаємо значення коефіцієнта розрахункового навантаження $K_P = 0,72$

Визначаємо розрахунковий максимум активного навантаження по вузлу:

$$P_p = K_P \cdot \sum_{i=1}^m P_{cm_i} = 0,72 \cdot 1901,09 = 1369,4, \text{ кВт} \quad (24)$$

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

$$Q_p = \sum_{i=1}^m Q_{cm_i} = 2318,7, \text{ квар} \quad (25)$$

Повне розрахункове силове навантаження по вузлу дорівнює:

					ЕТ та ЕЕ 4815.035.000 ПЗ	Лист
Вим.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{1369,4^2 + 2318,7^2} = 2692,9 \text{ , кВА} \quad (26)$$

Визначення встановленої потужності освітлювальних ЕП:

$$P_{H.O.} = P_{уд.О.} \cdot F \cdot 10^{-3} = 20 \cdot 9500 \cdot 10^{-3} = 190 \text{ кВт} \quad (27)$$

Визначення розрахункового навантаження від освітлювальних ЕП

$$P_{P.O.} = P_{H.O.} \cdot K_{C.O.} \cdot K_{ППА} = 190 \cdot 0,95 \cdot 1,1 = 198,6 \text{ , кВт} \quad (28)$$

$$Q_{P.O.} = P_{P.O.} \cdot \operatorname{tg} \varphi = 198,6 \cdot 0,33 = 65,5 \text{ , квар} \quad (29)$$

Розрахункові активні навантаження силових та освітлювальних електроприймачів, а також розрахункові реактивні потужності підсумовуються й заносяться у відповідні графи таблиці 2.1.

					ЕТ та ЕЕ 4815.035.000 ПЗ	Лист
Вим.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Таблиця 2.1

Розрахунок навантажень цеху

№п/п	Найменування характерних груп ЕП	Кількість, шт	Паспортні дані ЕП в кВт		Номінальна потужність характерних груп ЕП	Коефіцієнт вик. Ки	cos w	tg w	Середньозміне навантаження за найбільш завантажену зміну		Ефективне число ЕП, пс	Коефіцієнт розрахункового навантаження Кр	Розрахунковий максимум навантаження			Розрахунковий струм, Ір, А
			Одного ЕП Рн min/Рн max, кВт	Загальна Рпасп, кВт					Рсм, кВт	Qсм, квар			Рр, кВт	Qр, квар	Sp, кВА	
1	Привід рольганів	130	1	650	650,00	0,3	0,6	1,33	195,00	260,00						
			80													
2	Привід столів, що гойдаються	150	1	800	800,00	0,3	0,6	1,33	240,00	320,00						
			20													
3	Вентилятори	120	1	1000	1000,00	0,65	0,8	0,75	650,00	487,50						
			30													
4	Насоси, компресори	35	0,5	300	300,00	0,65	0,8	0,75	195,00	146,25						
			40													
5	Крани, тельфери ПВ = 25%	120	5	1100	550,00	0,06	0,45	1,98	330,00	654,89						
			50													
6	Крани, тельфери ПВ = 40%	45	10	1150	727,32	0,06	0,45	1,98	43,64	86,60						
			80													
7	Зварювальні машини шовного зварювання, кВА	50	10	650	227,50	0,3	0,35	2,68	68,25	182,67						
			40													
8	Елеватори, конвеєри зблоковані	25	3	300	300,00	0,6	0,7	1,02	180,00	183,64						
			20													
9	Разом силові ЕП	675			4554,82	0,42			1901,89	2321,54	455,48	0,72	1369,40	2318,70	2692,88	
10	Освітлювальні ЕП (площа цеху), м2	9500			190,00	0,95	0,95	0,33					152,60	50,30		
11	Всього по цеху												2883,20	4528,70	5368,61	4096,30

ЕТ ма ЕЕ 4815.035.000 ПЗ

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

Сумарна розрахункова потужність компенсувальних конденсаторних установок (ККУ) напругою до 1 кВ визначається за критерієм мінімуму приведених витрат і передбачає два послідовні етапи. На першому етапі обирають економічно оптимальну кількість трансформаторів цехових трансформаторних підстанцій, тобто знаходять потужність ККУ-0,38 кВ, яка забезпечує цю оптимальну кількість. Другий етап полягає у визначенні додаткової потужності ККУ-0,38 кВ, що дає змогу оптимально зменшити втрати в трансформаторах цехових ТП і в живильних мережах напругою вище 1 кВ, спричинені перетіканнями реактивної потужності через ці трансформатори. Повна реактивна потужність ККУ-0,38 кВ становить:

$$Q_{нк} = Q_{нк1} + Q_{нк2}, \text{ квар} \quad (30)$$

де $Q_{нк1}$ та $Q_{нк2}$ – сумарна потужність ККУ-0,38 кВ, яку визначають на цих двох послідовних етапах розрахунку. Отриману сумарну потужність розподіляють між окремими трансформаторами цехових ТП пропорційно до їхнього реактивного навантаження.

					ЕТ та ЕЕ 4815.035.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

2.2.1. Визначення потужності компенсуючих пристроїв за умовою вибору оптимального числа цехових трансформаторів

Вибір кількості та потужності цехових трансформаторів здійснюється одночасно з вибором засобів компенсації реактивної потужності на підставі техніко-економічних розрахунків, які враховують питому щільність навантаження, активне розрахункове навантаження та інші фактори, обумовлені технічними умовами. Потужність цехових трансформаторів обирають за питомою щільністю навантаження цеху:

$$\gamma = \frac{Sp}{F}, \text{ кВА/м}^2 \quad (31)$$

Вибір потужності цехових трансформаторів також спирається на повне розрахункове навантаження вузла в кВА. Якщо питома щільність перевищує 0,2–0,3 кВА/м², а сумарне навантаження більше за 3000–4000 кВА, доцільно встановлювати трансформатори потужністю 1600–2500 кВА. За нижчих значень цих показників застосовують трансформатори на 400–1000 кВА. Для цехових підстанцій рекомендовано дотримуватися таких коефіцієнтів завантаження: для цехів із переважним навантаженням першої категорії при двотрансформаторних підстанціях – один рівень, для цехів другої категорії з двотрансформаторними підстанціями та взаємним резервуванням – інший, а для цехів другої категорії за можливості централізованого резерву та для цехів третьої категорії – ще нижчий. Електроприймачі першої категорії живляться від двох незалежних джерел, причому перерва допускається лише на час автоматичного введення резерву. Для другої категорії також передбачено два незалежні джерела, але перерва можлива на час ручного ввімкнення резерву. Для живлення споживачів першої та другої категорій рекомендовано одностансформаторні цехові підстанції 10–6/0,4–0,23 кВ за умови резервування на перемичках нижчої напруги з достатньою пропускною здатністю для найвідповідальніших приймачів. Такі одностансформаторні підстанції дають змогу максимально наблизити їх до центрів електричних

					ЕТ та ЕЕ 4815.035.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

навантажень, забезпечуючи найкоротший шлях передачі електроенергії та певну її економію. Двотрансформаторні підстанції доцільні при зосереджених навантаженнях, коли питома щільність сягає певного рівня (кВА/м²) або переважають споживачі першої категорії.

Електроприймачі до 1 кВ є значними споживачами реактивної потужності й водночас електрично віддалені від основних джерел через кілька ступенів трансформації. Тому передавання реактивної потужності в мережу до 1 кВ спричиняє додаткові витрати: збільшення перерізів струмоведучих частин, зростання кількості або потужності цехових трансформаторів, підвищення втрат в елементах системи електропостачання. Цих витрат можна уникнути або істотно зменшити, встановивши компенсаційні пристрої безпосередньо в мережі до 1 кВ. Джерелом реактивної потужності слугують комплектні конденсаторні установки поперечного ввімкнення, а непокрита частина реактивної потужності надходить із мережі напругою вище 1 кВ. На основі техніко-економічних розрахунків визначають оптимальне співвідношення між реактивною потужністю, що генерується джерелами до 1 кВ, і тією, що передається з вищих рівнів напруги. Порядок вибору кількості цехових трансформаторів передбачає, що для кожної технологічно концентрованої групи трансформаторів однакової потужності їхню мінімальну кількість, необхідну для покриття активного максимального розрахункового навантаження, розраховують за формулою (32):

$$N_{т.мін} = \frac{Pr.c. + Pr.o.}{\beta \cdot S_{н.тр.}} + \Delta N, \text{ шт} \quad (32)$$

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.

Варіюючи коефіцієнт завантаження трансформаторів у рекомендованих межах від 0,7 до 0,8, потрібно для обраної номінальної потужності

					ЕТ та ЕЕ 4815.035.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

трансформаторів прагнути до мінімально можливої кількості, адже це дає змогу максимально використати встановлену потужність за активною складовою та зменшити перетікання реактивної потужності через цехові трансформатори. Економічно оптимальне число трансформаторів розраховують наступним чином.

$$N_{opt} = N_{t.min} + m, \text{ шт} \quad (33)$$

де m - додаткове число трансформаторів, яке визначається по кривих, рис. 4.7. [1] в залежності від $N_{t.min}$ та ΔN .

При визначенні m по кривих [1] приймається допущення:

$$z_{пс}^* = 0,5; \quad z_{пс}^* = \frac{(z_{HK} - z_{BK})}{z_{ТП}} \quad (34)$$

де z_{HK} , z_{BK} , $z_{ТП}$ - відповідні усереднені наведені витрати на: КП – 0,38 кВ, КП-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 $z_{пс} = 0,5$.

Виходячи з обраного економічно оптимального числа трансформаторів, розраховують найбільшу реактивну потужність у квар, яку доцільно передавати через них у мережу напругою до 1 кВ.

$$Q_m = \sqrt{(\beta \cdot N_{opt} \cdot S_{н.тр})^2 - (P_p + P_{p.o.})^2}, \text{ квар} \quad (35)$$

Сумарну потужність низьковольтних конденсаторних батарей (НБК) у квар, що відповідає економічно оптимальній кількості трансформаторів, визначають за таким виразом:

$$Q_{нк1} = Q_{p\Sigma} - Q_m, \text{ квар} \quad (36)$$

При цьому отриманий вираз не має бути від'ємним. Додатного значення досягають, змінюючи коефіцієнт завантаження цехових трансформаторів таким чином, щоб зменшуване перевищувало від'ємник. Потужність низьковольтних конденсаторних батарей, яка припадає на один трансформатор, визначається наступним чином:

					ЕТ та ЕЕ 4815.035.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

$$Q'_{нк1} = \frac{Q_{нк1}}{N_{опт}}, \text{ квар} \quad (37)$$

На основі отриманого значення підбирають стандартні довідкові величини комплектних конденсаторних установок за таблицею 9.2 [1], після чого сумарна потужність цих установок для даної групи оптимальної кількості цехових трансформаторів становить:

$$Q''_{НК1.СПР} = N_{опт} \cdot Q'_{НК1.СПР}, \text{ квар} \quad (38)$$

Нескомпенсована реактивна потужність в мережі до 1 кВ становитиме:

$$Q_{неск} = (Q_p + Q_{р.о.}) - Q''_{НК1.СПР}, \text{ квар} \quad (39)$$

2.2.2. Визначення додаткової потужності КП в мережі напругою до 1 кВ з метою оптимального зниження втрат активної потужності, викликаних перетіканнями РП

Визначення потужності НБК з метою оптимального зниження втрат:

$$Q_{НК2} = Q_{НЕСК} - \gamma \cdot N_{ТЕ} \cdot S_{НТ}, \text{ квар} \quad (40)$$

де γ - розрахунковий коефіцієнт, що визначається в залежності від коефіцієнтів K_1 та K_2 та схеми живлення цехових ТП по кривим *рис.4.8.*, *4.9.* [1].

