

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 хімічної 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 _____ Євген ОХРИМЧУК
(підпис) (ім'я, прізвище)

Науковий керівник _____ Павло БУДАНОВ
(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))

ОХРИМЧУК Євген 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 хімічної промисловості

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 _____ Євген ОХРИМЧУК
(підпис) (ім'я, прізвище)

Керівник роботи _____ Павло БУДАНОВ
(підпис) (ім'я, прізвище)

РЕФЕРАТ

У дипломній роботі розглянуто питання проєктування системи внутрішньоцехового електропостачання навантажувального вузла цеху хімічного виробництва. Об'єкт дослідження – процес проєктування, розрахунку та оптимізації системи електропостачання промислового цеху з безперервним технологічним циклом.

Предмет дослідження – електричні навантаження, засоби компенсації реактивної потужності, силове електрообладнання, комутаційно-захисні апарати та струмоведучі частини мережі 0,4 кВ цеху хімічного виробництва.

У процесі виконання роботи проведено аналіз технологічного процесу цеху, на основі якого споживачів віднесено до I категорії за надійністю електропостачання. Розрахунок електричних навантажень виконано методом упорядкованих діаграм. Визначено потужність компенсувальних установок у мережі до 1 кВ за умовами мінімізації втрат, обрано кількість та потужність цехових трансформаторів (2×1600 кВА). Обґрунтовано магістральну схему живлення з резервними перемичками та застосуванням блоків «трансформатор–магістраль». Проведено вибір автоматичних вимикачів, перерізів кабелів і шинопроводів з перевіркою за умовами нагріву, захисту та втрати напруги. Розраховано струми трифазного й однофазного короткого замикання в мережі 0,4 кВ, перевірено чутливість захисних апаратів та їхню вимикаючу здатність. Виконано оцінку відхилення напруги на шинах цехової підстанції, яка підтвердила відповідність нормативним вимогам. Розроблено заходи з охорони праці, електробезпеки та пожежної безпеки. Прийняті технічні рішення забезпечують надійне, економічно обґрунтоване та безпечне електропостачання цеху.

Ключові слова: електропостачання, хімічне виробництво, електричні навантаження, компенсація реактивної потужності, цехова трансформаторна підстанція, автоматичний вимикач, струми короткого замикання, якість електроенергії, електробезпека.

ABSTRACT

The thesis considers the issue of designing an intra-shop power supply system for a loading unit of a chemical production shop. The object of the study is the process of designing, calculating and optimizing an industrial shop power supply system with a continuous technological cycle.

The subject of the study is electrical loads, reactive power compensation devices, power electrical equipment, switching and protective devices and live parts of the 0.4 kV network of a chemical production shop.

In the process of performing the work, an analysis of the technological process of the shop was carried out, on the basis of which consumers were assigned to the 1st category in terms of reliability of power supply. The calculation of electrical loads was performed using the method of ordered diagrams. The power of compensating installations in the network up to 1 kV was determined under the conditions of minimizing losses, the number and power of shop transformers (2×1600 kVA) were selected. The main power supply scheme with backup jumpers and the use of “transformer-main” blocks was substantiated. The selection of circuit breakers, cable cross-sections and busbars was carried out with a check for heating, protection and voltage loss conditions. The three-phase and single-phase short-circuit currents in the 0.4 kV network were calculated, the sensitivity of protective devices and their switching capacity were checked. The voltage deviation on the busbars of the workshop substation was assessed, which confirmed compliance with regulatory requirements. Measures for labor protection, electrical safety and fire safety were developed. The adopted technical solutions ensure reliable, economically justified and safe power supply to the workshop.

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

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.....

 2.3 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.....

					<i>ЕТ та ЕЕ 4815.320.000 ПЗ</i>							
					<i>Проектування СЕП вузла навантаження цеху хімічної промисловості</i>	<i>Лім.</i>			<i>Маса</i>		<i>Масштаб</i>	
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>					1		1 : 1	
<i>Розроб.</i>		<i>Охрімчук</i>										
<i>Перевір.</i>		<i>Буданов</i>										
<i>Т. Контр.</i>						<i>Арк. 3</i>			<i>Аркушів</i>			
<i>Реценз.</i>					<i>Пояснювальна записка</i>	<i>гр. ДЕА-Е22+Е23приск</i>						
<i>Н. Контр.</i>												
<i>Затверд.</i>		<i>Чернюк</i>										

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 4815.320.000 ПЗ	Лист
Вим.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

ВСТУП

Метою даного дипломного проєкту є здобуття практичних навичок самостійного вирішення комплексних інженерних завдань у галузі внутрішньоцехового електропостачання із застосуванням сучасних енергозберігаючих технологій. Ключовим аспектом роботи є опанування методів проєктування систем електропостачання промислових об'єктів, що базуються на загальноприйнятих принципах функціонування сучасних енергосистем.

Виконання проєкту передбачає формування вміння працювати з довідковою літературою, нормативно-правовими актами, директивними матеріалами та типовими проєктними рішеннями. В сучасних економічних умовах особливо гостро постає питання підвищення енергоефективності. Через невідповідність фактичних навантажень проєктом на багатьох підприємствах виникають простой, неефективне використання ресурсів та збитки, що робить впровадження раціонального електрообладнання стратегічним завданням.

Актуальність теми зумовлена потребою вдосконалення систем електропостачання з огляду на мінімізацію втрат, забезпечення належної якості, надійності та економічної ефективності. Для досягнення цих цілей застосовується комплексний підхід до проєктування.

Отже, головним завданням роботи є розробка внутрішньоцехової електричної мережі, орієнтованої на раціональне використання обладнання, зниження втрат під час трансформації та розподілу енергії, мінімізацію перебоїв у живленні споживачів, а також підвищення загальної надійності та ефективності енергопостачання.

					ET та EE 4815.320.000 ПЗ	Лист
Вим.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ПРОЕКТОВАНОГО ОБ'ЄКТА

Метою аналізу технологічного процесу є визначення рівня матеріальних збитків від перерв електропостачання. Це дозволяє обґрунтовано встановити категорію надійності споживачів цеху, обрати необхідну кількість джерел живлення, структуру мереж та потребу в автоматизації.

Розглянутий цех хімічного виробництва відноситься до основного виробництва зі складним безперервним циклом. Зупинка процесу загрожує значними економічними втратами, браком продукції, пошкодженням обладнання та ризиками для безпеки персоналу, що згідно з ПУЕ відповідає I категорії надійності електроприймачів.

Проектування СЕП виконується з урахуванням агресивності середовища, яке впливає на вибір обладнання, трасування мереж та розміщення підстанції.

У цеху на напрузі 0,4 кВ функціонують різноманітні споживачі: технологічні механізми (рольганги, конвеєри, елеватори), підйомно-транспортне обладнання (крани, тельфери), вентилятори, насоси, компресори та зварювальні апарати. Загальна потужність обладнання площею 8700 м² із заданою щільністю освітлення 20 Вт/м², а також коефіцієнти, що характеризують їхнє реальне завантаження (використання та потужності), зведені в таблицю 2.1. Схема розташування обладнання наведена на рис.1.1.

					ET та EE 4815.320.000 ПЗ	Лист
Вим.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

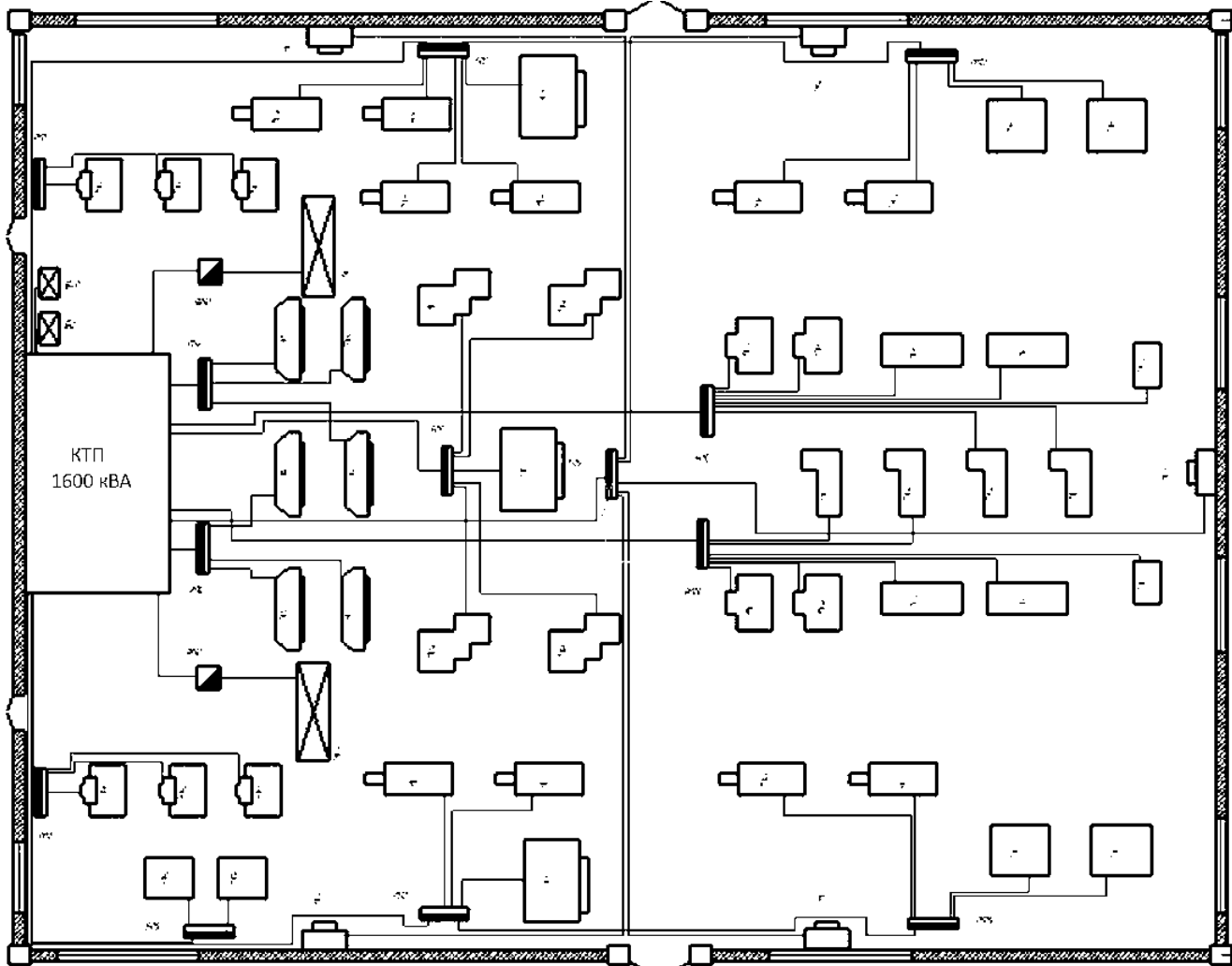


Рис. 1.1. Ситуаційний план цеху хімічної промисловості

					ЕТ та ЕЕ 4815.320.000 ПЗ	Лист
Вим.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

2. ЕЛЕКТРИЧНІ РОЗРАХУНКИ

2.1. Розрахунок електричних навантажень від силових і освітлювальних електроприймачів

Визначення розрахункових електричних навантажень виконано згідно з чинними в Україні нормативними документами. За основу взято метод упорядкованих діаграм (коефіцієнта максимуму), детально викладений у фаховій літературі, зокрема у навчальних посібниках таких українських видавництв, як «НУ «Львівська політехніка», «КПІ ім. Ігоря Сікорського» (видавництво «Політехніка») або «Форт» (Харків), де висвітлено сучасні підходи до проектування систем електропостачання промислових підприємств.