- для радіальної схеми живлення цехових трансформаторів *рис.4.8.* [1];
- для магістральної схеми живлення з двома трансформаторами в магістралі *рис. 4.9.* [1];
- для магістральної схеми живлення з трьома і більше трансформаторами в магістралі $\gamma = \frac{K_1}{30}$;
- для двоступеневої схеми живлення трансформаторів від розподільних пунктів (РП) 10(6) кВ, на яких відсутні ДРП, $\gamma = \frac{K_1}{60}$.

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

					ЕТ та ЕЕ 4815.035.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

$$K_1 = \frac{(3_{HK} - 3_{BK})}{C_o} \quad (41)$$

де C_o - розрахункова вартість втрат, грн/кВт.

При відсутності достовірних вартісних показників для практичних розрахунків K_1 рекомендується приймати по табл. 4.6. [1].

Значення K_2 визначають за формулою:

$$K_2 = \frac{L \cdot S_{н.тр}}{F} \quad (42)$$

де L - довжина лінії, що живить трансформатор, км, (при магістральній схемі живлення цехових трансформаторів L - довжина ділянки до першого трансформатора); F - загальний перетин лінії, мм²;

За відсутності відповідних даних допускається приймати значення K_2 по табл. 4.7. [1].

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

1. Вибираємо з шкали встановлених потужностей цехових трансформаторів одиничну потужність $S_{н.тр} = 1000$ кВА.

2. Мінімальне число трансформаторів:

$$N_{т.мін} = \frac{P_{р.с.} + P_{р.о.}}{\beta \cdot S_{н.тр.}} + \Delta N = \frac{1568}{0,83 \cdot 630} + 0,01 = 3 шт. \quad (43)$$

3. Економічно оптимальне число трансформаторів:

$$N_{онт} = N_{т.мін} + m, шт \quad (44)$$

За кривими рис.4.7. визначити додаткове число трансформаторів $m = 0$,

тоді $N_{онт} = N_{т.мін} = 3 шт$

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

$$Q_m = \sqrt{(\beta \cdot N_{онт} \cdot S_{н.тр})^2 - (P_p + P_{р.о.})^2} = \sqrt{(0,835 \cdot 4 \cdot 630)^2 - 1568^2} = 46,9 \text{ квар} \quad (45)$$

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

$$Q_{нк} = Q_{p\Sigma} - Q_m = 2384,2 - 46,9 = 2337,3 \text{ квар} \quad (46)$$

					ЕТ та ЕЕ 4815.035.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

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

$$Q'_{нк1} = \frac{Q_{нк}}{N_{онт}} = \frac{2337,3}{3} = 779,1 \text{ квар} \quad (47)$$

по цій величині вибираємо з табл. 9.2. [1] типорозмір ККУ-0,38 кВ: 2ККУ-0,38-432-150

Тоді сумарна потужність встановлених в цеху комплектних конденсаторних установок складе:

$$Q''_{НК1.СПР} = N_{онт} \cdot Q'_{НК1.СПР} = 2 \cdot 3 \cdot 324 = 1944 \text{ квар} \quad (48)$$

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

$$Q_{неск} = (Q_p + Q_{p.o.}) - Q''_{НК1.СПР} = 2384,2 - 1944 = 440,2 \text{ квар} \quad (49)$$

8. Додаткова потужність НБК для даної групи трансформаторів, $Q_{НК2}$, з метою оптимального зниження втрат:

$$Q_{НК2} = Q_{неск} - \gamma \cdot N_{ТЭ} \cdot S_{HT} = 440,2 - 0,44 \cdot 3 \cdot 630 = -391,4, \text{ квар} \quad (50)$$

де γ - для магістральної схеми живлення з двома трансформаторами в магістралі, визначаємо за кривими 4.9. [1], виходячи зі значень K_1 (табл.4.6. [1]) и K_2 (табл.4.7. [1])

$$K_1 = 12; \quad K_2 = 7; \quad \gamma = 0.44;$$

Так як $Q_{НК2} < 0$, то для даної групи трансформаторів реактивна потужність $Q_{НК2}$ приймається рівною нулю.

					ЕТ та ЕЕ 4815.035.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

2.3. Розміщення цехових трансформаторів на площі цеху

Розташування трансформаторної підстанції в межах виробничого цеху залежить від низки чинників, серед яких щільність електричних навантажень, розміщення технологічного обладнання з огляду на можливість установлення компенсувальних пристроїв, а також мікрокліматичні умови, зумовлені особливостями технологічного процесу. Накопичений практичний досвід проєктування, монтажу й експлуатації цехових ТП, доповнений результатами теоретичних досліджень, дає змогу сформулювати обґрунтовані рекомендації щодо оптимального розміщення підстанцій. Зокрема, доцільним є застосування комплектних трансформаторних підстанцій (КТП), монтаж яких не залежить від конструктивних особливостей будівлі. Наближення КТП до центрів електричних навантажень дає змогу скоротити довжину силових ліній, заощадити кольоровий метал і знизити втрати електроенергії в цеховій мережі. Такий підхід сприяє впровадженню системи розподілених підстанцій, максимально наближених до навантажень, і вже зі стадії проєктування дозволяє враховувати вимоги щодо енергозбереження. Параметри трансформаторної підстанції – потужність, кількість трансформаторів, тип розміщення – повинні відповідати розрахунковим електричним навантаженням, вимогам до безперебійності живлення, а також умовам навколишнього середовища й експлуатації. Залежно від характеру середовища та специфіки виробничого процесу цехові ТП можуть виконуватися у вигляді цехової, вбудованої, прибудованої або окремо розташованої конструкції. У цьому проєкті, зважаючи на те, що вузол навантаження є цехом прокатного виробництва з агресивним середовищем і високим рівнем запиленості, було вирішено встановити прибудовану КТП. Схема компоновання цехових трансформаторів наведена на кресленні № 1 графічної частини дипломного проєкту.

					ЕТ та ЕЕ 4815.035.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

2.4. Вибір схеми живлення цехових трансформаторів

Для забезпечення надійності живлення на випадок вимкнення одного з трансформаторів у системі електропостачання передбачено резервні перемички в низьковольтних мережах. Їхня пропускна здатність має становити 20–30 % потужності трансформатора, якщо застосовуються кабельні лінії, та до 60 % потужності — коли використовуються шинопроводи. З огляду на високу питому щільність навантаження цеху ($4,02 \text{ кВА/м}^2$) і наявність споживачів першої категорії, у проєкті прийнято двотрансформаторну комплектну трансформаторну підстанцію, а потужність кожного трансформатора обрано з урахуванням допустимого перевантаження згідно з ДСТУ 14209–85. Схема живлення силових та освітлювальних споживачів на основі двотрансформаторної КТП подана на рисунку 2.1. У складі підстанції застосовують трифазні трансформатори з первинною напругою 6–10 кВ, які можуть бути з природним масляним охолодженням (на мінеральному маслі або негорючій рідині типу совтол) або з сухою ізоляцією та природним повітряним охолодженням. Для комплектних підстанцій рекомендовано трансформатори закритого типу (ТМЗ, ТНЗ, ТСЗ), у яких ізолятори розміщено в кожусі з азотною подушкою під легким надлишковим тиском, що дає змогу безпечно встановлювати КТП усередині виробничих приміщень навіть у складних умовах. Рекомендованою є схема з'єднання обмоток трансформатора Δ/Y_0-11 , яка забезпечує зниження опору нульової послідовності порівняно зі схемою Y/Y_0-0 , а також покращує умови роботи релейного захисту в разі однофазних коротких замикань.

					ЕТ та ЕЕ 4815.035.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

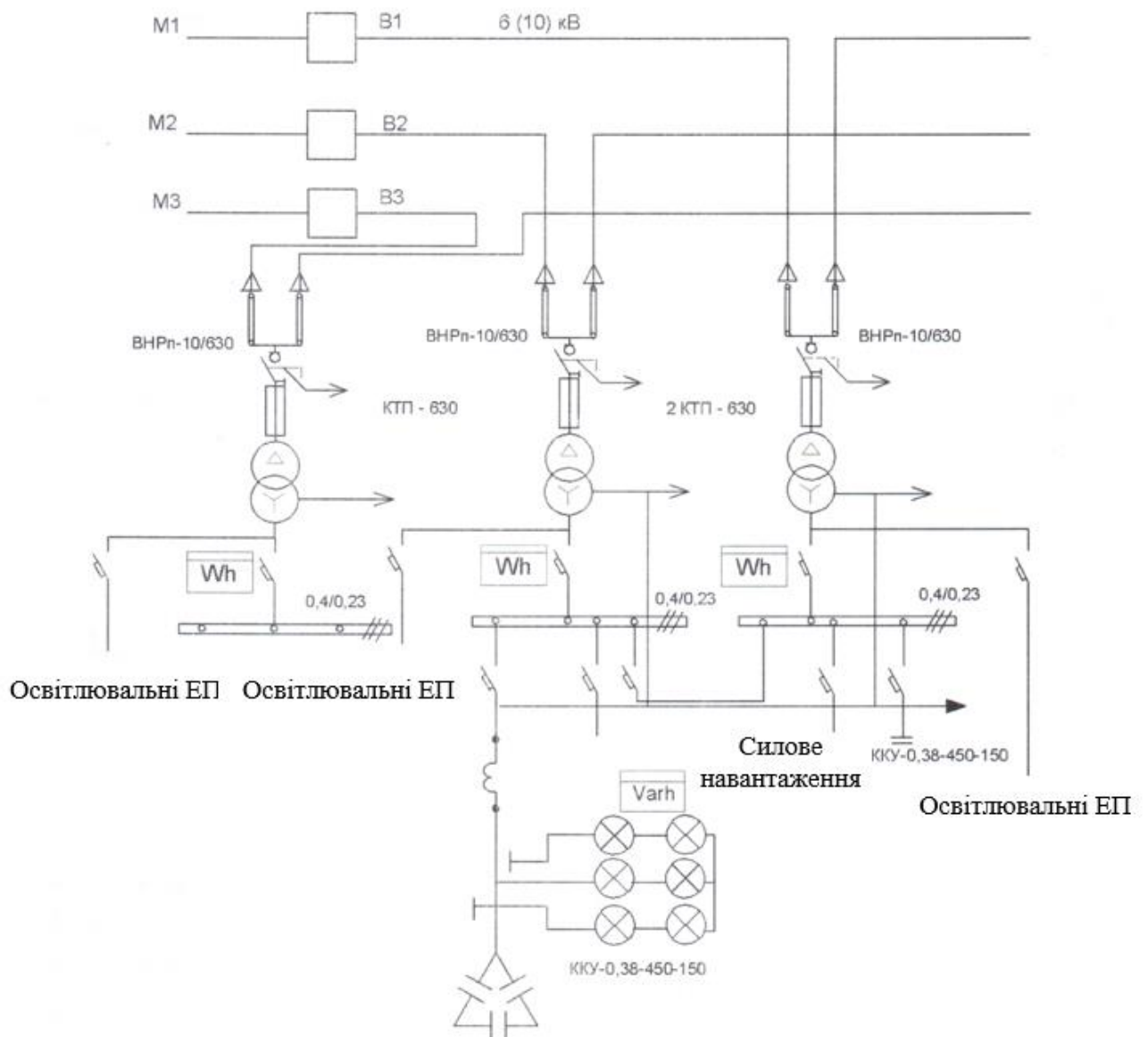
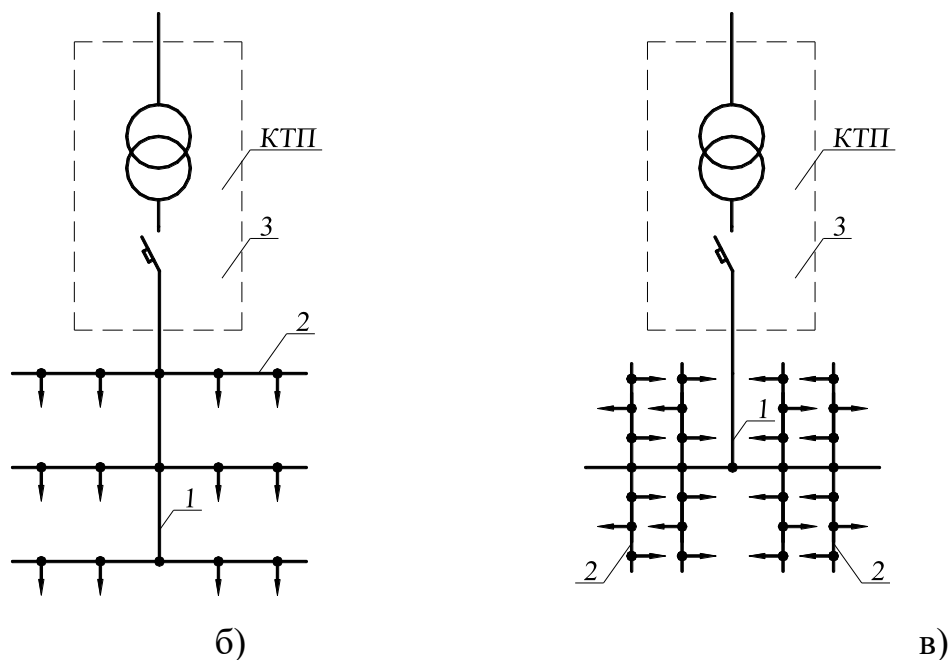


Рис. 2.1. Схема спільного живлення силового та освітлювального навантаження від КТП з КРМ в мережі до 1 кВ.

					ЕТ та ЕЕ 4815.035.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

2.5. Вибір схеми внутрішньоцеховий мережі напругою до 1 кВ

Конфігурація живлення цехових трансформаторів залежить від їхньої кількості, розташування в межах цеху та категорійності навантажень, які вони забезпечують. Згідно з «Інструкцією з проектування електропостачання промислових підприємств» [7] рекомендовано живити цехові трансформатори за подвійними наскрізними магістралями, причому для трансформаторів потужністю 1600–2500 кВА в одній магістралі об'єднують 2–3 одиниці, а для трансформаторів меншої потужності – 3–4 одиниці. У разі встановлення двох трансформаторів застосовують радіальну схему живлення. Останнім часом, коли трансформаторні підстанції розміщують безпосередньо в центрах електричних навантажень, у низьковольтних мережах набула поширення схема «блок трансформатор – магістраль» (БТМ), яку наведено на рис. 2.2.



б – вихід магістралі в одному напрямку;

в – вихід магістралі у двох напрямках;

1 – живляча магістраль;

2 – розподільні шинопроводи;

3 – апаратура управління та захисту.

Рис. 2.2. схеми БТМ

					ЕТ та ЕЕ 4815.035.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Внутрішньоцехова мережа, реалізована за схемою «блок трансформатор – магістраль», стає простішою, тому КТП може не мати розподільного пристрою низької напруги. У такому випадку від трансформатора КТП відходить магістральний шинопровід, призначений для передавання електроенергії до кількох розподільних шинопроводів або безпосередньо до окремих електроприймачів. Схеми БТМ набули широкого застосування для живлення цехових мереж прокатних цехів металургійної промисловості. За своєю структурою внутрішньоцехові мережі поділяються на радіальні, магістральні та змішані, що проілюстровано відповідно на рисунках 2.3, 2.4 і 2.5.

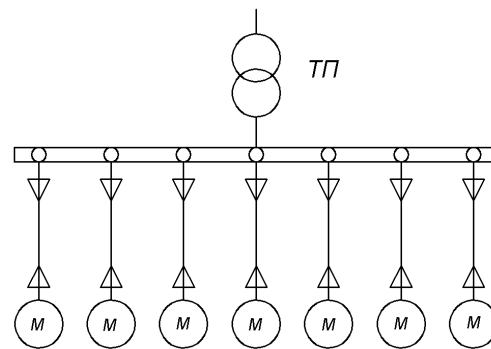


Рис. 2.3. Радіальна схема живлення ЕП

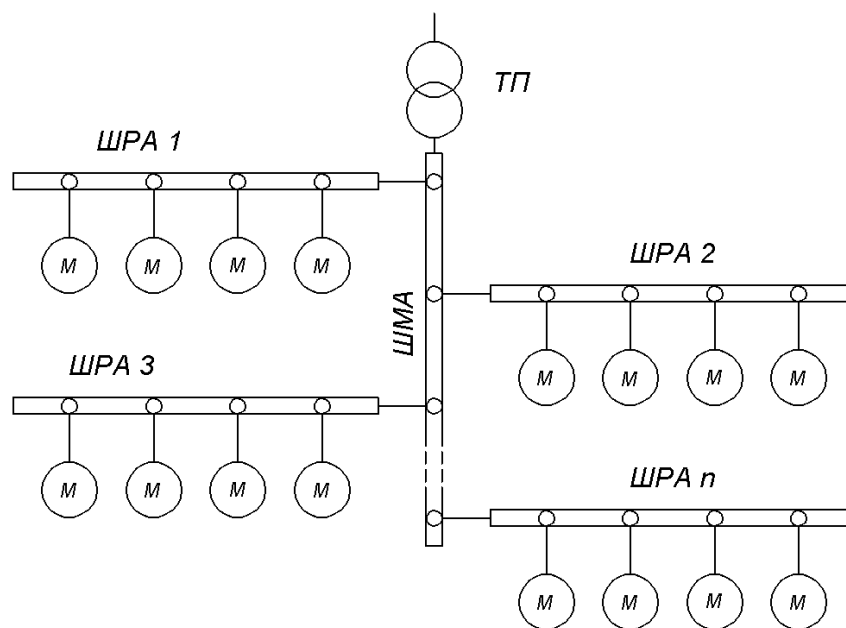


Рис. 2.4. Магістральна схема живлення

					ЕТ та ЕЕ 4815.035.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

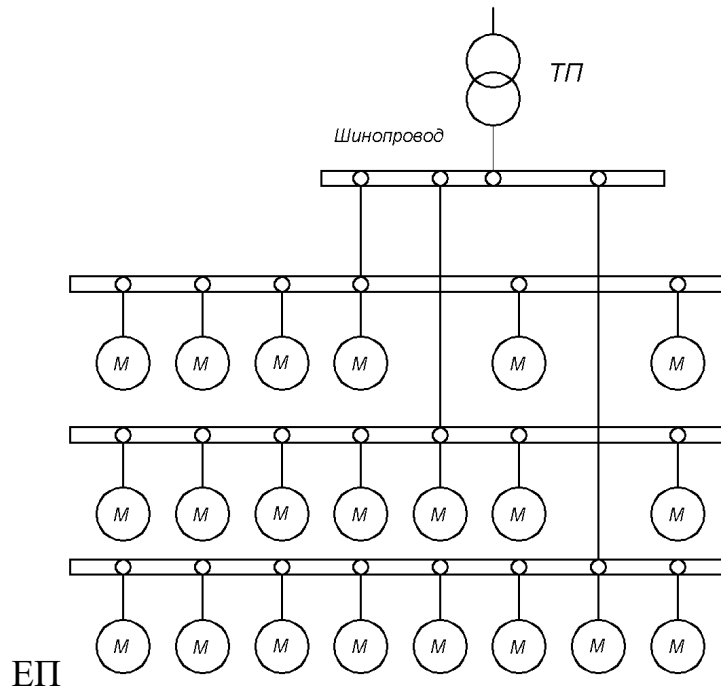


Рис. 2.5. Змішана схема живлення ЕП

Обґрунтування вибору схеми живлення електроприймачів

При реалізації радіальної схеми електропостачання електроприймачі низької напруги (ЕП НН) підключаються до окремих ліній, що відходять від розподільного пристрою низької напруги (РПНН) трансформаторної підстанції. Такі схеми використовуються:

- у випадках зосередженого та нерівномірного розподілу навантажень,
- у вибухо- та пожежонебезпечних приміщеннях,
- в насосних і компресорних установках.

Радіальні лінії зазвичай виконуються ізольованими проводами або кабельними трасами.

Переваги радіальної схеми:

- висока надійність – вихід з ладу однієї лінії не впливає на інші споживачі.

Недоліки:

- значні капітальні витрати на прокладку струмопровідних ліній;
- потреба в великій кількості захисної апаратури;
- обмежені можливості для індустріального монтажу.

					ЕТ та ЕЕ 4815.035.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Магістральні схеми живлення доцільно використовувати в умовах:

- рівномірного просторового розміщення споживачів по площі цеху,
- групового живлення електроприймачів однієї технологічної лінії.

У таких схемах одна магістраль живить кілька розподільних шаф та потужних споживачів. Основна особливість – застосування шинопроводів, які забезпечують промисловий монтаж із можливістю підключення навантажень у будь-якій точці. Недоліком магістральної схеми є менша надійність у разі аварії – при пошкодженні магістралі знеструмлюються всі споживачі, підключені до неї. Проте використання резервних перемичок між сусідніми магістралями значно підвищує загальну надійність.