При виконанні розрахунків враховано положення ДБН В.2.5-23:2010 «Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення» та ДСТУ EN, які адаптують європейські вимоги до українських реалій. Відповідно до класичної методики, розрахункове активне навантаження для всіх рівнів мережі визначається за формулою (1) через середнє навантаження та коефіцієнт розрахункового навантаження:

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

Розрахунковий коефіцієнт навантаження κ_p , визначаємо за таблицею П.5. методичних вказівок до виконання дипломного проекту бакалавра, як функцію n_e та $\kappa_{u \text{ гр.взв}}$ (ефективного числа ЕП та групового коефіцієнта використання)

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

Нижче наведено розрахунок навантажень для однієї характерної групи електроприймачів. Розрахунки решти характерних груп виконано за аналогічною методикою, а їх результати зведено в таблицю 2.1.

Визначення величини очікуваних електричних навантажень здійснюється відповідно до вимог чинних в Україні нормативних документів. За основу взято метод упорядкованих діаграм (коефіцієнта максимуму), який є базовим при проектуванні систем електропостачання згідно з рекомендаціями ДСТУ Б А.2.2-12:2015 «Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому

					ET та EE 4815.320.000 ПЗ	Лист
Вим.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

водопостачанні» та нормативних документів у галузі проектування електроустановок (ДСТУ 4218, ДСТУ EN, ПУЕ).

Для двигунів, що працюють у повторно-короткочасному режимі (ПКР), приведення їхньої паспортної потужності до тривалого режиму (ПВ = 100%) виконано згідно з типовими методиками, наведеними у фаховій літературі, за виразами (3)-(4).

$$P_{H_i} = P_{нас_i} \sqrt{ПВ_i}, \text{ кВт} \quad (3)$$

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

Дані сумуються:

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

де m – число характерних груп ЕП.

Для кожної характерної групи ЕП визначається середньозміне навантаження за найбільш завантажену зміну за виразами (6)-(7):

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

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

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

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

Розрахунки за характерними групам заносимо у відповідні графи табл. 2.1.

Визначаємо сумарні значення середньозмінного навантаження за найбільш завантажену зміну по цеху (8)-(9):

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

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

Визначаємо середньозважений (груповий) коефіцієнт використання:

					ЕТ та ЕЕ 4815.320.000 ПЗ	Лист
Вим.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

$$K_{в.зр.} = \frac{\sum_{i=1}^m P_{смi}}{\sum_{i=1}^m P_{нi}} \quad (10)$$

Визначення ефективного числа ЕП

Абсолютний максимум групового графіка навантаження, який є визначальною величиною для вибору параметрів елементів системи електропостачання за умовою нагріву, формується під дією випадкових факторів: кількості електроприймачів у розрахунковому вузлі, їхніх номінальних потужностей, режимів роботи та інших стохастичних величин.

Щоб спростити методику обчислення розрахункового максимуму, використовують поняття ефективної кількості електроприймачів n_{ef} . Ефективною кількістю називають таку чисельність однакових за встановленою потужністю та однакових за режимом роботи електроприймачів, яка створює той самий розрахунковий максимум навантаження, що й фактична кількість електроприймачів n_d , неоднорідних за потужністю та режимами.

Ефективну кількість електроприймачів для всього вузла навантаження (а не для кожної характерної групи окремо) визначають за виразом (11):

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

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

Визначення коефіцієнта розрахункового навантаження K_R

Коефіцієнт розрахункового навантаження K_R визначають за таблицею [П.4.2] залежно від середньозваженого (групового) значення коефіцієнта використання $K_{в.зр.}$ та ефективної кількості електроприймачів n_{ef} .

Під активним розрахунковим максимальним навантаженням розуміють таке умовно постійне навантаження (незмінне за величиною та в часі), яке за

									Лист
Вим.	Лист	№ документа	Підпис	Дата					

ET та EE 4815.320.000 ПЗ

найважчим тепловим впливом на елемент системи електропостачання еквівалентне реальному змінному навантаженню.

Активне розрахункове навантаження для групи електроприймачів напругою до 1 кВ обчислюють за виразом (12):

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

Враховуючи особливість споживання електроприймачами реактивної потужності, що мало залежить від навантаження електроприймачів активною потужністю, приймаємо: $Q_p = \sum_{i=1}^m Q_{cmi}$, квар.

Повне розрахункове навантаження, формоване силовими ЕП визначається за виразом (13):

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

Значення струмового розрахункового навантаження, за яким вибирають перетин СВЧ за умовою нагріву, а також параметри апаратів, визначається за виразом (14):

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

де U_n – номінальна напруга в даній ділянці мережі, кВ

Розрахунок електричних навантажень від освітлювальних електроприймачів.

Розрахункові навантаження освітлювальних електроприймачів визначасмо за встановленою потужністю освітлювальних електроустановок та коефіцієнтом попиту для них:

$$P_{p.o.} = P_{н.о.} \cdot K_{c.o.} \cdot K_{пра}, \text{ кВт} \quad (15)$$

$$Q_{p.o.} = P_{p.o.} \cdot \text{tg} \varphi, \text{ квар} \quad (16)$$

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;

									Лист
Вим.	Лист	№ документа	Підпис	Дата					

ET та EE 4815.320.000 ПЗ

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

Встановлена потужність електричного освітлення:

$$P_{н.о.} = P_{шт.о.} \cdot F \cdot 10^{-3} \text{ кВт} \quad (17)$$

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

Отримані результати розрахунку зводимо до таблиці 2.1.

1. На основі вихідних даних (табл. П.2 [2]) електроприймачі цеху поділяють на характерні групи з однаковим коефіцієнтом використання та однаковим коефіцієнтом активної потужності $\cos\phi$.

2. Паспортні дані окремих груп електроприймачів, що входять до складу ПКР (зварювальні машини шовного зварювання та підйомно-транспортне обладнання), приводимо до номінальної потужності в кВт за виразами (18)–(19).

$$P_n = 300 \cdot \sqrt{0,25} = 150, \text{ кВт} \quad (18)$$

$$P_n = 630 \cdot \sqrt{0,4} = 398,4, \text{ кВт} \quad (19)$$

та заносимо ці значення у відповідну колонку табл.2.1.

3. Підсумовуємо встановлені потужності вузла:

$$P_{н\sum} = 1000 + 1650 + 1100 + 2200 + 150 + 398,45 + 490 + 650 = 7638,45, \text{ кВт}$$

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

$$P_{см1} = P_{н1} \cdot K_{н1} = 1000 \cdot 0,22 = 220, \text{ кВт} \quad (20)$$

$$Q_{см1} = P_{см1} \cdot \text{tg}\phi_1 = 220 \cdot 1,33 = 292,6, \text{ квар} \quad (21)$$

де $\text{tg}\phi_1$ - відповідає середньому значенню для характерної групи ЕП. По інших групах розрахунки аналогічні, робимо їх і результати записуємо в таблицю 2.1.

5. Підсумовуємо середньозмінні навантаження по вузлу:

$$P_{см\sum} = 220 + 363 + 715 + 1430 + 27 + 71,72 + 147 + 390 = 3363,72, \text{ кВт}$$

$$Q_{см\sum} = 292,6 + 482,8 + 536,25 + 1072,5 + 53,5 + 141,9 + 393,9 + 397,88 = 3371,3, \text{ квар}$$

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

					<i>ET та EE 4815.320.000 ПЗ</i>	Лист
Вим.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

$$K_{\text{в.зр.}} = \frac{\sum_{i=1}^m P_{\text{см}i}}{\sum_{i=1}^m P_{\text{н}i}} = \frac{3363,7}{7638,4} = 0,44 \quad (22)$$

7. Визначаємо ефективне число ЕП:

$$n_{\text{еф}} = \frac{\left[\sum_{i=1}^m P_{\text{н}i} \right]^2}{\sum_1^n P_{\text{ном}}^2} = \frac{2 \cdot 7638,4}{300} = 50,9, \quad (23)$$

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

9. Визначаємо розрахунковий максимум активного навантаження по вузлу:

$$P_p = \kappa_p \cdot \sum_{i=1}^m P_{\text{см}i} = 0,7 \cdot 3363,7 = 2354,6, \text{ кВт} \quad (24)$$

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

$$Q_p = \sum_{i=1}^m Q_{\text{см}i} = 3371,3, \text{ квар} \quad (25)$$

11. Повне розрахункове силове навантаження по вузлу дорівнює:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{2356,4^2 + 3371,3^2} = 4113,2, \text{ кВА} \quad (26)$$

12. Визначення встановленої потужності освітлювальних ЕП:

$$P_{\text{н.о.}} = P_{\text{уд.о.}} \cdot F \cdot 10^{-3} = 20 \cdot 1000 \cdot 10^{-3} = 20 \text{ кВт} \quad (27)$$

13. Визначення розрахункового навантаження від освітлювальних ЕП

$$P_{\text{р.о.}} = P_{\text{н.о.}} \cdot K_{\text{с.о.}} \cdot K_{\text{пра}} = 20 \cdot 0,95 \cdot 1,1 = 20,9, \text{ кВт} \quad (28)$$

$$Q_{\text{р.о.}} = P_{\text{р.о.}} \cdot \text{tg} \varphi = 20,9 \cdot 0,33 = 6,9, \text{ квар} \quad (29)$$

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

					ЕТ та ЕЕ 4815.320.000 ПЗ	Лист
Вим.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Таблиця 2.1