З урахуванням переваг і обмежень, у практиці зазвичай застосовують змішані схеми, пристосовані до умов конкретного виробництва. Наприклад, у механічних цехах машинобудування при реалізації системи типу "трансформатор – магістраль" застосовується магістральний шинопровід із підключеними до нього розподільними штепсельними шинопроводами. Від них у свою чергу живлення до електроприймачів подається через радіальні лінії. На окремих ділянках встановлюються розподільні пункти, які під'єднуються до найближчих магістральних або розподільних шин.

У прокатних, ковальських, ливарних та суміжних виробництвах електропостачання також реалізується через розподільні пункти.

У даному проєкті до реалізації прийнята магістральна схема з резервними перемичками між розподільними шинопроводами, що відповідає вимогам надійності, адаптивності та технологічної ефективності для умов важкого промислового виробництва.

					ЕТ та ЕЕ 4815.035.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

2.6. Вибір типу і параметрів комутаційно-захисних апаратів у внутрішньоцехових мережах (для одного з присьєднань)

Під час експлуатації електричних мереж можуть виникати порушення нормального режиму, зокрема перевантаження або короткі замикання, які супроводжуються різким зростанням струму в провідниках. Щоб запобігти пошкодженню обладнання та зберегти надійність електропостачання, необхідний швидкодіючий автоматичний захист, здатний з мінімальною витримкою часу вимкнути аварійну ділянку. Захист внутрішньоцехових мереж реалізується за допомогою плавких запобіжників, автоматичних повітряних вимикачів (автоматів) і теплових реле магнітних пускачів. Автоматичні вимикачі мають суттєві переваги перед запобіжниками: вони надійніше реагують на перевантаження, одночасно вимикають усі три фази, унеможливаючи неповнофазний режим роботи споживачів, і є багаторазовими в дії, що дає змогу застосовувати їх у системах автоматичного введення резерву (АВР) та автоматичного повторного ввімкнення (АПВ). Завдяки цим якостям автомати широко використовуються в мережах змінного струму напругою до 660 В. Для виконання захисних функцій автоматичні вимикачі оснащуються релейними пристроями, які забезпечують струмове відсічення – миттєве вимкнення в разі короткого замикання – та максимальний струмовий захист із витримкою часу, що гарантує селективність. Ці функції реалізуються електромагнітними розчеплювачами прямої дії, які, залежно від типу автомата, можуть спрацьовувати як без витримки часу, так і з нею. Для забезпечення надійного та селективного захисту при коротких замиканнях і перевантаженнях максимальні розчеплювачі автоматів комплектуються витримками часу у вигляді годинникових механізмів. Уповільнення досягається завдяки сповільнювачу розчеплювача – механізму, що створює незалежну витримку часу, регульовану в межах 0,2–0,4 с або 0,4–0,6 с.

					ЕТ та ЕЕ 4815.035.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Автомати вибирають з дотриманням таких вимог: $U_{a.ном} > U_{ном.с}$

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

$U_{ном.с}$ – номінальна напруга захищеної ділянки мережі.

$$I_{розч.ном} \geq I_{розч.тах}$$

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

$I_{розч.тах}$ – розрахунковий струм захищеної ділянки мережі.

Для одиночних, захищених автоматом, двигунів:

$$I_{розр.тах} = I_{ном.дв}$$

Для елементів мережі, що працюють в умовах технологічних перевантажень, доцільно застосовувати автомати з регульованим розчіплювачем уповільненого спрацювання, який забезпечує захист саме від перевантаження.

Уставку цього уповільненого спрацювання $I_{уст.п}$ обирають за виразом (51):

$$I_{уст.п} \geq (1,3 \div 1,5) I_{розр.тах}. \quad (51)$$

При виборі струму уставки миттєвого спрацювання електромагнітного розчеплювача, призначеного для захисту від коротких замикань, слід відбудуватися від короткочасних перевантажень, зумовлених пуском або самозапуском двигунів, керуючись виразом (52):

$$I_{уст.к.з.} \geq (1,5 \div 1,8) I_{пер}, \quad (52)$$

де $I_{пер}$ ($I_{пик}$) – Піковий струм або струм короткочасних перевантажень, який розраховують з огляду на характер навантаження захищеної ділянки мережі за відповідними виразами:

- для одиночних двигунів:

$$I_{перезр} = I_{пуск} = k_{пуск} \cdot I_{ном.дв}, \quad (53)$$

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

- для режиму запуску невідключаємих самозапускаючихся двигунів:

$$I_{перезр} = \sum_{i=1}^n I_{пуски}, \quad (54)$$

де $\sum_{i=1}^n I_{пуски}$ - сума пускових струмів самозапускаючихся двигунів;

					ЕТ та ЕЕ 4815.035.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

- для випадку пуску найбільш потужного двигуна і режиму нормальної роботи всіх інших електроприймачів, підключених до захищаємої лінії:

$$I_{пер} \geq k_c \cdot \sum_1^{n-1} I_{н.дв} + I_{пуск.мах} , \quad (55)$$

де $\sum_1^{n-1} I_{н.дв}$ - сума номінальних струмів двигунів, приєднаних до захищаємої лінії без урахування найбільш потужного двигуна;

$I_{пуск мах}$ – пусковий струм найбільш потужного двигуна на захищаємій ділянці мережі, А;

k_c – коефіцієнт попиту, $k_c < 1$.

Всі вибрані автомати перевіряють:

- по вимикаючій здібності:

$$I_{пред.откл.} \geq I_{к.з.мах}^{(3)} \quad (56)$$

- на чутливість захистів:

- при захисті автоматами з розчеплювачами уповільненої дії:

$$I_{к.з.мин}^{(1)} \geq I_{розч.ном} \quad (57)$$

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

- при захисті автоматами з розчеплювачами миттєвого спрацювання:

$$I_{к.з.мин}^{(1)} \geq (1,25 \div 1,4) I_{уст.к.з.} \quad (58)$$

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 проводити на чутливість захисту при кратності струму к.з. у таких випадках:

- при захисті ділянки мережі автоматом з розчеплювачем миттєвого спрацювання:

$$I_{уст к.з.} \leq 4,5 I_{тр.доп} \quad (59)$$

					ЕТ та ЕЕ 4815.035.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

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

- при захисті ділянки мережі автоматом з регульованим розчеплювачем уповільненого спрацьовування:

$$I_{уст\ к.з.} \leq 1,5 I_{тр.доп} \quad (60)$$

Селективні автомати перевіряють на динамічну і термічну стійкість за виразами:

$$i_{дин} \geq i_y \quad (61)$$

$$B_{К.доп} \geq I_{П.О.}^2 \cdot t_{снр} \quad (62)$$

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

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

K_y - ударний коефіцієнт; $K_y = 1 + e^{-0,01/T_a}$; $T_a = \frac{X_K}{2 \cdot \Pi \cdot f \cdot r_K}$

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

Параметри і типи автоматичних вимикачів обирають на основі однолінійної схеми живлення споживачів цеху, наведеної на аркуші 2 графічної частини, де позначено місця встановлення автоматів та їх призначення. Автомати QF1–QF3 призначені для захисту асинхронних двигунів, параметри яких вказано в таблиці П.3, при цьому одиничну потужність двигунів студент обирає самостійно згідно з умовами завдання; ці двигуни розташовані в приміщенні з нормальним середовищем, а режим їхньої роботи визначається режимом приводного механізму. Автомати QF4–QF7 мають однакові характеристики, оскільки захищають електроприймачі, приєднані до розподільних шинопроводів ШРА1–ШРА6 з рівномірним завантаженням. Автомат QF8 є ввідним, його параметри визначаються встановленою потужністю трансформатора з урахуванням допустимих перевантажень за ДСТУ 14209-85, а автомат QF9 — секційний, його параметри приймають відповідно до ввідного автомата. Процес вибору параметрів автоматів безпосередньо біля споживачів починають із визначення

					ЕТ та ЕЕ 4815.035.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

номінальних струмів двигунів, що підлягають захисту: за довідником [3] встановлюють тип і потужність двигунів, а на їх основі — номінальні струми.

$$I_{н.дв.} = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi \cdot \eta}, \text{ А}; \quad (63)$$

$$I_{н.дв.} = \frac{15}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,88 \cdot 0,91} = 28,5 \text{ А}; \quad (64)$$

Результати розрахунку заносимо в таблицю 2.2.

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

$$I_{пуск} = k_n \cdot I_{н.дв.}, \text{ А}; \quad (65)$$

$$I_{пуск} = 6 \cdot 28,5 = 171 \text{ А}; \quad (66)$$

Відповідно до розрахункових значень обираємо автоматичний вимикач типу ВА 88-35 із номінальними параметрами, наведеними в таблиці 1 на сторінці 7 джерела [3]. Під час вибору номінального струму комбінованого електромагнітного розчеплювача цього автомата, який вбудовано в шафу, потрібно врахувати тепловий поправочний коефіцієнт, що дорівнює 0,85:

$$I_{н.розч.} = \frac{I_{н.дв.}}{0,85}, \text{ А}; \quad (67)$$

$$I_{н.розч.} = \frac{28,5}{0,85} = 33,5 \text{ А}; \quad (68)$$

Обираємо розчеплювач з номінальним струмом $I_{н.розч.} = 100 \text{ А}$.

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

$$I_{спр.ел.} = 1,25 \cdot I_{пуск}, \text{ А}; \quad (69)$$

$$I_{спр.ел.} = 1,25 \cdot 171 = 213,8 \text{ А}.$$

Уставку струму електромагнітного розчеплювача встановлюємо згідно з паспортними часо-струмовими характеристиками на рівні 250 А. Далі визначаємо навантаження шинопроводу ШРА-73-1, причому за умови підключення до нього трьох двигунів розрахункове навантаження дорівнює сумі номінальних струмів цих двигунів.

					ЕТ та ЕЕ 4815.035.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

$$I_{P.ШРА-1} = \sum_1^3 I_{ном.дв.} = 197,3 \text{ A}; \quad (70)$$

Піковий струм шинопроводу визначають за умови пуску найпотужнішого з приєднаних до нього двигунів, беручи до уваги, що двигуни потужністю понад 100 кВт оснащені пристроями плавного пуску.

$$I_{пик} = I_{пуск.мах} + \sum_1^{n-1} I_{ном.дв.} = 763,2 + 197,3 = 960,5 \text{ A} \quad (71)$$

Номінальний струм електромагнітного розчеплювача вибираємо з поправкою на тепловий коефіцієнт:

$$I_{н.розч.} \geq I_{P.ШРА-1} \quad (72)$$

Пересвідчуємося, що автомати не спрацюють хибно під час пуску найпотужнішого двигуна, тобто забезпечуємо належне відлаштування від пускових струмів:

$$1,25 \cdot I_{пик} \geq I_{спр.ел.розч.} \quad (73)$$

Отримані результати розрахунку заносяться до таблиці 2.2. Далі переходимо до вибору ввідного автомата. Ввідні автомати обираються виходячи зі встановленої потужності цехових трансформаторів із урахуванням їхнього можливого перевантаження в післяаварійному режимі відповідно до вимог ДСТУ 14209-89.

$$I_{н.ав.} = \frac{1,4 \cdot S_{номт}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{1,4 \cdot 630}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 1341,6 \text{ A}. \quad (74)$$

Орієнтуючись на струм післяаварійного режиму та зважаючи на поправочний тепловий коефіцієнт, підбираємо номінальний струм селективного автоматичного вимикача, якому притаманна витримка часу під час короткого замикання, незалежна від величини струму:

$$\frac{I_{н.ав.}}{0,85} \leq I_{ном расц} \quad (75)$$

$$1578,4 < 1600$$

Приймаємо до встановлення автомат ВА 55-43, $I_{п.ав.} = 1600 \text{ A}$.

Секційний автомат вибираємо по навантаженню секції або на щабель

					ЕТ та ЕЕ 4815.035.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

нижче вступного автомата:

$$I_{p.секеції} = \frac{(0,6 \div 0,7) \cdot I_{n.аб}}{0,85}, A \quad (76)$$

Приймаємо до встановлення автомат типу ВА 55-41, $I_{п.ав.} = 1000 \text{ А}$.

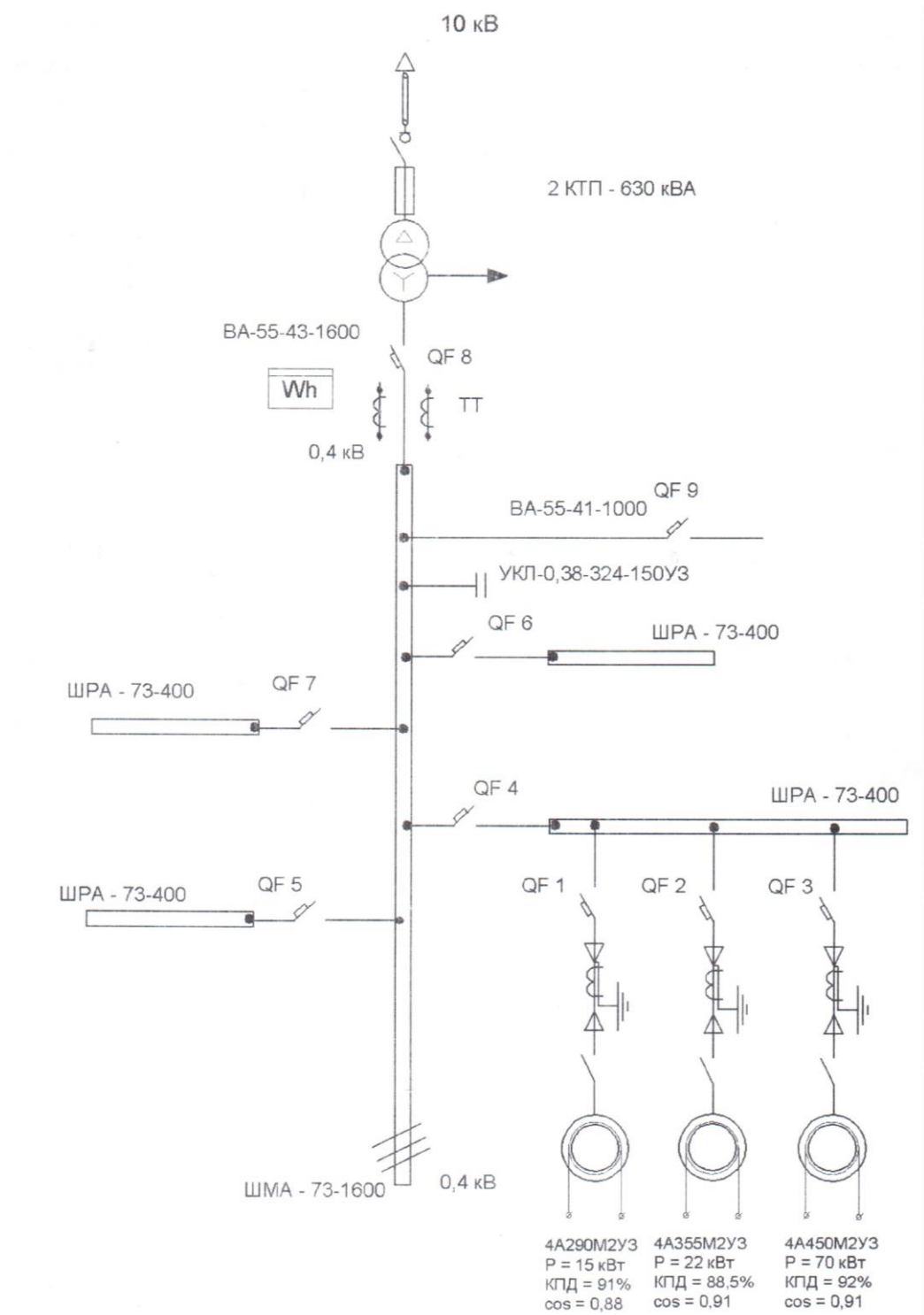


Рис.2.6. Схема БТМ для вибору місць розташування автоматів та розрахунку їх параметрів

					<i>ЕТ та ЕЕ 4815.035.000 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

2.7. Вибір марки і перетину струмоведучих частин

Під внутрішньоцеховими мережами напругою до 1 кВ в вибухонебезпечних приміщеннях перетин проводів вибирають за умовою нагріву тривало-допустимим струмом:

$$I_{P\max} \leq I_{mp.\text{доп}} \quad (77)$$

де $I_{P\max}$ – розрахунковий максимальний струм лінії, А;

$I_{mp.\text{доп}}$ – тривало допустимий струм стандартних перерізів, А.

Під час розрахунку кола за умовою нагріву спочатку обирають марку провідника, зважаючи на характер середовища в цеху, конфігурацію цеху та спосіб прокладання мережі. До вибору перерізів проводів і кабелів напругою до 1 кВ слід братися вже після того, як вибрано захисні апарати, оскільки переріз струмопровідних частин, визначений за умовою нагріву, потрібно перевірити на узгодженість із параметрами захисту.

$$I_{mp.\text{доп}} n \geq k_3 \cdot I_3 \quad (78)$$

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

k_3 – коефіцієнт захисту, що визначається за таблицею 5-9 [2].

Залежно від умов експлуатації – невибухонебезпечне та непожежонебезпечне середовище, а також робота обладнання з можливими технологічними перевантаженнями (металорізальні верстати, підйомно-транспортне устаткування, зварювальні агрегати) – дроти та кабелі передбачається вибирати з гумовою ізоляцією, при цьому коефіцієнт захисту k_3 приймають рівним 1. Обраний і перевірений на відповідність захисту переріз кабелю додатково перевіряють за втратою напруги згідно з умовою.

$$\Delta U_{\text{діюч}} \leq \Delta U_{\text{доп}} \quad (79)$$

$$\Delta U_{\text{доп}} = 0,05 U_{\text{ном}} \quad (80)$$

					ЕТ та ЕЕ 4815.035.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

$$0,05U_{ном} = 0,05 \cdot 380 \text{ В} = 19 \text{ В} \quad (81)$$

$$\Delta U_{діюч} = \sqrt{3} \cdot I_p \cdot l (r_0 \cdot \cos \varphi + x_0 \sin \varphi), \quad (82)$$

де I_p – розрахунковий струм лінії, А;

l – довжина лінії, км, визначається по генплану цеху;

r_0, x_0 – відповідно питомі активні і індуктивні опори провідника, Ом/км - довідкові дані для стандартних перерізів, див. таблицю П. 5. Індуктивний опір $x_0 = 0,06 \text{ Ом/км}$.

Вибираємо переріз кабелю по умові нагріву

$$I_{p \max} \leq I_{тр.доп} \quad (83)$$

Для двигуна потужністю: 40 кВт $176,5 < 290$

Обираємо 4-х жильний кабель типу АВВГ 3х150

Перевіряємо на відповідність захисту $I_{тр.доп} \geq k_3 \cdot I_3$,

Обираємо шинопровід розподільний за тими ж умовами, $I_{p \max} \leq I_{дл.доп}$.

Перевіряємо аналогічно: $I_{тр.доп} \geq k_3 \cdot I_3$,

Вибираємо шинопровід розподільний типу ШРА-73/2070 з перерізом робочої шини 120х10.

Перевіряємо вибрані кабелі по втраті напруги:

$$\Delta U_{діюч} < 0,05U_n \quad (84)$$

$$\Delta U_{діюч} = \sqrt{3} \cdot I_p \cdot l (r_0 \cdot \cos \varphi + x_0 \sin \varphi), \quad (85)$$

де I_p – розрахунковий струм;

l – довжина кабелю;

r_0, x_0 – питомі активний та індуктивний опори кабелю.

$\cos \varphi = 0,6$; $\sin \varphi = 0,8$

$0,05 \cdot U_n = 19 \text{ В}$

$0,3 < 19$

					ЕТ та ЕЕ 4815.035.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Таблиця 2.2.

Вибір автоматів та струмоведучих частин

№ автомата	Назва автомата (місце в схемі)	Номінальна потужність, кВА	Номінальний струм, А	Кратність пускового струму	Пусковий струм, А	Тепловий поправочний коефіцієнт	$\frac{I_{ном}}{0,85}$ $\frac{I_p}{0,85}$	Номінальний струм розчеплювача, А	Струм уставки розчеплювача	Тип автомата	Коефіцієнт захисту	Допустимий струм СВЧ	Перевірка вибраногоперетину по умові	Остаточна обрана марка та перетин СВЧ, мм ²	Перевірка СВЧ по втраті напруги,
QF1	ШРА-1- АД-1	15	28,5	6	171	0,85	33,5	100	400	A3710Б	1	115	115	АВВГ (3x25)	2,34
QF2	ШРА-1- АД-2	22	41,6	6	249,6	0,85	48,9	125	400	A3710Б	1	140	140	ААВГ (3x35)	3,41
QF3	ШРА-1- АД-3	70	127,2	6	763,2	0,85	149,6	160	1000	A3710Б	1	170	170	АВВГ (3x70)	10,43
QF4	ШМА- ШРА-1	-	197,3	-	960,5	0,85	232,1	250	1600	A3710Б	1	400	-	ШРА-73	-
QF5	ШМА- ШРА-2	-	197,3	-	960,5	0,85	232,1	250	1600	A3710Б	1	400	-	ШРА-73	-
QF6	ШМА- ШРА-3	-	197,3	-	960,5	0,85	232,1	250	1600	A3710Б	1	400	-	ШРА-73	-
QF7	ШМА- ШРА-4	-	197,3	-	960,5	0,85	232,1	250	1600	A3710Б	1	400	-	ШРА-73	-
QF8	ТР-р- ШМА	630	1341,6	-	-	-	-	1600	-	ВА55-43	-	1600	-	ШМА-73	-
QF9	Секційний	-	947	-	-	-	-	1000	-	ВА55-41	-	1000	-	ШМА-73	-