Розрахунок навантажень цеху

№п/п	Найменування характерних груп ЕП	Кількі сть, п шт	Паспортні дані ЕП в кВт		Номін альна потуж ність характ ерних груп ЕП Рном, кВт	Коефіц ієнт вик. Ки	cos φ	tg φ	Середньозмінне навантаження за найбільш завантажену зміну		Ефективне число ЕП, пс	Коефіцієнт розрахункового навантаження Кр	Розрахунковий максимум навантаження			Розраху нковий струм, Ір, А
			Одного ЕП Рн мін/Рн мах, кВт	Загаль на Рпасп, кВт					Рсм, кВт	Qсм, квар			Рр, кВт	Qр, квар	Sp, кВА	
1	Центрифуги	320	5 80	1000	1000,0 0	0,22	0,6	1,33	220,00	293,33						
2	Мішалки, змішувачі	90	10 120	1650	1650,0 0	0,22	0,6	1,33	363,00	484,00						
3	Вентилятори	65	1 50	1100	1100,0 0	0,65	0,8	0,75	715,00	536,25						
4	Насоси, компресори	40	10 300	2200	2200,0 0	0,65	0,8	0,75	1430,00	1072,50						
5	Крани, тельфери ПВ = 25%	25	5 30	300	150,00	0,18	0,45	1,98	27,00	53,58						
6	Крани, тельфери ПВ = 40%	175	5 80	630	398,45	0,18	0,45	1,98	71,72	142,33						
7	Зварювальні машини шовного зварювання , кВА	40	10 50	1400	490,00	0,3	0,35	2,68	147,00	393,43						
8	Елеватори, конвеєри зблоковані	20	3 50	650	650,00	0,6	0,7	1,02	390,00	397,88						
9	Разом силові ЕП	775			7638, 45	0,44			3363,7 2	3373,31	50,90	0,72	2354,60	3371,30	4113,20	
10	Освітлювальні ЕП (площа цеху), м2	8700			20,00	0,95	0,95	0,33					176,20	55,20		
11	Всього по цеху												2530,8 0	3426,5 0	4259,8 0	6479,80

ЕТ ма ЕЕ 4815.320.000 ПЗ

Лист

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

Сумарну розрахункову потужність компенсаційних конденсаторних установок (ККУ) напругою до 1 кВ знаходять за умовою мінімуму приведених витрат у два послідовні етапи:

- На першому етапі обирають економічно оптимальну кількість трансформаторів цехових трансформаторних підстанцій (ТП) – тобто визначають потужність ККУ-0,38 кВ $Q_{нк1}$, яка забезпечує цю оптимальну кількість цехових трансформаторів (у квар).

- На другому етапі розраховують додаткову потужність ККУ – 0,38 кВ $Q_{нк2}$ (у квар), що дозволяє оптимально зменшити втрати в трансформаторах цехових ТП та в живильних мережах напругою понад 1 кВ, спричинені перетіканнями реактивної потужності через ці підстанції.

Сумарна реактивна потужність ККУ-0,38 кВ дорівнює:

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

де $Q_{нк1}$ та $Q_{нк2}$ – сумарні потужності ККУ - 0,38 кВ, що визначаються на двох зазначених етапах розрахунку.

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

					ЕТ та ЕЕ 4815.320.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

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

Кількість і потужність цехових трансформаторів вибирають одночасно з вибором засобів компенсації реактивної потужності на основі техніко-економічних розрахунків. При цьому враховують питому щільність навантаження, активне розрахункове навантаження та інші чинники, обумовлені технічними умовами.

Потужність цехових трансформаторів визначають за питомою щільністю навантаження цеху:

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

та повного розрахункового навантаження вузла, кВА. При питомій щільності більше 0,2 - 0,3 кВА/м² і сумарним навантаженням більше 3000 - 4000 кВА доцільно приймати цехові трансформатори потужністю 1600 - 2500 кВА. При питомій щільності і сумарним навантаженням нижче зазначених значень приймаються трансформатори потужністю 400 - 1000 кВА. Для трансформаторів цехових підстанцій слід, як правило, приймати такі коефіцієнти завантаження:

- для цехів з переважним навантаженням 1-ї категорії при двох трансформаторних підстанціях – $\beta = 0,65 - 0,7$;
- для цехів з переважним навантаженням 2-ї категорії при двох трансформаторних підстанціях з взаємним резервуванням трансформаторів – $\beta = 0,7 - 0,8$;
- для цехів з переважним навантаженням 2-ї категорії при можливості використання централізованого резерву трансформаторів і для цехів з навантаженням 3-ї категорії – $\beta = 0,9 - 0,95$.

ЕП 1-ї категорії забезпечуються живленням по двом незалежним ДЖ, перерва живлення допускається на час спрацьовування мережевої автоматики (АВР).

					ЕТ та ЕЕ 4815.320.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Особливості живлення електроприймачів та вибору трансформаторів і засобів компенсації реактивної потужності

Споживачі другої категорії з надійності електропостачання мають житися від двох незалежних джерел. При цьому допускається короточасне припинення подавання електроенергії лише на час ручного введення резерву.

Для живлення споживачів першої та другої категорій доцільно застосовувати однострансформаторні цехові підстанції з номінальною напругою 10(6)/0,4 кВ за умови влаштування резервних перемичок на стороні низької напруги, пропускна здатність яких достатня для покриття найвідповідальніших навантажень.

Використання однострансформаторних підстанцій дає змогу наблизити їх до центрів навантажень, що скорочує довжину кабельних ліній, зменшує втрати електроенергії та експлуатаційні витрати. Двотрансформаторні підстанції, натомість, обирають за високої щільності навантаження (кВА/м²) або за значної частки споживачів I категорії.

Електроприймачі напругою до 1 кВ є потужними споживачами реактивної потужності й водночас електрично віддалені від основних джерел (енергосистеми або місцевої ТЕЦ). Це зумовлює збільшені витрати на транспортування реактивної потужності: доводиться збільшувати перерізи провідників, установлену потужність трансформаторів, а також зростають втрати в системі електропостачання.

Зменшити зазначені витрати можна встановленням пристроїв компенсації реактивної потужності (КП) безпосередньо в мережах до 1 кВ. Як джерела реактивної потужності використовують комплектні конденсаторні установки (ККУ) поперечного вмикання. Некомпенсований залишок реактивної потужності покривається перетіканням із шин вищої напруги. Оптимальне співвідношення між обсягами локально генерованої та транзитної реактивної потужності визначають за результатами техніко-економічних розрахунків.

					ET та EE 4815.320.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Порядок визначення кількості цехових трансформаторів полягає в розрахунку мінімально необхідної кількості трансформаторів однакової потужності, здатних покрити активне максимальне розрахункове навантаження. Для цього застосовують вираз (32), наведений у наступному підпункті.

$$N_{т.мін} = \frac{P_{р.с.} + P_{р.о.}}{\beta \cdot S_{н.тр.}} + \Delta N, \text{ шт} \quad (32)$$

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

β – коефіцієнт завантаження трансформаторів;

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

ΔN – добавка до найближчого більшого цілого числа трансформаторів.

Примітка: варіюючи коефіцієнтом завантаження трансформаторів в рекомендованих межах (0,7 - 0,8), слід при обраній номінальній потужності трансформаторів прагнути до мінімально можливої величині ΔN . Це забезпечить максимальне використання встановленої потужності трансформаторів за активній складовій і зниження перетоків реактивної потужності через цехові трансформатори.

Економічно оптимальне число трансформаторів визначається:

$$N_{опт} = N_{т.мін} + m, \text{ шт} \quad (33)$$

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

При визначенні m по кривих [1] приймається допущення:

$$z_{пс}^* = 0,5; \quad z_{пс}^* = \frac{(z_{нк} - z_{вк})}{z_{тп}} \quad (34)$$

де $z_{нк}$, $z_{вк}$, $z_{тп}$ - 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 $z_{пс} = 0,5$.

					ЕТ та ЕЕ 4815.320.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

За обраним економічно оптимальним числом трансформаторів визначають найбільшу реактивну потужність, *квар*, яку доцільно передавати через трансформатори в мережу напругою до 1 кВ:

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

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

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

При цьому вираз не повинний бути негативним. Позитивний вираз забезпечується варіюванням коефіцієнта завантаження цехових трансформаторів так, щоб зменшуване було вище від'ємника.

Потужність НБК, яка припадає на один трансформатор:

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

За цим значенням вибирають стандартні (довідкові) значення комплектних конденсаторних установок $Q'_{НКй.СПР}$ *табл.9.2. [1]*.

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

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

Нескомпенсована реактивна потужність в мережі до 1 кВ становитиме:

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

					ЕТ та ЕЕ 4815.320.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

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:

$$Q_{HK2} = Q_{HECK} - \gamma \cdot N_{TE} \cdot S_{HT}, \text{ квар} \quad (40)$$

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:

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

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:

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

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*;

					ET та EE 4815.320.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

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

Якщо виявиться, що $Q_{НК2} < 0$, то для даної групи трансформаторів реактивна потужність $Q_{НК2}$ приймається рівною нулю.

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

2. Мінімальне число трансформаторів:

$$N_{т.мін} = \frac{P_{р.с.} + P_{р.о.}}{\beta \cdot S_{н.тр.}} + \Delta N = \frac{2530,8}{0,8 \cdot 1600} + 0,03 = 2 \text{ шт.} \quad (43)$$

3. Економічно оптимальне число трансформаторів:

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

За кривими рис.4.7. визначити додаткове число трансформаторів $m = 0$, тоді $N_{опт} = N_{т.мін} = 2$ шт

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

$$Q_m = \sqrt{(\beta \cdot N_{опт} \cdot S_{н.тр})^2 - (P_p + P_{р.о.})^2} = \sqrt{(0,8 \cdot 2 \cdot 1600)^2 - 2530,8^2} = 385,6 \text{ квар} \quad (45)$$

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

$$Q_{нк} = Q_{р\Sigma} - Q_m = 3426,5 - 385,6 = 3040,9 \text{ квар} \quad (46)$$

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

$$Q'_{нк1} = \frac{Q_{нк}}{N_{опт}} = \frac{3040,9}{2} = 1520,5 \text{ квар} \quad (47)$$

по цій величині вибираємо з табл. 9.2. [1] типорозмір 2ККП-0,38-600-150+2ККП-0,38-150-50 в цеху комплектних конденсаторних установок складе:

$$Q''_{НК1.СПР} = N_{опт} \cdot Q'_{НК1.СПР} = 2 \cdot (2 \cdot 600 + 2 \cdot 150) = 3000 \text{ квар} \quad (48)$$

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

$$Q_{неск} = (Q_p + Q_{р.о.}) - Q''_{НК1.СПР} = 3426,5 - 3000 = 426,5 \text{ квар} \quad (49)$$

					ЕТ та ЕЕ 4815.320.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

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

$$Q_{НК2} = Q_{НЕСК} - \gamma \cdot N_{ТЭ} \cdot S_{HT} = 426,5 - 0,44 \cdot 2 \cdot 1600 = -981,5, \text{ квар} \quad (50)$$

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 4815.320.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

2.3. Розміщення цехових трансформаторів на площі цеху

Визначення місця розташування цехових трансформаторних підстанцій здійснюють на підставі комплексного аналізу сукупності чинників: просторового розміщення технологічного устаткування, питомої щільності електричних навантажень (з урахуванням пристроїв компенсації), а також мікрокліматичних особливостей виробничого середовища, пов'язаних із специфікою технологічного процесу.