ЕТ та ЕЕ 4815.035.000 ПЗ

Лист

2.8 Розрахунок струмів короткого замикання в мережі до 1 кВ

Метою розрахунку струмів короткого замикання в мережах до 1 кВ є перевірка вибраних автоматичних вимикачів та шинопроводів на стійкість до дії цих струмів, а також перевірка автоматів за граничною здатністю до відключення та за чутливістю захисту. Для перевірки захисних апаратів за граничним струмом короткого замикання знаходять його максимальне значення для трифазного замикання, тоді як для оцінки чутливості захисту визначають мінімальний струм однофазного короткого замикання в найбільш електрично віддаленій від джерела живлення точці мережі. Особливістю таких розрахунків є те, що вони виконуються в іменованих одиницях, а також необхідність ураховувати активні та індуктивні опори всіх елементів короткозамкненого кола, зокрема провідників, трансформаторів струму, струмових котушок автоматів, а також опори дуги, контактів і контактних з'єднань. Впливом асинхронних двигунів під час розрахунків струмів короткого замикання дозволяється нехтувати, якщо їхній сумарний номінальний струм не перевищує 10% від початкового значення періодичної складової струму в місці замикання, визначеної без урахування цих двигунів:

$$0,1 \cdot I_{\text{по}} > \sum_{i=1}^n I_{\text{н.двю}}. \quad (86)$$

Формується розрахункова схема, на яку наносяться точки короткого замикання, після чого на її основі будується схема заміщення, де всі елементи подаються у вигляді активних та індуктивних опорів. Далі обчислюються опори елементів мережі, зокрема опори прямої та нульової послідовностей, а також опір кола фаза-нуль, після чого у визначених точках мережі розраховують значення струмів трифазного й однофазного короткого замикання. Методика виконання цих розрахунків в електроустановках змінного струму напругою до 1 кВ регламентується ДСТУ28249–89.

					ЕТ та ЕЕ 4815.035.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

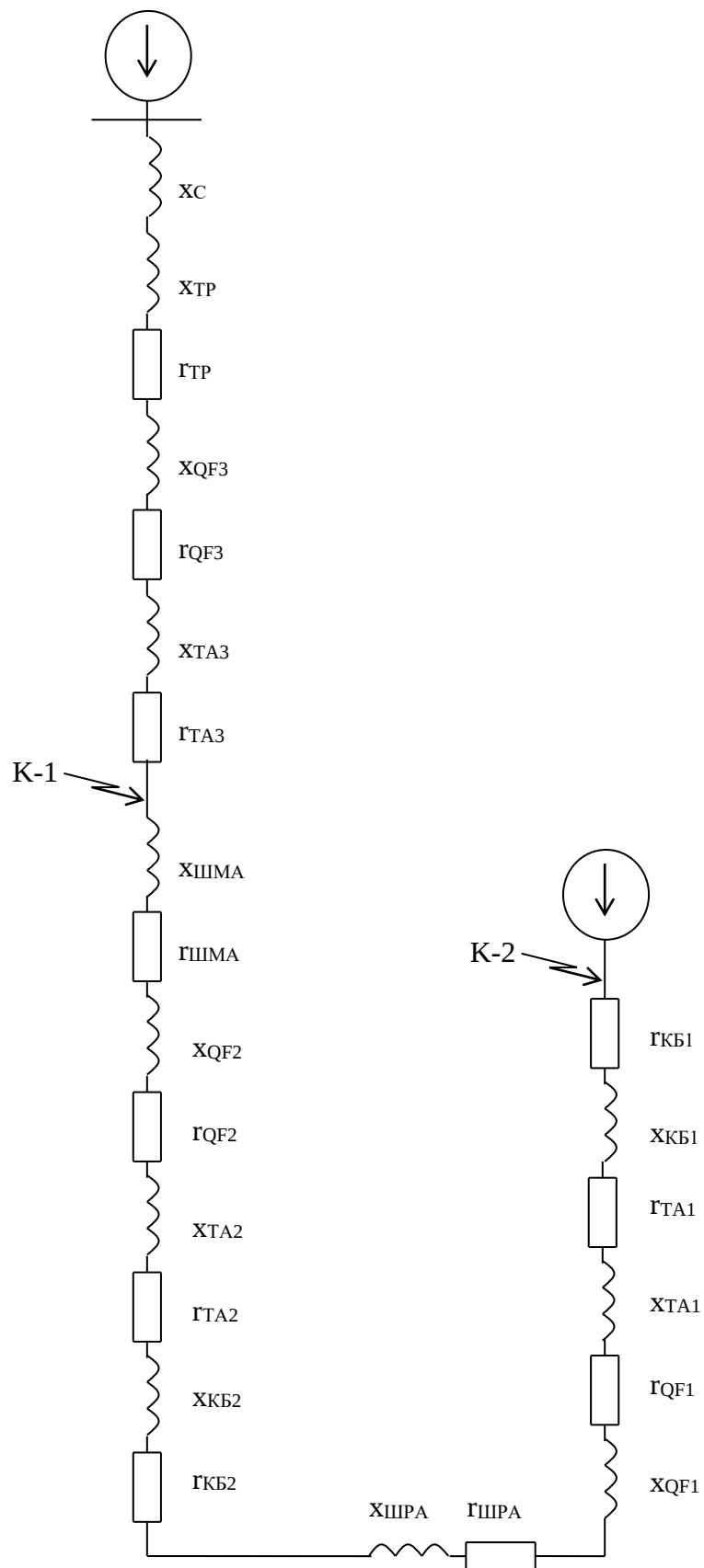


Рис. 2.7. Схема заміщення

					ЕТ та ЕЕ 4815.035.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

2.8.1 Розрахунок початкового значення періодичної складової струму трифазного короткого замикання

При електропостачанні електроустановок від енергосистеми через знижувальний трансформатор початкове діюче значення періодичної складової струму трифазного к. з. ($I_{\text{ПО}}^{(3)}$) в кА без урахування підживлення від електродвигунів розраховується по формулі (87):

$$I_{\text{ПО}}^{(3)} = \frac{U_{\text{срнн}}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{r_{1\Sigma}^2 + x_{1\Sigma}^2}}, \quad (87)$$

де $U_{\text{срнн}}$ - середня номінальна напруга в точці к.з. (К-1).

Таблиця 2.3

Питомі опори елементів мережі

Опір послідовностей	Питомі опори мОм/м	ТВЧ				Трансформатори тока			Автомати		
		ШМ А 630	ШРА 165	Кабель S=70 мм ² (15м)	Кабель S=25 мм ² (5м)	ТА 1 75/5	ТА 2 200/ 5	ТА 3 1000/5	QF 1	QF 2	QF 3
Пряма	r_1	0,03	0,15	0,89	1,2	3	0,02	0,01	3,5	0,41	0,14
	x_1	0,017	0,17	0,025	0,09	4,8	0,03	0,02	2	0,13	0,08
Нульов а	r_0	0,038	0,162	2,5	2,7						
	x_0	0,045	0,164	0,075	0,01						
Фаза- нуль	$r_{\text{Ф-0}}$	0,068	0,262	0,27	0,38						
	$x_{\text{Ф-0}}$	0,059	0,294	0,173	0,22						

$$r_{1\Sigma} = r_{1T} + r_{QF3} + r_{ТА3}, \text{ Ом}$$

$$x_{1\Sigma} = x_C + x_{1T} + x_C + x_{QF3} + x_{ТА3}, \text{ Ом}$$

де x_C – еквівалентний індуктивний опір системи до знижувального трансформатора, приведений до сторони нижчої напруги :

$$x_C = \frac{U_{\text{срнн}}^2}{\sqrt{3} \cdot I_{\text{кзвн}} \cdot U_{\text{срвн}}}, \text{ Ом} \quad (88)$$

					ЕТ та ЕЕ 4815.035.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

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

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

$$x_c = \frac{400^2 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{3} \cdot 57,7 \cdot 6,3} = 0,25 \text{ мОм} \quad (89)$$

Для трансформатора ТСЗ-1000 $U_k = 5,5 \%$, $\Delta P_{\text{к.з.}} = 4,5 \text{ кВт}$.

r_{1T} , r_{QF3} , r_{TA3} , x_{1T} , x_c , x_{QF3} , x_{TA3} – активні і індуктивні опори трансформатора, автоматів, трансформаторів струму. Вони приведені в таблиці 2.3.

Активні і індуктивні опори прямої послідовності знижувальних трансформаторів r_{1T} та x_{1T} визначаються по виразах:

$$r_{1T} = \frac{\Delta P_{\text{кз}} \cdot U_{\text{нн}}^2 \cdot 10^6}{S_{\text{нТ}}^2}; \quad (90)$$

$$x_{1T} = \sqrt{U_{\text{кз}}^2 - \left(\frac{100 \cdot \Delta P_{\text{кз}}}{S_{\text{нТ}}} \right)^2} \cdot \frac{10^4 \cdot U_{\text{нн}}^2}{S_{\text{нТ}}}, \quad (91)$$

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

$U_{\text{к.з.}}$ – напруга короткого замикання трансформатора, % (довідкові дані трансформатора);

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

$S_{\text{н тр}}$ – номінальна потужність трансформатора, кВА.

$$r_{1T} = \frac{4,5 \cdot 0,23^2 \cdot 10^6}{1600^2} = 1,5 \text{ мОм}; \quad (92)$$

$$x_{1\phi} = \sqrt{4,5^2 - \left(\frac{100 \cdot 4,5}{1600} \right)^2} \cdot \frac{10^4 \cdot 0,4^2}{1600} = 24,3 \text{ мОм}. \quad (93)$$

$$r_{1\Sigma} = 1,5 + 0,14 + 0,01 = 1,65 \text{ мОм},$$

$$x_{1\Sigma} = 0,25 + 24,3 + 0,08 + 0,002 = 24,65 \text{ мОм}.$$

$$I_{II}^{(3)} = \frac{1600}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{1,65^2 + 24,65^2}} = 10,3 \text{ кА}.$$

					ЕТ та ЕЕ 4815.035.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

2.8.2 Розрахунок струмів однофазного короткого замикання в точці К - 2

Ток однофазного к. з. в точці К – 2 розраховується по формулі:

$$I_{\text{по min}}^{(1)} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ср.нн}}}{\sqrt{(r_{1\Sigma}'' + r_{0\Sigma})^2 + (x_{1\Sigma}'' + x_{0\Sigma})^2}}, \quad (94)$$