Накопичений практичний досвід проектування, монтажу й експлуатації трансформаторних підстанцій, а також результати теоретичних досліджень дають змогу сформулювати чіткі рекомендації стосовно оптимального розміщення підстанцій. Найефективнішим визнано застосування комплектних трансформаторних підстанцій (КТП) індустриального виготовлення, які уможливають модульний монтаж незалежно від будівельних конструкцій. Пріоритетним при цьому є максимальне наближення КТП до центрів електричних навантажень, що забезпечує:

- мінімізацію протяжності струмопровідних мереж;
- зменшення втрат електроенергії під час її передавання;
- економію кольорових металів (алюмінію, міді) за рахунок скорочення довжини кабельних ліній.

Розподіл трансформаторної потужності між кількома підстанціями з наближенням їх до споживачів дає змогу реалізувати принципи енергозбереження вже на етапі проектування. Кількість КТП, їхню одиничну потужність та місце розташування визначають, виходячи з:

- розрахункового навантаження цеху;
- вимог до надійності й безперебійності електропостачання (категорій електроприймачів);
- характеристик навколишнього середовища (агресивність, запиленість, вибухо- та пожежонебезпека).

					ET та EE 4815.320.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Залежно від архітектурно-планувальних рішень і умов середовища КТП можуть виконуватися в різних варіантах: внутрішньоцехові (закриті), вбудовані в будівлю, прибудовані до неї або окремо розташовані.

Зважаючи на те, що об'єктом проектування є цех хімічного виробництва з агресивним середовищем та підвищеним рівнем запиленості, в даній роботі ухвалено рішення про встановлення прибудованої комплектної трансформаторної підстанції, яка найповніше відповідає зазначеним експлуатаційним умовам.

2.4. Вибір схеми живлення цехових трансформаторів

Для резервування електропостачання на випадок аварійного виходу з ладу чи планового відімкнення одного з трансформаторів проектом передбачено влаштування резервних перемичок між розподільними пристроями низької напруги сусідніх трансформаторів. Пропускна здатність таких перемичок має становити 20–30 % номінальної потужності трансформатора під час виконання кабельними лініями та до 60 % — у разі застосування шинопроводів.

Зважаючи на високу питому щільність електричних навантажень цеху (4,02 кВА/м²) і наявність електроприймачів I категорії надійності, у проекті ухвалено рішення про встановлення двотрансформаторної комплектної трансформаторної підстанції (КТП). Номінальну потужність трансформаторів обрано з урахуванням допустимих систематичних та аварійних перевантажень згідно з вимогами чинних нормативних документів. Принципову схему живлення силових та освітлювальних електроприймачів цеху від двотрансформаторної КТП подано на рис. 2.1.

У складі цехових трансформаторних підстанцій передбачено використання трифазних трансформаторів напругою 6–10 кВ із природним охолодженням. Як ізоляційне та охолоджувальне середовище можуть застосовуватися мінеральне масло, негорючі рідини (наприклад, рідини типу «совтол» за умови виконання екологічних вимог), а також сучасні сухі трансформатори з повітряним

						Лист
					ET та EE 4815.320.000 ПЗ	
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

охолодженням. Для комплектних підстанцій рекомендовано застосовувати трансформатори закритого (герметичного) виконання типів ТМЗ, ТНЗ, ТСЗ, активна частина яких захищена кожухом з азотною подушкою під надлишковим тиском. Таке конструктивне виконання дає змогу встановлювати підстанції безпосередньо у виробничих приміщеннях навіть за підвищеної вологості, запиленості чи агресивності середовища.

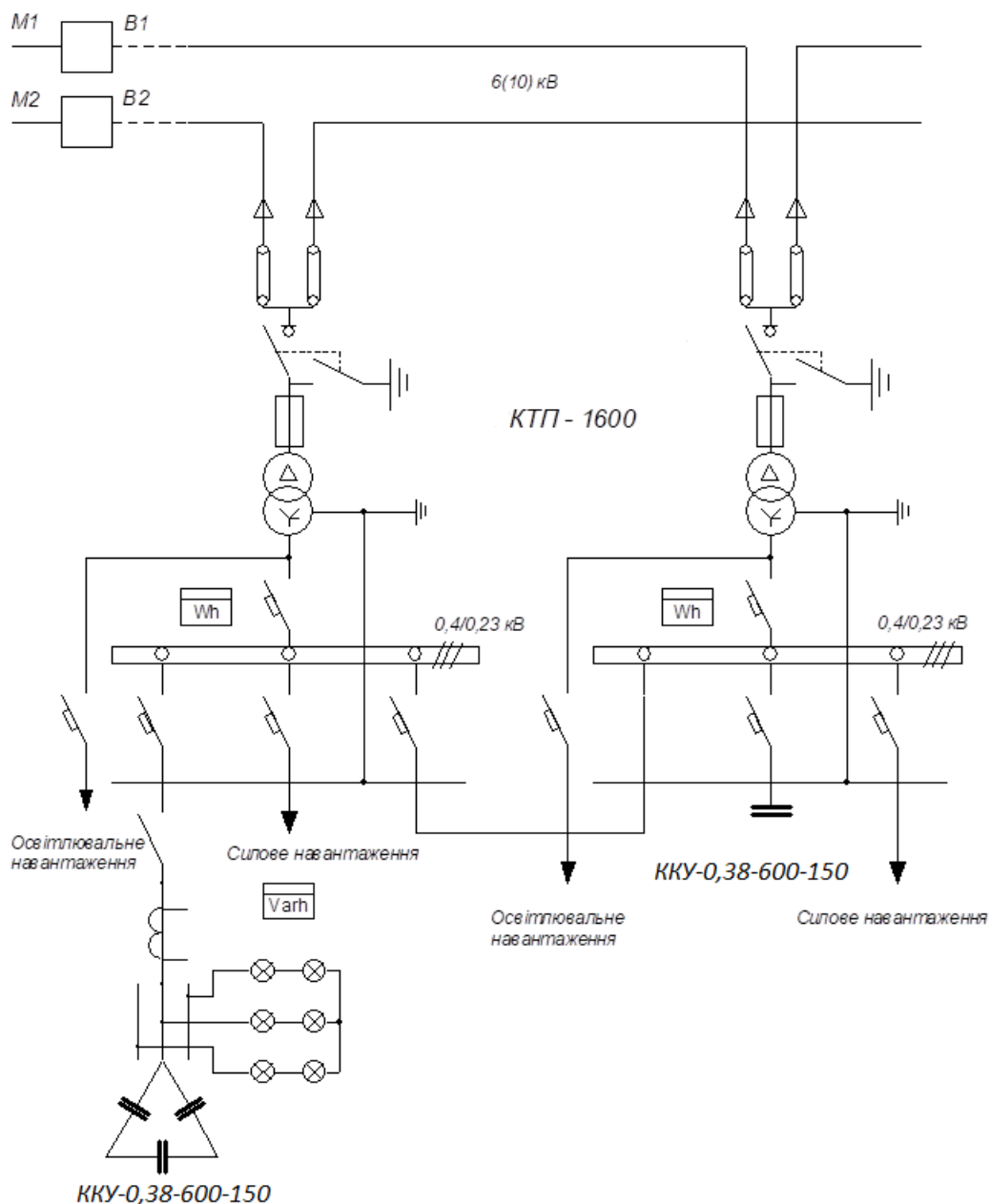


Рис. 2.1. Схема спільного живлення силового та освітлювального навантаження від КТП з КРМ в мережі до 1 кВ.

						Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

ET та EE 4815.320.000 ПЗ

Як основну схему з'єднання обмоток обрано Δ/Y_0-11 , яка рекомендується замість поширеної раніше схеми Y/Y_0-0 . Це рішення обумовлене меншим опором нульової послідовності у схемі «трикутник–зірка», що забезпечує збільшення струмів однофазного короткого замикання на стороні 0,4 кВ та, відповідно, покращує умови спрацьовування апаратів захисту.

2.5. Вибір схеми внутрішньоцеховий мережі напругою до 1 кВ

Конфігурацію схеми живлення цехових трансформаторів обирають на основі всебічного врахування таких чинників:

- загального числа трансформаторних підстанцій у цеху;
- їхнього просторового розміщення відносно технологічного устаткування та центрів навантажень;
- категорій електроприймачів за надійністю електропостачання.

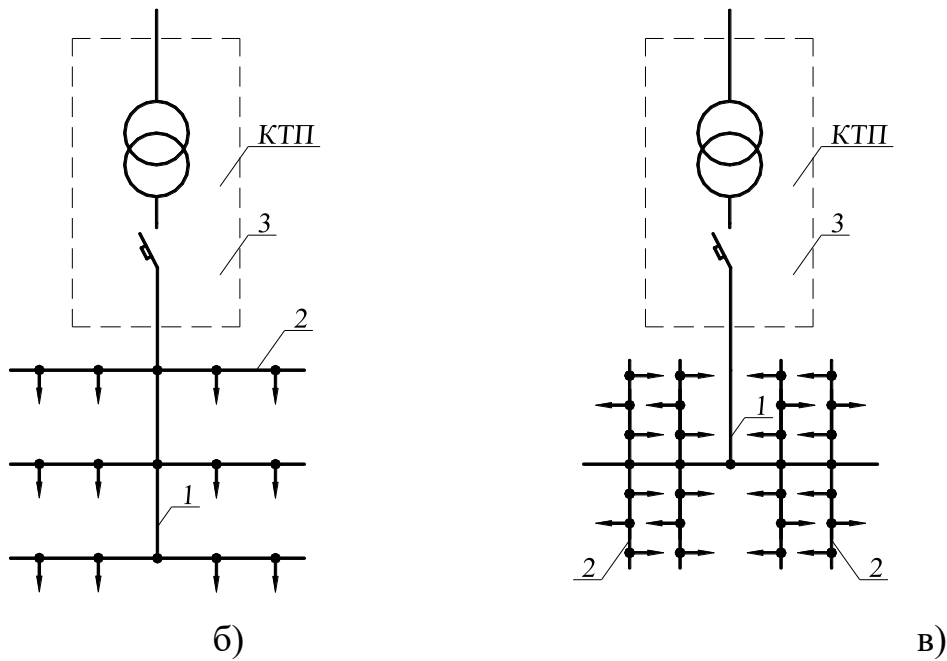
Відповідно до рекомендацій, викладених в «Інструкції з проектування електропостачання промислових підприємств» [7] (чинний нормативний документ, розроблений на підставі галузевих стандартів), для гарантування необхідного рівня надійності доцільно використовувати подвійні наскрізні магістральні лінії живлення. Така схема дозволяє реалізувати взаємне резервування трансформаторів і підвищити гнучкість системи електропостачання.