де $r_{1\Sigma}'' = r_{1\Sigma}' + (r_{\text{ф-о.шма}} + r_{\text{ф-о.шра}} + r_{\text{ф-о.кб1}} + r_{\text{ф-о.кб2}})$

$$r_{1\Sigma}' = 5,65 + 0,03 \cdot 0,35 + 0,41 + 0,2 \cdot 0,15 + 3,5 + 0,1 \cdot 0,89 + 3 + 0,1 \cdot 1,2 = 12,81 \text{ мОм};$$

$$r_{1\Sigma}'' = 12,81 + (0,35 \cdot 0,068 + 0,2 \cdot 0,262 + 0,1 \cdot 0,27 + 0,1 \cdot 0,38) = 12,95 \text{ мОм};$$

$$x_{1\Sigma}'' = x_{1\Sigma}' + (x_{\text{ф-о.шма}} + x_{\text{ф-о.шра}} + x_{\text{ф-о.кб1}} + x_{\text{ф-о.кб2}});$$

$$x_{1\Sigma}' = x_{1\Sigma} + x_{1\text{шма}} + x_{1\text{QF2}} + x_{1\text{шра}} + x_{1\text{QF1}} + x_{1\text{ТА1}} + x_{1\text{КБ1}} + x_{1\text{ТА2}} + x_{1\text{КБ2}};$$

$$x_{1\Sigma}' = 21,65 + 0,35 \cdot 0,017 + 0,13 + 0,2 \cdot 0,17 + 2 + 4,8 + 0,03 + 0,1 \cdot 0,025 + 0,1 \cdot 0,09 = 28,66 \text{ мОм};$$

$$x_{1\Sigma}'' = 28,66 + (0,35 \cdot 0,059 + 0,2 \cdot 0,294 + 0,1 \cdot 0,173 + 0,1 \cdot 0,22) = 28,79 \text{ мОм}.$$

Для знижувальних трансформаторів, обмотки яких з'єднані за схемою Δ/Y_0 , під час короткого замикання в мережі низької напруги активні та індуктивні опори нульової послідовності приймають рівними реальним опорам прямої послідовності.

$$r_{0\Sigma} = r_{0\text{т}} + r_{0\text{QF3}} + r_{0\text{ТА3}} + r_{0\text{шма}} + r_{0\text{QF2}} + r_{0\text{ТА2}} + r_{0\text{КБ2}} + r_{0\text{шра}} + r_{0\text{ТА1}} + r_{0\text{QF1}} + r_{0\text{КБ1}};$$

$$r_{0\Sigma} = 5,5 + 0,14 + 0,01 + 0,03 \cdot 0,35 + 0,41 + 0,02 + 0,1 \cdot 0,89 + 0,2 \cdot 0,15 + 3 + 3,5 + 0,1 \cdot 1,2;$$

$$r_{0\Sigma} = 12,83 \text{ мОм};$$

$$\begin{aligned} x_{0\Sigma} &= x_{0\text{т}} + x_{0\text{QF3}} + x_{0\text{ТА3}} + x_{0\text{шма}} + x_{0\text{QF2}} + x_{0\text{ТА2}} + x_{0\text{КБ2}} + x_{0\text{шра}} + x_{0\text{ТА1}} + \\ &+ x_{0\text{QF1}} + x_{0\text{КБ1}} = 21,65 + 0,08 + 4,8 + 0,35 \cdot 0,017 + 0,13 + 0,03 + 0,1 \cdot 0,025 + \\ &+ 0,2 \cdot 0,17 + 0,02 + 2 + 0,1 \cdot 0,09 = 28,76 \text{ мОм}; \end{aligned}$$

					ЕТ та ЕЕ 4815.035.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

$$I_{\text{ном}}^{(1)} = \frac{\sqrt{3} \cdot 1000}{\sqrt{(12,95 + 12,81)^2 + (28,79 + 28,76)^2}} = 11 \text{ кА.} \quad (95)$$

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

де $I_{\text{к.з.мін}}^{(1)}$ - 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:

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

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

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

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

Перевіримо автомати по граничному струму відключення: $I_{\text{пред.откл}} \geq I_{\text{к.з.мах}}^{(3)}$

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.

					ЕТ та ЕЕ 4815.035.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

2.9 Перевірка показників якості електроенергії (відхилення напруги) на шинах цехової трансформаторної підстанції

Електрична енергія, призначена для живлення електроприймачів, повинна мати показники якості, встановлені ДСТУ 13109-87, що забезпечують надійність та економічність їхньої роботи. ПУЕ вимагає, щоб усю мережу від цехової підстанції до електроприймачів перевіряли на допустимі відхилення напруги з огляду на режим напруги на шинах центру живлення, а в разі перевищення меж передбачали в мережах відповідні технічні заходи для її регулювання. Відхиленням напруги називають різницю між фактичним значенням U_{ϕ} та номінальним $U_{\text{ном}}$ за умови повільної зміни напруги, коли швидкість зміни не перевищує 1 % за секунду:

$$U = \frac{U_{\phi} - U_{\text{ном}}}{U_{\text{ном}}} \cdot 100\% \quad (97)$$

Нормально допустиме відхилення напруги в мережі низької напруги становить $\pm 5\%$, а максимально допустиме в мережах низької та високої напруги (до 20 кВ) $-\pm 10\%$. Збитки, спричинені відхиленням напруги, складаються з двох частин: електромагнітної, пов'язаної з додатковими втратами електроенергії в елементах мережі, та технологічної, зумовленої зниженням продуктивності устаткування й праці. Найбільш чутливими до коливань напруги є освітлювальні установки та конденсаторні батареї: при зменшенні напруги на 5 % світловий потік ламп розжарювання падає на 20 %, а підвищення напруги на 10 % скорочує їхній термін служби в чотири рази. Відхилення напруги на вторинній стороні трансформатора визначається з урахуванням зазначених норм:

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

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;

					ЕТ та ЕЕ 4815.035.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

U_{01} – відхилення напруги регульовального відгалуження;

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

ΔU_T – втрати напруги в трансформаторі:

$$\Delta U_T = \beta \cdot (R_T \cdot \cos \varphi + X_T \cdot \sin \varphi) = \frac{S_p}{S_{нтр}} \cdot \left(\frac{\Delta P_{кз}}{S_{нтр}} \cdot \cos \varphi + U_{кз} \cdot \sin \varphi \right) \quad (98)$$

$$\text{або } \Delta U_T = \frac{Q_p}{\sin \varphi} \cdot U_{кз}, \quad (99)$$

де $\Delta P_{кз}$ та $U_{кз}$ – паспортні дані трансформатора, відповідно втрати короткого замикання, кВт, і напруга короткого замикання, %. У застосування до цих умов маємо: $S_{нтр} = 630$ кВА; $U_{кз} = 5,5\%$; $\Delta P_{кз} = 7,6$ кВт.

Навантаження трансформатора розраховується по формулі:

$$S_p = \frac{\sqrt{P_p^2 + Q_{нск}^2}}{N_{min}} \quad (100)$$

$$S_p = \frac{\sqrt{1562,5^2 + 474,2^2}}{3} = 544,3 \text{ кВА}. \quad (101)$$

Коефіцієнт активної потужності визначаю, виходячи зі значення коефіцієнта реактивної потужності

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{Q_{нск}}{P_{p\Sigma}} \quad (102)$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{474,2}{1725,5} = 0,27. \quad (103)$$

Отже $\cos \varphi = 0,96$, $\sin \varphi = 0,27$. 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:

$$\Delta U_m = \frac{544,3}{630} \cdot \left(\frac{7,6}{630} \cdot 0,96 + 0,055 \cdot 0,27 \right) = 0,023 = 2,3\% \quad (104)$$

Визначаємо відхилення напруги на стороні НН трансформатора з

					ЕТ та ЕЕ 4815.035.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

урахуванням заданих відхилень при включенні його відгалуженням +2,5%.

$U_{11} = 5 + 5 - 0 - 2,5 - 2,3 = 2,7 \%$. Отримане значення не перевищує допустимі межі відхилення напруги.

2.10. Проектування однолінійної схеми електропостачання вузла навантаження

За результатами аналізу технологічного процесу проєктований вузол навантаження віднесено до споживачів другої категорії за ступенем безперебійності електропостачання, що й зумовило ключові технічні рішення під час побудови системи електропостачання. Так, для електроприймачів напругою 0,4 кВ було передбачено два незалежні джерела живлення, впроваджено глибоке резервування на всіх рівнях трансформації, а від обов'язкового застосування системної автоматики (АВР) на секційних вимикачах вирішено відмовитися, оскільки для цієї категорії припустимою є короткочасна перерва живлення на час оперативного перемикання. Щоб зменшити перетікання реактивної потужності у внутрішньозаводських розподільчих мережах, було розраховано необхідну потужність конденсаторних батарей із розташуванням їх якомога ближче до споживачів – це дало змогу розвантажити трансформатори та підвищити енергетичну ефективність системи. Споживачі напругою 0,4 кВ розміщені на площі цеху рівномірно, тож їхнє живлення організовано через розподільні шинопроводи, що забезпечило гнучку конфігурацію мережі й уможливило застосування індустріальних методів монтажу. Використання вітчизняної комутаційної, захисної та вимірювальної апаратури дало можливість зберегти потрібний рівень надійності за умови оптимізації капітальних витрат на будівництво та монтаж. Загалом структура живлення цеху охоплює дві магістральні лінії та шість радіальних відгалужень, що в сукупності забезпечує ефективне й надійне постачання електроенергії відповідно до особливостей споживання.