Число трансформаторів, які приєднують до однієї магістральної лінії, залежить від їхньої одиничної потужності:

- за номінальної потужності трансформаторів 1600–2500 кВА рекомендовано об'єднувати в одну магістраль 2–3 трансформатори;
- для трансформаторів меншої потужності (до 1000–1600 кВА) дозволяється приєднувати до однієї магістралі 3–4 одиниці.

Цей підхід забезпечує оптимальне співвідношення між надійністю електропостачання, капітальними витратами на спорудження мереж та експлуатаційними витратами.

					ET та EE 4815.320.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		



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

Для конфігурації з двома трансформаторами рекомендовано застосовувати радіальну схему живлення, яка вирізняється простотою реалізації та забезпечує ефективне локальне резервування споживачів.

У сучасній проєктній практиці, особливо за умов розташування трансформаторних підстанцій безпосередньо в центрах електричних навантажень у мережах напругою до 1 кВ, значного поширення набула схема типу БТМ (блок «трансформатор–магістраль»). Вона забезпечує компактність, гнучкість під час розподілу навантажень та зручність експлуатації (рис. 2.2).

Використання схеми БТМ дає змогу значно спростити внутрішньоцехову мережу: комплектна трансформаторна підстанція (КТП) може виконуватися без розподільного пристрою низької напруги (РПНН). У такому разі від

					ET та EE 4815.320.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

трансформатора КТП безпосередньо відходить магістральний шинопровід (ШМА), який передає електроенергію до кількох розподільних шинопроводів (ШРА) або прямо до окремих електроприймачів (ЕП). Схеми типу БТМ активно використовують для живлення внутрішньоцехових мереж, зокрема на об'єктах хімічної промисловості.

За структурною побудовою внутрішньоцехові електричні мережі поділяють на радіальні (рис. 2.3), магістральні (рис. 2.4) та змішані (комбіновані) (рис. 2.5), які поєднують переваги обох попередніх типів.

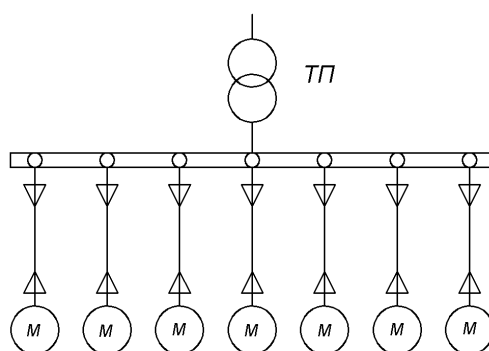


Рис. 2.3. Радіальна схема живлення ЕП

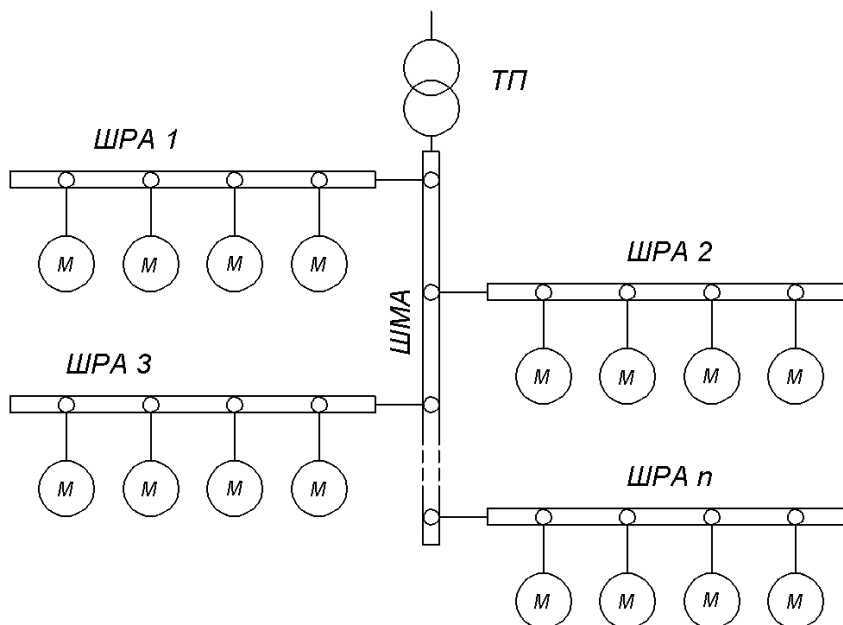


Рис. 2.4. Магістральна схема живлення

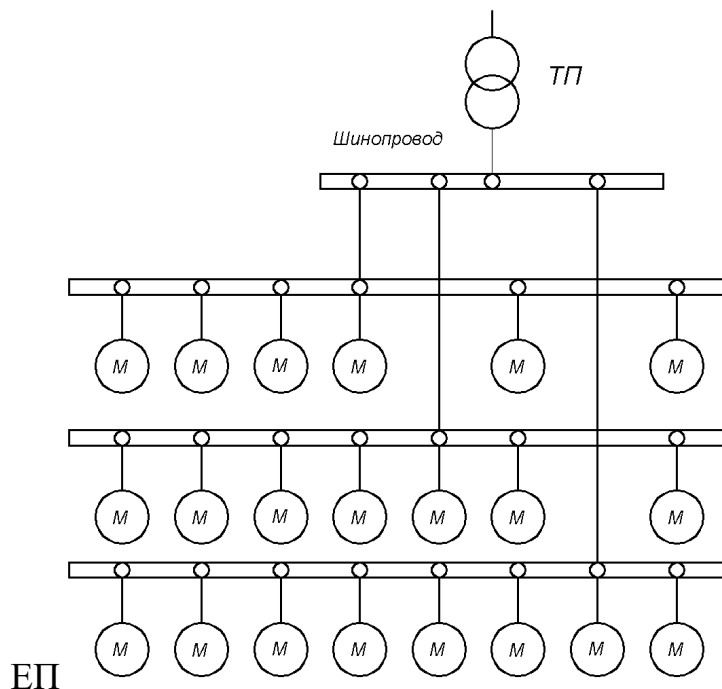


Рис. 2.5. Змішана схема живлення ЕП

У проектній практиці застосовують радіальні, магістральні та змішані схеми живлення.

Радіальні схеми (живлення кожної групи споживачів окремими лініями від розподільного пристрою низької напруги трансформаторної підстанції) використовують за зосереджених, нерівномірно розподілених навантажень, у вибухонебезпечних цехах, насосних і компресорних станціях. Вони гарантують високий рівень надійності, однак пов'язані зі значними витратами на кабельну продукцію та захисну апаратуру.

Магістральні схеми (приєднання групи споживачів до спільної лінії) доцільно використовувати за рівномірного розподілу навантажень або в межах єдиної технологічної лінії. Застосування шинопроводів уможливорює індустріальний монтаж і забезпечує гнучкість системи. Головним недоліком є відносно нижча надійність, яку компенсують улаштуванням резервних перемичок між окремими магістралями.

Змішані схеми поєднують переваги обох зазначених підходів. Характерним прикладом слугує схема БТМ (блок «трансформатор–

					ЕТ та ЕЕ 4815.320.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

магістраль»), поширена в машинобудуванні: магістральні шинопроводи живлять розподільні, від яких до окремого обладнання виконуються радіальні відгалуження.

Для цього проекту обрано магістральну схему з резервними перемичками між розподільними шинопроводами як таку, що найповніше відповідає критеріям гнучкості, надійності та ефективності.

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

У процесі експлуатації електричних мереж можуть виникати порушення нормального режиму роботи — зокрема перевантаження та короткі замикання, що супроводжуються різким зростанням струму в провідниках. Щоб уникнути пошкодження обладнання та зниження надійності живлення, цехові мережі повинні бути забезпечені надійним захистом від аварійних режимів.

Для цих цілей застосовують захисні апарати, здатні забезпечити мінімальний час відключення пошкодженої ділянки. Серед основних засобів захисту внутрішньоцехових мереж використовують:

- плавкі запобіжники,
- автоматичні вимикачі (автомати),
- теплові реле магнітних пускачів.

Порівняно із запобіжниками, автомати мають низку переваг:

- більш стійкі захисні характеристики при перевантаженнях;
- можливість одночасного відключення всіх трьох фаз, що запобігає роботі електроприймачів у неповнофазному режимі;
- багатократність спрацьовування, що дозволяє реалізовувати функції автоматичних схем (АВР, АПВ).

Завдяки цим властивостям автоматичні вимикачі знайшли широке

					ET та EE 4815.320.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

застосування в мережах змінного струму до 660 В.

Для реалізації захисту в автоматах передбачено релейні пристрої — так звані расцеплювачі, які можуть бути виконані у вигляді:

- струмового відсічення (миттєве відключення при КЗ);
- максимального струмового захисту (з витримкою часу).

Ці функції реалізуються за допомогою електромагнітних реле прямої дії, з налаштуванням на спрацювання з витримкою або без неї — залежно від типу автомата та характеру навантажень.

Для виконання захисту, надійно і суб'єктивно діючого при коротких замиканнях і перевантаженнях, максимальні розцеплювачі автоматів постачають витримками часу у вигляді годинникових механізмів. Уповільнення досягається за рахунок сповільнювача розцеплювача - механізму, що створює незалежну витримку часу, регульовану в межах $0,2 \div 0,4$ с або $0,4 \div 0,6$ с.

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.

$$I_{расц.ном} \geq I_{расч.тах}$$

де $I_{роzc.ном}$ – номінальний ток расцепителя, А;

$I_{роzc.тах}$ – расчетный ток защищаемого участка сети.

Для одиночних, захищених автоматом, двигунів:

$$I_{роzc.тах} = I_{ном дв}$$

Якщо захищений елемент мережі працює в режимі технологічних перевантажень, то необхідно вибирати автомати з регульованим розцеплювачем уповільненого спрацювання, що здійснює захист від перевантаження.

Уставка уповільненого спрацювання регульованих розцеплювачів, що здійснюють захист від перевантаження $I_{уст n}$ обирається за виразом (51):

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

При виборі струму уставки миттєвого спрацювання електромагнітного розцеплювача, що здійснює захист від к.з., $I_{уст к.з.}$, необхідно відстроїти від

					ЕТ та ЕЕ 4815.320.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

короткочасних перевантажень, що викликаються пуском (самозапуском) двигунів, за виразом (52):

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

де $I_{пер}$ ($I_{пик}$) – ток короткочасні перевантаження або піковий струм, що визначається залежно від характеру навантаження захищеної ділянки мережі за 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;

- для випадку пуску найбільш потужного двигуна і режиму нормальної роботи всіх інших електроприймачів, підключених до захищеної 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 захищеної лінії без урахування найбільш потужного двигуна;

$I_{пуск.мах}$ – пусковий струм найбільш потужного двигуна на захищеній ділянці мережі, A ;

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:

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

					ET та EE 4815.320.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

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

$I_{расц.ном}$ - номінальний струм розчеплювача уповільненого спрацювання, А.

- при захисті автоматами з розчеплювачами миттєвого спрацювання:

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

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:

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

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

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

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

Селективні автомати перевіряють на динамічну і термічну стійкість за виразами:

$$i_{дин} \geq i_y \quad (61)$$

$$B_{к.доп.} \geq I_{п.о.}^2 \cdot t_{сраб} \quad (62)$$

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

					ЕТ та ЕЕ 4815.320.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

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

Вибір параметрів і типів автоматичних вимикачів виконують згідно з однолінійною схемою живлення споживачів цеху, яку подано на аркуші 2 графічної частини проекту. На схемі вказано місця встановлення автоматичних вимикачів та їхнє функціональне призначення.

Вимикачі QF1–QF3 призначені для захисту асинхронних двигунів, чії параметри наведено в таблиці П.3. Одиничну потужність двигунів студент визначає самостійно, виходячи з умов завдання. Двигуни працюють у приміщенні з нормальним (неагресивним) середовищем, а режим їхньої роботи задається технологічним режимом приводних механізмів.

Автомати QF4–QF7 мають однакові параметри, оскільки захищають електроприймачі, приєднані до рівномірно завантажених розподільчих шинопроводів ШРА1–ШРА6.

Автомат QF8 — це ввідний вимикач. Його параметри визначають на підставі встановленої потужності трансформатора з урахуванням допустимих систематичних і аварійних перевантажень відповідно до вимог ДСТУ.

Автомат QF9 — секційний вимикач. Його параметри приймають такими самими, як у ввідного автомата QF8.

Процес вибору параметрів автоматичних вимикачів, розташованих безпосередньо біля споживачів, розпочинають із визначення номінальних струмів електродвигунів, що підлягають захисту. Для цього за довідковою літературою [3] обирають тип і потужність асинхронних двигунів.

За вибраними двигунами їхні номінальні струми обчислюють за формулою:

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

$$I_{н.ов.} = \frac{40}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,89 \cdot 0,9} = 75,9 \text{ А}; \quad (64)$$

Результати розрахунку заносимо в таблицю 2.2.

					ЕТ та ЕЕ 4815.320.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

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

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

$$I_{\text{пуск}} = 6 \cdot 75,9 = 455,4 \text{ А}; \quad (66)$$

За розрахунковими величинам приймаємо до установки автомат типу ВА 88-35 з номінальними параметрами (табл.1стр.7. [3]). При виборі номінального струму комбінованого електромагнітного розчеплювача автомата, вбудованого в шафу, слід враховувати тепловий поправочний коефіцієнт 0,85:

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

$$I_{\text{н.розч.}} = \frac{75,9}{0,85} = 89,3 \text{ А}; \quad (68)$$

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

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

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

$$I_{\text{ср.ел.}} = 1,25 \cdot 455,4 = 569,3 \text{ А}.$$

Приймаємо уставку струму електромагнітного розчеплювача у відповідності з паспортними, час струмовими характеристиками 250 А.

Розраховуємо навантаження шинопровода ШРА-73-1.

При підключенні до шино проводу трьох двигунів розрахунковим завантаженням буде сума номінальних струмів цих двигунів

$$I_{\text{р.ШРА-1}} = \sum_1^3 I_{\text{ном.дв.}} = 303 \text{ А}; \quad (70)$$

Піковий струм шинопровода визначається з умови пуску найбільш потужного двигуна, приєднаного до шинопровода. Враховуємо, що двигуни потужністю понад 100 кВт мають пристрої плавного пуску

$$I_{\text{пик}} = I_{\text{пуск.мах}} + \sum_1^{n-1} I_{\text{ном.дв.}} = 455,4 + 599,4 + 763,2 = 1818 \text{ А} \quad (71)$$

					ЕТ та ЕЕ 4815.320.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Обираємо номінальний струм електромагнітного розчеплювача з урахуванням теплового поправочного коефіцієнта:

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

Перевіряємо можливість спрацьовування автоматів при пуску найбільш потужного двигуна (відстроювання від пускових струмів):

$$1,25 \cdot I_{нік} \geq I_{ср.є.л.розч.} \quad (73)$$

Результати розрахунку заносимо в таблицю 2.2.

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

$$I_{н.ав.} = \frac{1,4 \cdot S_{номт}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{1,4 \cdot 1600}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 3407,4 \text{ А.} \quad (74)$$

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

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

$$4008,7 < 4000$$

Приймаємо до встановлення автомат ЕО -40, $I_{п.ав.} = 4000 \text{ А.}$

Секційний автомат вибираємо по навантаженню секції або на щабель нижче вступного автомата:

$$I_{р.секції} = \frac{(0,6 \div 0,7) I_{н.ав.}}{0,85}, \text{ А} \quad (76)$$

Приймаємо до встановлення автомат типу ЕО 25, $I_{п.ав.} = 2500 \text{ А.}$

					ЕТ та ЕЕ 4815.320.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

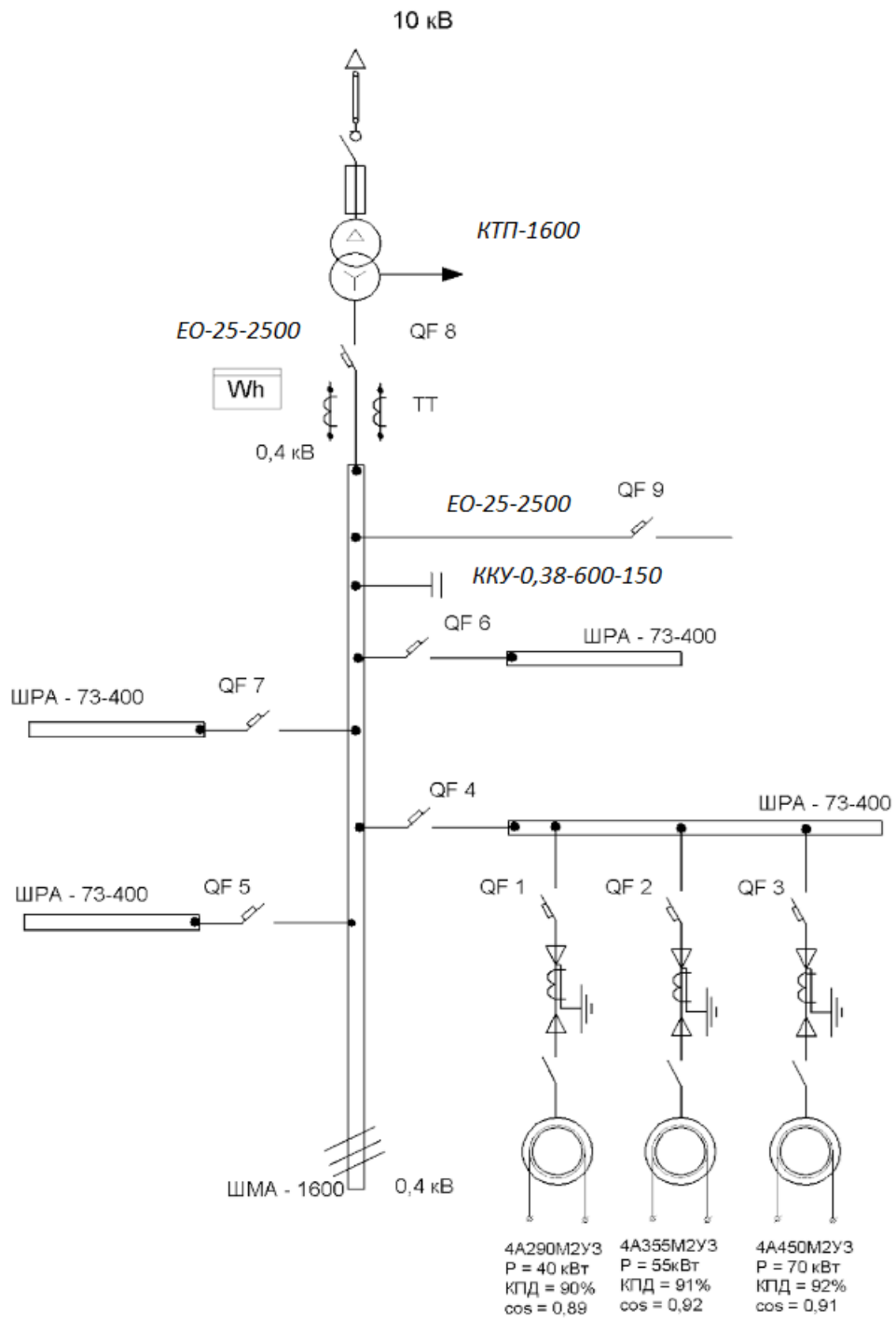


Рис.2.6. Схема для вибору місць розташування автоматів і розрахунку їх параметрів

					ET та EE 4815.320.000 ПЗ	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.

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

До вибору перетинів проводів та кабелів напругою до 1 кВ приступають після вибору захисних апаратів, так як, обраний за умовою нагріву перетин струмопровідних частин необхідно перевірити на відповідність захистів:

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

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

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

Для вибраних умов, при яких експлуатується устаткування – невибухонебезпечної і не пожежонебезпечної, устаткування працює з можливим технологічним перевантаженням (металорізальні верстати, підйомно-транспортне устаткування, зварювальні агрегати), дроти і кабелі передбачається вибирати з гумовою ізоляцією - коефіцієнтом захисту k_3 приймається рівним 1.

Обране і перевірене на відповідність захисту переріз кабелю перевіряє по втраті напруги по умові:

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

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

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

					ЕТ та ЕЕ 4815.320.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

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

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 $x_0 = 0,06$ Ом/км.

Вибираємо переріз кабелю по умові нагріву

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

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

Обираємо 4-х жильний кабель типу АВВГ 3х150

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

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

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

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

Перевіряємо вибрані кабелі по втраті напруги:

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

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

де I_p – розрахунковий струм;

l – довжина кабелю;

r_0, x_0 – питомі активний та індуктивний опори кабелю.