					ЕТ та ЕЕ 4815.035.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

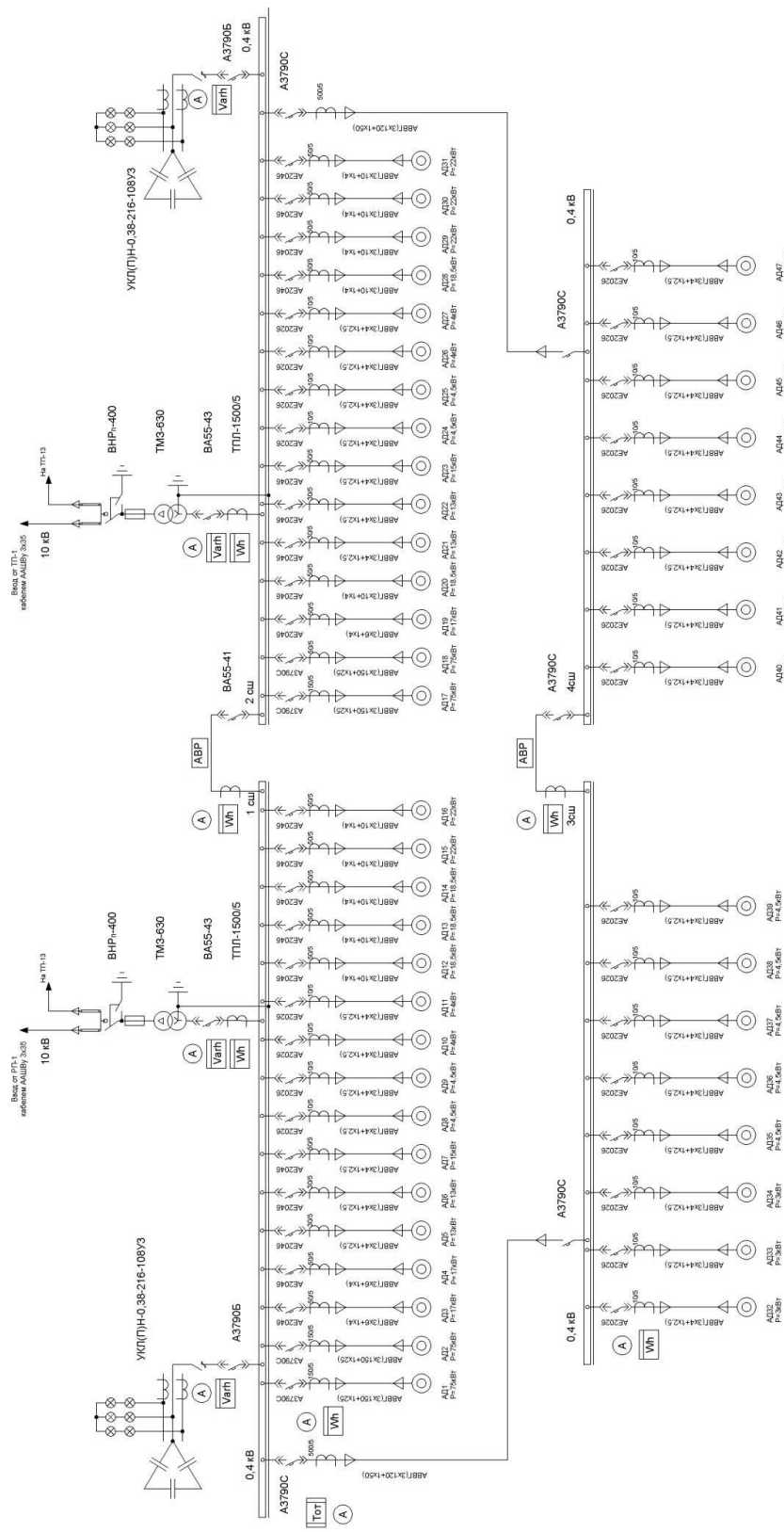


Рис. 2.8. Схема електропостачання цеху

Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата

ЕТ та ЕЕ 4815.035.000 ПЗ

Лист

3. ОХОРОНА ПРАЦІ

Охорона праці під час проєктування та експлуатації системи електропостачання прокатного цеху базується на вимогах Закону України «Про охорону праці», галузевих нормативних актів (НПАОП 40.1-1.21-98, НПАОП 27.0-1.01-08, ПУЕ-2017), державних санітарних норм (ДСН 3.3.6.042-99, ДСН 3.3.5.039-99) та стандартів безпеки праці. Прийняті технічні рішення забезпечують дотримання встановлених нормативів безпеки на всіх етапах життєвого циклу об'єкта.

Виробничий цех прокатного виробництва характеризується наявністю низки небезпечних та шкідливих факторів. До групи фізичних факторів належать підвищена напруга в електричних мережах (до 10 кВ на вводі та 0,4 кВ у розподільчих колах), рухомі частини виробничого устаткування (приводи рольгангів, гойдалкових столів, кранів, елеваторів), підвищений рівень шуму та вібрації, недостатня освітленість робочих зон, а також небезпечний рівень теплового випромінювання від технологічного обладнання. Хімічні фактори зумовлені агресивним середовищем цеху: запиленістю повітря, можливою наявністю парів мастил та продуктів зварювальних аерозолів (від машин шовного зварювання). Психофізіологічні фактори пов'язані з нервово-психічним навантаженням оперативного персоналу під час керування безперервним технологічним процесом та ліквідації аварійних ситуацій.

Особливу увагу приділено заходам електробезпеки, оскільки проєктом передбачено потужне електрообладнання. Згідно з ПУЕ-2017, усі електроприймачі напругою до 1 кВ, залежно від умов, підключаються за системою заземлення TN-S або TN-C-S із глухозаземленою нейтраллю. Корпуси трансформаторної підстанції, розподільчих шаф, шинопроводів, електродвигунів та іншого обладнання підлягають обов'язковому захисному заземленню (зануленню) із забезпеченням опору розтікання не вище 4 Ом. Використані трансформатори з групою з'єднання обмоток Δ/Y_0-11 сприяють зниженню опору

					ЕТ та ЕЕ 4815.035.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

нульової послідовності, що підвищує чутливість релейного захисту до однофазних коротких замикань і дозволяє швидше вимикати аварійну ділянку, зменшуючи ризик ураження електричним струмом. Усі струмопровідні частини захищені від випадкового дотику; в місцях проходження людей кабелі прокладено в лотках або металевих рукавах. Передбачено автоматичні вимикачі серії ВА 88-35 з електромагнітними та тепловими розчеплювачами, які забезпечують селективний захист від перевантажень і коротких замикань. Уставки спрацьовування обрано з урахуванням пускових струмів двигунів та поправкових коефіцієнтів, що гарантує надійне вимкнення аварійного струму і водночас запобігає хибним спрацьовуванням. Крім того, для електроприймачів першої категорії реалізовано глибоке резервування за допомогою резервних перемичок низької напруги та застосовано схему БТМ (блок трансформатор – магістраль), що дозволяє швидко відновлювати живлення після виходу з ладу одного з трансформаторів.

Важливим складником охорони праці є пожежна безпека. Прокатний цех за вибухопожежною та пожежною небезпекою належить до категорії В. Трансформаторна підстанція прибудованого типу виконана з негорючих матеріалів. Встановлено сухі або герметизовані масляні трансформатори (типу ТМЗ, ТНЗ, ТСЗ) із азотною подушкою, що значно знижує пожежний ризик порівняно з відкритими масляними апаратами. Кабельні лінії прийнято з ізоляцією, що не поширює горіння. У приміщенні цеху передбачено первинні засоби пожежогасіння (порошкові вогнегасники, пожежні крани), автоматичну систему пожежної сигналізації та, відповідно до вимог ДБН, евакуаційні шляхи з аварійним освітленням. Електрощитові та місця розташування КТП обладнуються пожежними сповісниками та автоматичними установками порошкового пожежогасіння.

Мікроклімат робочої зони підтримується в межах допустимих норм за допомогою загальнообмінної вентиляції та місцевих відсмоктувачів, що видаляють надлишкове тепло, пилю та шкідливі аерозолі від зварювальних машин.

					ЕТ та ЕЕ 4815.035.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Рівень шуму від рольгангів, вентиляторів і компресорів знижується шляхом застосування шумопоглинаючих кожухів, віброізолюючих опор та раціонального розміщення обладнання. Освітлення цеху запроєктовано виходячи з питомої щільності 20 Вт/м², що забезпечує нормовану освітленість не менше 300 лк на робочих поверхнях, згідно з ДБН В.2.5-28-2018. Аварійне освітлення живиться від незалежного джерела, що гарантує безпечну евакуацію персоналу в разі зникнення основного живлення.

Організаційні заходи передбачають допуск до роботи в електроустановках лише атестованого персоналу з відповідною групою з електробезпеки (не нижче III для напруги до 1 кВ та IV – для робіт у колах 6–10 кВ). Експлуатація та ремонт електрообладнання виконуються за нарядами-допусками з дотриманням технічних заходів: вимкнення комутаційних апаратів, вивішування заборонних плакатів, перевірка відсутності напруги, накладання переносних заземлень. Персонал забезпечується засобами індивідуального захисту: діелектричними рукавичками, килимками, інструментом з ізольованими ручками, а також спецодягом і спецвзуттям, стійким до механічних та хімічних впливів.

Таким чином, запроєктована система електропостачання цеху прокатного виробництва відповідає вимогам чинних нормативно-правових актів з охорони праці, забезпечує безпечні умови праці персоналу, знижує ризики виникнення аварій та професійних захворювань, а також сприяє надійному функціонуванню технологічного обладнання.

					ЕТ та ЕЕ 4815.035.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

ВИСНОВОК

У ході виконання дипломного проєкту було впроваджено низку раціональних технічних рішень, спрямованих на забезпечення надійності, енергоефективності та технологічної гнучкості системи електропостачання цеху. Зокрема, застосовано магістральну схему живлення цехових трансформаторних підстанцій, яка відповідає характеру просторового розміщення електроприймачів і сприяє впровадженню індустріальних методів монтажу. Для підвищення надійності живлення в разі вимкнення одного з трансформаторів передбачено резервні перемички в мережах напругою до 1 кВ. Окрім того, безпосередньо в зоні споживачів 0,4–1 кВ використано пристрої компенсації реактивної потужності (конденсаторні батареї), що дало змогу зменшити перетікання реактивної енергії та відповідно знизити встановлену потужність трансформаторів. З метою підвищення надійності низьковольтних мереж у схемі електропостачання застосовано трансформатори з групою з'єднання обмоток Δ/Y_0-11 , завдяки чому було досягнуто необхідної чутливості захистів.

					ЕТ та ЕЕ 4815.035.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

ЛІТЕРАТУРА

1. Діючі галузеві нормативні документи у галузі будівництва для використання на об'єктах електроенергетичної галузі. Показчик. Режим доступу: https://ua.energy/uchasnikam_rinku/dokumenty
2. СОУ-Н ЕЕ 20.178-2008 «Схеми принципові електричні розподільних установок напругою від 6 кВ до 750 кВ електричних підстанцій. Настанова». Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=66629
3. Правила улаштування електроустановок. – Видання офіційне. Міненерговугілля України. – Х. : Видавництво «Форт», 2017. – 760 с.
4. Бардик, Є.І. Електрична частина станцій та підстанцій. Основне електрообладнання / Є.І. Бардик, М.П. Лукаш / К.: «Політехніка» НТУУ «КПІ» 2012 – 250 с.
5. Костишин, В.С. Електрична частина станцій та підстанцій : навч. посіб. /В.С. Костишин, М.Й. Федорів, Я.В. Бацала. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2017. – 243 с.
6. ДСТУ 3008:2015 Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання. [Чинний від 2015-06-22]. Вид. офіц. Київ, 2015. 31 с. (Інформація та документація).
7. ДСТУ 8302:2015 Бібліографічне посилання. Загальні вимоги та правила складання. [Чинний від 2016-07-01]. Вид. офіц. Київ, 2016. 20 с. (Інформація та документація).
8. ДСТУ 3582:2013 Бібліографічний опис. Скорочення слів і словосполучень українською мовою. Загальні вимоги та правила. [Чинний від 2013-08-22]. Вид. офіц. Київ, 2014. 17 с. (Інформація та документація).
9. ДСТУ 3321:2003. Система конструкторської документації. Терміни та визначення основних понять. [Чинний від 2003-12-08]. Вид. офіц. Київ, 2005. 55с.

					ЕТ та ЕЕ 4815.035.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		