$\cos \phi = 0,61$; $\sin \phi = 0,79$

$$\Delta U_{\text{діюче}} = \sqrt{3} \cdot I_p \cdot l \cdot (r_0 \cdot \cos \phi + x_0 \cdot \sin \phi) = 6,55 \text{ В}$$

					ЕТ та ЕЕ 4815.320.000 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 вибраного перетину по умові	Остаточна обрана марка та перетин СВЧ, мм ²	Перевірка СВЧ по втраті напруги,
QF1	ШРА-1- АД-1	40	75,9	6	455,4	0,85	89,3	100	630	А3710Б	1	115	115	АВВГ (3x25)	6,55	
QF2	ШРА-1- АД-2	55	99,9	6	599,4	0,85	117,5	125	1000	А3710Б	1	140	140	ААВГ (3x35)	8,62	
QF3	ШРА-1- АД-3	70	127,2	6	763,2	0,85	149,6	160	1000	А3710Б	1	170	170	АВВГ (3x70)	10,9	
QF4	ШМА- ШРА-1	-	303	-	1818	0,85	356,4	400	2500	А3730Б	1	400	-	ШРА-73	-	
QF5	ШМА- ШРА-2	-	303	-	1818	0,85	356,4	400	2500	А3730Б	1	400	-	ШРА-73	-	
QF6	ШМА- ШРА-3	-	303	-	1818	0,85	356,4	400	2500	А3730Б	1	400	-	ШРА-73	-	
QF7	ШМА- ШРА-4	-	303	-	1818	0,85	356,4	400	2500	А3730Б	1	400	-	ШРА-73	-	
QF8	ТР-р- ШМА	1600	3407,4	-	-	-	-	4000	-	ЕО-40	-	4000	-	ШМА-73	-	
QF9	Секційний	-	2405,2	-	-	-	-	2500	-	ЕО-25	-	2500	-	ШМА-73	-	

Вим

Лист

№ докум.

Підп.

Дата

ЕТ та ЕЕ 4815.320.000 ПЗ

Лист

2.8 Розрахунок струмів короткого замикання в мережі до 1 кВ

Розрахунок струмів короткого замикання (КЗ) у мережах напругою до 1 кВ виконують насамперед для перевірки вибраних автоматичних вимикачів і шинопроводів на відповідність умовам аварійних режимів. При цьому здійснюють:

- перевірку автоматів за граничним струмом вимкнення (знаходять максимальний струм трифазного КЗ);
- перевірку чутливості захисту (визначають мінімальний струм однофазного КЗ у найвіддаленішій та найнесприятливішій для захисту точці мережі).

Особливістю розрахунку струмів КЗ у мережах до 1 кВ є те, що його ведуть в іменованих одиницях (амперах, омах тощо), а не в умовних чи відносних. До розрахункової схеми залучають активні та індуктивні опори всіх елементів замкненого кола струму КЗ, зокрема: провідників, трансформаторів струму, струмових котушок автоматів, контактів, контактних з'єднань, а також електричної дуги, що виникає в місці КЗ.

Вплив асинхронних двигунів дозволяється не враховувати, якщо їхній сумарний номінальний струм не перевищує 10 % початкового значення періодичної складової струму КЗ, визначеного без урахування дії двигунів.

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

- складається розрахункова схема (рис. 2.6) на яку наносяться струми к. з.;
- за розрахунковою схемою складається схема заміщення (рис. 2.7), в якій всі елементи розрахункової схеми замінюються активними і індуктивними опорами;
- розраховуються опори елементів мережі (опори прямої послідовності, опори нульової послідовності, опори ланцюга фаза-нуль);
- визначають величини трифазного та однофазного к. з. у намічених точках мережі. Методика розрахунків струмів к. з. в електроустановках змінного струму напругою до 1 кВ відповідає ДСТУ EN 60909-0:2015 та ДСТУ 2156-93

									Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата					

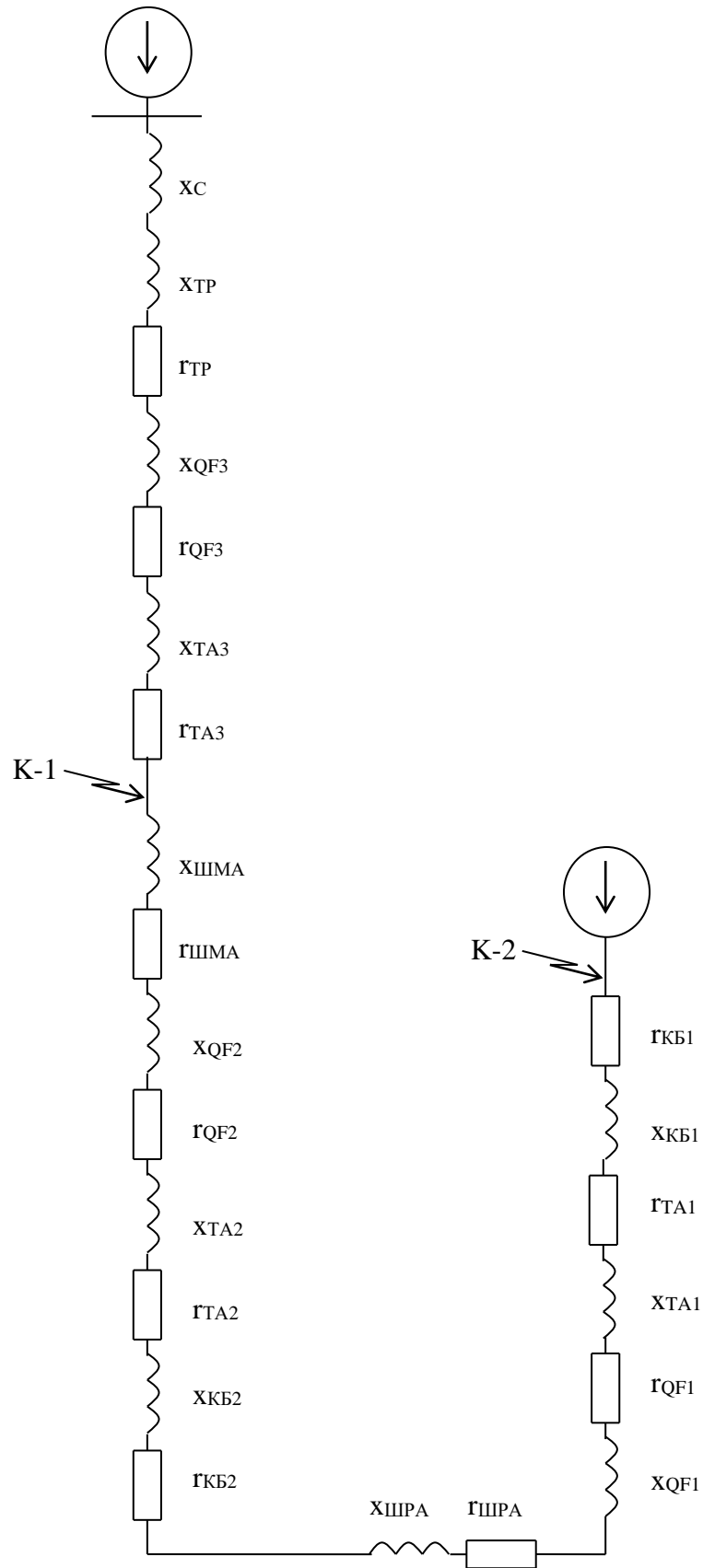


Рис. 2.7. Схема заміщення

Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата

ET та EE 4815.320.000 ПЗ

Лист

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 послідовності	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
Нульова	r ₀	0,038	0,162	2,5	2,7						
	x ₀	0,045	0,164	0,075	0,01						
Фаза-нуль	r _{ф-0}	0,068	0,262	0,27	0,38						
	x _{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 :

					ET та EE 4815.320.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

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

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:

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

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

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);

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

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

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

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

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

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

					ET та EE 4815.320.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

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

Необхідність обліку впливу електродвигунів при розрахунку струму к.з. визначається із співвідношення: $I_{\text{ндв}\Sigma} \leq 0,1 \cdot I_{\text{кз}}^{(3)}$, $900,4 \leq 1030$. Присутність двигунів в місці к.з. можна не враховувати.

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

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

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

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

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

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

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

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

$$r_{0\Sigma} = r_{0\tau} + r_{0\text{QF3}} + r_{0\text{ТА3}} + r_{0\text{ШМА}} + r_{0\text{QF2}} + r_{0\text{ТА2}} + r_{0\text{КБ2}} + r_{0\text{ШПРА}} + r_{0\text{ТА1}} + r_{0\text{QF1}} + r_{0\text{КБ1}};$$

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

$$r_{0\Sigma} = 12,83 \text{ мОм;}$$

					ET та EE 4815.320.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

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

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

Всі обрані автомати перевіряють:

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

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

- на чутливість захисту:

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

де $I_{к.з.мін}^{(1)}$ - 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:

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

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

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

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

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

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.

					ET та EE 4815.320.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

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

Електроенергія, призначена для живлення електроприймачів, повинна відповідати вимогам ДСТУ 13109-87 /21/ щодо якісних показників, які гарантують надійну й економічну роботу обладнання. Згідно з ПУЕ, «всю мережу — від цехової підстанції до електроприймачів — слід перевіряти на допустимі відхилення напруги з огляду на режим напруги на шинах центру живлення. Якщо відхилення напруги перевищує встановлену межу, в мережах необхідно передбачити відповідні технічні заходи з регулювання напруги».

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

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

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

Збитки, зумовлені відхиленням напруги, складаються з двох компонентів — електромагнітного та технологічного. Електромагнітний компонент виникає через додаткові втрати електроенергії в елементах мережі, а технологічний — через зниження продуктивності технологічного обладнання та продуктивності праці.

Найбільш чутливими до відхилень напруги є освітлювальні установки та конденсаторні батареї. Наприклад, зниження напруги на 5 % призводить до падіння світлового потоку ламп розжарювання на 20 %, а підвищення напруги на 10 % скорочує термін їхньої служби в 4 рази.

Значення відхилення напруги на вторинній стороні трансформатора:

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

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

									Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата					

ET та EE 4815.320.000 ПЗ

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:

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

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

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:

$S_{нтр} = 1600$ кВА; $U_{кз} = 5,5\%$; $\Delta P_{кз} = 16,5$ кВт.

Навантаження трансформатора розраховується по формулі:

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

$$S_p = \frac{\sqrt{2354,6^2 + 426,5^2}}{2} = 1196,5 \text{ кВА}. \quad (101)$$

Коефіцієнт активної потужності визначаю, виходячи зі значення коефіцієнта реактивної потужності

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

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{426,5}{2530,8} = 0,17. \quad (103)$$

Отже $\cos \varphi = 0,98$, $\sin \varphi = 0,17$.

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

На стороні ВН трансформатора підтримується напруга 10,5 кВ ($U_1 = 5\%$, $U_H = 0$).

									Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата	ЕТ та ЕЕ 4815.320.000 ПЗ				

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:

$$\Delta U_m = \frac{1196,5}{1600} \cdot \left(\frac{16,5}{1600} \cdot 0,98 + 0,055 \cdot 0,17 \right) = 0,015 = 1,5\% \quad (104)$$

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

$$U_{11} = 5 + 2,5 - 0 - 2,5 - 1,5 = 3,5 \%$$

Отримане значення не перевищує допустимі межі відхилення напруги.

					ЕТ та ЕЕ 4815.320.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

2.10. Проектування однолінійної схеми електропостачання вузла навантаження

Дослідження технологічного процесу проєктованого вузла навантаження дало змогу віднести об'єкт до споживачів II категорії за надійністю електропостачання, що визначило ключові технічні рішення під час побудови системи живлення.

Електроприймачі 0,4 кВ отримують живлення від двох незалежних джерел – це відповідає нормативним вимогам для даної категорії. Система спроектована з наскрізним резервуванням на всіх ступенях трансформації, що підвищує стійкість до аварій. Автоматичне введення резерву на секційних апаратах не вимагається: допустима перерва живлення обмежується лише часом ручного перемикання на резерв.

Для зменшення перетікань реактивної потужності у внутрішній мережі конденсаторні батареї встановлено безпосередньо поблизу споживачів – це оптимізує завантаження трансформаторів і знижує втрати.

Рівномірне розташування споживачів 0,4 кВ по території цеху дозволило використати розподільні шинопроводи, що надають мережі гнучкості та спрощують монтаж індустріальними методами.

Застосування комутаційного, вимірювального й захисного обладнання вітчизняного виробництва забезпечило зменшення капіталовкладень без шкоди для надійності.

Живлення організовано двома магістральними шинопроводами та шістьма радіальними лініями, що формує раціональну конфігурацію мережі з урахуванням просторової структури виробництва.

					ET та EE 4815.320.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

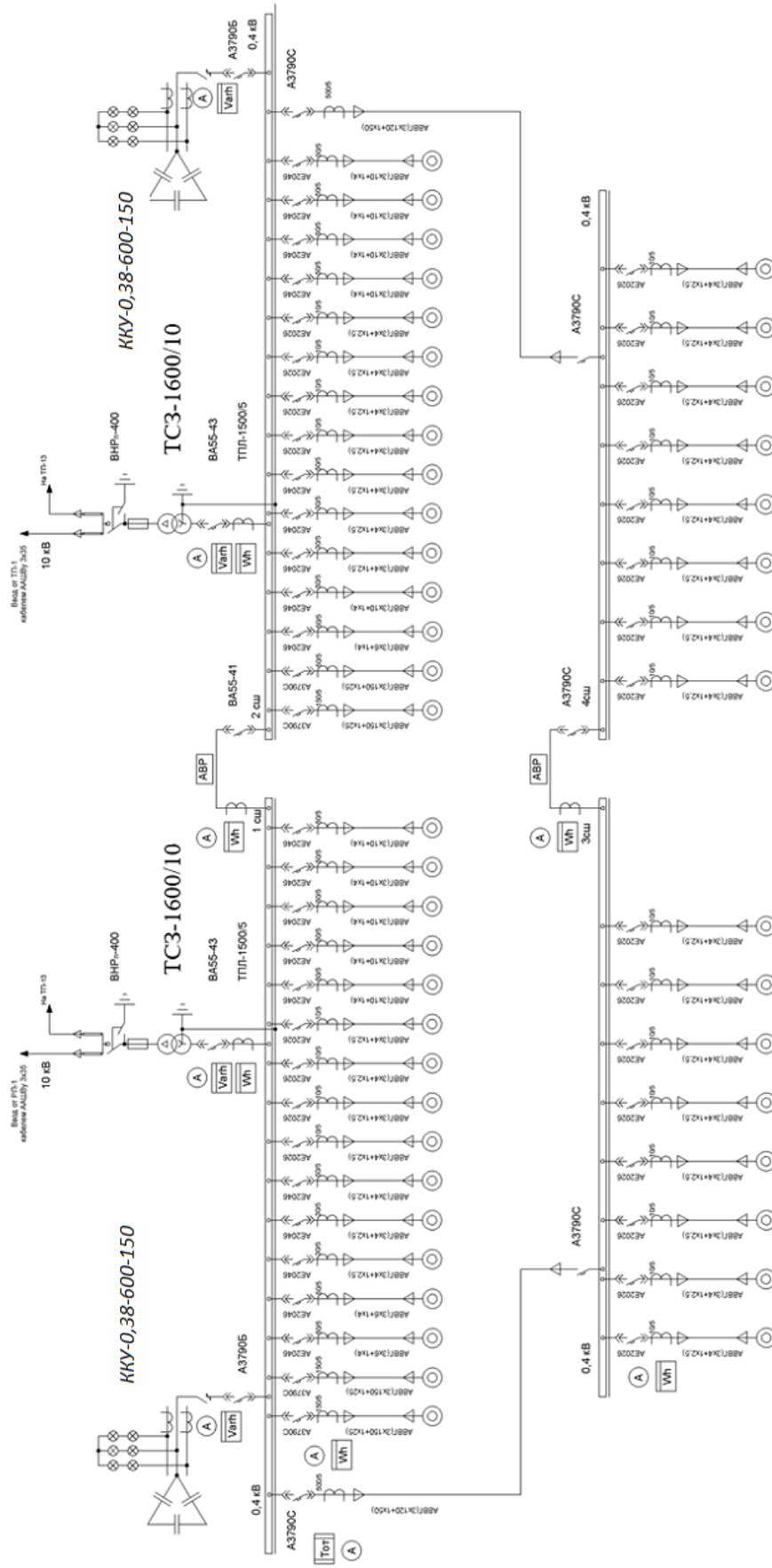


Рис. 2.8. Схема електропостачання цеху

Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата

ET та EE 4815.320.000 ПЗ

Лист

3. ОХОРОНА ПРАЦІ

Розділ розроблено відповідно до вимог чинних нормативно-правових актів з охорони праці, зокрема: Закону України «Про охорону праці», Правил улаштування електроустановок (ПУЕ), Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів (ПБЕЕС), Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів (ПТЕЕС), ДСТУ, а також галузевих норм і правил пожежної безпеки.

Організація робіт з монтажу, налагодження та експлуатації системи електропостачання цеху повинна забезпечувати безпеку обслуговуючого персоналу, захист від ураження електричним струмом, впливу агресивного середовища та інших шкідливих виробничих факторів. До виконання робіт допускається персонал, який пройшов навчання, інструктажі, перевірку знань та медичний огляд згідно з установленим порядком.

Заходи безпеки під час монтажу та експлуатації електроустановок

- Конструктивне виконання, компонування та монтаж електрообладнання виконано з урахуванням умов навколишнього середовища (агресивне, запилене, хімічно активне).

- Усі струмовідні частини захищені від випадкового дотику; застосовано огороження, блокування та попереджувальні написи.

- Передбачено захисне заземлення (занулення) всіх металевих неструмовідних частин електрообладнання, які можуть опинитися під напругою.

- Опір заземлювального пристрою відповідає нормам ПУЕ для мереж з глухозаземленою нейтраллю напругою до 1 кВ.

- Для забезпечення чутливості захистів застосовано трансформатори з групою з'єднання обмоток Δ/Y_0-11 .

					ET та EE 4815.320.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Електробезпека в умовах агресивного середовища

- У приміщеннях із хімічно активним середовищем передбачено застосування обладнання у виконанні, стійкому до корозії та дії агресивних речовин.

- Світильники, проводи, кабелі та комутаційні апарати вибрано з відповідним ступенем захисту (IP).

- Кабельні лінії прокладено з урахуванням необхідної стійкості до вологи, пилу та хімічних парів.

- У місцях можливого утворення вибухонебезпечних сумішей електрообладнання прийнято у вибухозахищеному виконанні згідно з класифікацією зон.

Пожежна безпека

- Електроустановки спроектовано відповідно до вимог пожежної безпеки; передбачено автоматичні вимикачі із захисними характеристиками, які запобігають перевантаженням і коротким замиканням.

- Забезпечено можливість швидкого знеструмлення окремих ділянок мережі.

- Передбачено первинні засоби пожежогасіння біля електрощитових приміщень та ТП.

- Застосування негорючих та важкогорючих ізоляційних матеріалів, а також сухих трансформаторів або герметичних масляних трансформаторів знижує пожежну небезпеку.

Захист від шкідливих виробничих факторів

- Мікрокліматичні умови на робочих місцях підтримуються в допустимих межах за допомогою загальнообмінної та місцевої вентиляції.

- Рівень шуму та вібрації від працюючого обладнання контролюється та не перевищує допустимих санітарних норм.

					<i>ET та EE 4815.320.000 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

- Освітленість робочих місць відповідає нормам ДБН з урахуванням чутливості освітлювальних установок до відхилень напруги.

Організаційні заходи

- Експлуатація електроустановок здійснюється з оформленням нарядів-допусків, розпоряджень або в порядку поточної експлуатації згідно з вимогами ПБЕЕС.

- Передбачено періодичне навчання та перевірку знань персоналу, а також проведення протиаварійних тренувань.

- У проєкті закладено можливість безпечного оперативного перемикання на резервне джерело живлення без загрози ураження електричним струмом.

Прийняті в проєкті технічні рішення відповідають вимогам охорони праці, забезпечують безпечну експлуатацію системи електропостачання цеху та захист персоналу від небезпечних і шкідливих виробничих факторів. Подальша безаварійна робота залежить від суворого дотримання чинних правил, інструкцій та виконання організаційно-технічних заходів під час обслуговування електроустановок.

					ЕТ та ЕЕ 4815.320.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

ВИСНОВОК

У процесі виконання проєкту було реалізовано низку технічно обґрунтованих рішень, покликаних підвищити надійність, гнучкість та ефективність системи електропостачання:

- застосовано магістральну схему живлення цехових трансформаторних підстанцій, яка забезпечує структурну гнучкість і дає змогу впроваджувати індустріальні методи монтажу;
- у мережах до 1 кВ передбачено резервні перемички, що дозволяють зберігати безперервність живлення в разі вимкнення одного з трансформаторів або виникнення аварійної ситуації;
- безпосередньо поблизу споживачів у мережі 0,4–1 кВ встановлено компенсуючі пристрої, завдяки чому зменшено перетікання реактивної потужності, оптимізовано режими роботи трансформаторів і скорочено потрібну встановлену потужність;
- з метою підвищення надійності мереж напругою до 1 кВ у схемі електропостачання застосовано трансформатори з групою з'єднання обмоток Δ/Y_0-11 , що забезпечило необхідну чутливість захистів.

					ET та EE 4815.320.000 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 4815.320.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		