

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 промисловості будівельних
матеріалів
(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 _____ Богдан БОЖКО
(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))

БОЖКО Богдан Валерійович

(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 промисловості
будівельних матеріалів

керівник роботи Буданов Павло Феофанович, к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затвержені 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. 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.

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		

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

Здобувач вищої освіти _____ Богдан БОЖКО
(підпис) (ім'я, прізвище)

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

РЕФЕРАТ

У бакалаврській роботі розглянуто питання проектування системи електропостачання цеху промисловості будівельних матеріалів.

Об'єкт дослідження – система електропостачання цеху промисловості будівельних матеріалів.

Предмет дослідження – процеси проектування, розрахунку та оптимізації системи електропостачання цеху, зокрема визначення електричних навантажень, вибір схеми внутрішньоцехової мережі, силового обладнання, засобів компенсації реактивної потужності та забезпечення надійності, якості електроенергії й енергоефективності роботи системи.

В процесі виконання роботи було проведено аналіз технологічного процесу цеху та визначено категорійність електроспоживачів за ступенем надійності електропостачання.

На основі вихідних даних виконано розрахунок електричних навантажень методом впорядкованих діаграм, визначено максимальні та середні навантаження окремих груп електроприймачів. Проведено вибір оптимальної кількості та потужності цехових трансформаторів, виконано розрахунок потужності компенсуючих пристроїв у мережі напругою до 1 кВ.

В роботі здійснено вибір схеми внутрішньоцехового електропостачання, розраховано струми короткого замикання, підібрано комутаційно-захисні апарати та перерізи струмоведучих частин відповідно до умов надійності та безпеки експлуатації. Виконано перевірку показників якості електроенергії на шинах цехової трансформаторної підстанції. Результатом проектування є однолінійна схема електропостачання цеху.

Ключові слова: електропостачання, електричні навантаження, трансформаторна підстанція, компенсація реактивної потужності, електроенергія, електроприймачі, енергоефективність, коротке замикання, електробезпека.

ABSTRACT

The bachelor's thesis considers the issue of designing a power supply system for a building materials industry workshop.

The object of the study is the power supply system for a building materials industry workshop.

The subject of the study is the processes of designing, calculating and optimizing the power supply system for the shop, in particular, determining electrical loads, choosing a scheme for an intra-shop network, power equipment, reactive power compensation means and ensuring reliability, quality of electricity and energy efficiency of the system.

In the process of performing the work, an analysis of the technological process of the shop was carried out and the categorization of electricity consumers by the degree of reliability of electricity supply was determined.

Based on the initial data, the calculation of electrical loads was performed using the method of ordered diagrams, the maximum and average loads of individual groups of electrical consumers were determined. The optimal number and power of shop transformers was selected, and the power of compensating devices in a network with a voltage of up to 1 kV was calculated.

The work selected the scheme of the internal shop power supply, calculated the short-circuit currents, selected the switching and protective devices and cross-sections of the current-carrying parts in accordance with the conditions of reliability and safety of operation. The quality of electricity on the busbars of the shop transformer substation was checked. The result of the design is a single-line scheme of the shop power supply.

Keywords: power supply, electrical loads, transformer substation, reactive power compensation, electricity, electrical receivers, energy efficiency, short circuit, 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.....	
2.2.1 Визначення потужності компенсуючих пристроїв за умовою вибору оптимального числа цехових трансформаторів.....	
2.2.2 Визначення додаткової 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 Проєктування однолінійної схеми електропостачання вузла навантаження.....	
3 Охорона праці.....	
ВИСНОВОК.....	
ЛІТЕРАТУРА.....	

					ЕТ та ЕЕ 4815.314.000 ПЗ									
					Проєктування СЕП вузла навантаження цеху промисловості будівельних матеріалів									
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		Лім.	Маса	Масштаб						
Розроб.		Божко					1	1 : 1						
Перевір.		Буданов												
Т. Контр.						Арк.	Аркушів							
Реценз.					Пояснювальна записка					гр. ДЕА-Е22+Е23пр				
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 4815.314.000 ПЗ	Лист
Вим.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

ВСТУП

Проектування систем електропостачання промислових об'єктів є однією з ключових інженерних задач сучасної електроенергетики, оскільки від якості прийнятих проектних рішень безпосередньо залежать надійність роботи технологічного обладнання, рівень енергетичної ефективності виробництва та економічні показники діяльності підприємства. Особливої уваги потребують підприємства промисловості будівельних матеріалів, для яких характерні значні електричні навантаження, нерівномірність режимів роботи та підвищені вимоги до безперебійності електропостачання.

Актуальність даної бакалаврської роботи зумовлена необхідністю раціонального використання електричної енергії в умовах зростання її вартості, обмеженості енергоресурсів і впровадження енергозберігаючих технологій. Значна частина промислових підприємств функціонує в умовах змінних навантажень і неповного використання встановленої потужності, що призводить до підвищених втрат електроенергії, зниження ефективності обладнання та зростання експлуатаційних витрат. У зв'язку з цим оптимальне проектування систем електропостачання внутрішньоцехових вузлів навантаження набуває особливої практичної значущості.

Метою бакалаврської роботи є проектування системи електропостачання вузла навантаження цеху підприємства промисловості будівельних матеріалів із урахуванням сучасних вимог до надійності, енергоефективності, якості електроенергії та економічної доцільності проектних рішень.

Для досягнення поставленої мети в роботі передбачається вирішення таких основних завдань: аналіз технологічного процесу та електричних навантажень цеху; вибір схеми електропостачання та основного електрообладнання; розрахунок електричних навантажень, струмів короткого замикання і перерізів провідників; забезпечення необхідного рівня надійності електропостачання та відповідності показників якості електроенергії чинним нормативним вимогам.

У процесі виконання бакалаврської роботи здобуваються практичні навички роботи з нормативно-технічною документацією, стандартами, типовими проектними рішеннями та довідковими матеріалами, а також формується системне бачення задач проектування внутрішньоцехових систем електропостачання промислових підприємств.

					ET та EE 4815.314.000 ПЗ	Лист
Вим.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ПРОЕКТОВАНОГО ОБ'ЄКТА

Аналіз технологічного процесу проектуваного об'єкта є необхідним етапом при проектуванні системи електропостачання, оскільки він дозволяє оцінити можливі наслідки перерв електропостачання та пов'язані з ними техніко-економічні збитки. Результати такого аналізу слугують основою для класифікації електроприймачів за категоріями надійності електропостачання відповідно до вимог Правил улаштування електроустановок (ПУЕ), а також визначення кількості джерел живлення, вибору структури живильних і розподільних мереж та доцільності застосування автоматичних пристроїв у схемах електропостачання.

Згідно з поставленим завданням, у проєкті розглядається виробничий цех підприємства промисловості будівельних матеріалів. Даний цех належить до цехів основного виробництва та характеризується складним і безперервним технологічним процесом. Порухення режиму роботи або аварійне припинення електропостачання може призвести до значних матеріальних збитків, зокрема виготовлення бракованої продукції, пошкодження або виходу з ладу дорогого технологічного обладнання, а також створення небезпечних умов для обслуговуючого персоналу.

Відповідно до вимог ПУЕ електроприймачі розглянутого цеху відносяться до споживачів другої категорії за ступенем безперебійності електропостачання, оскільки перерва живлення не допускається на тривалий час і може бути усунута шляхом автоматичного або оперативного включення резервного джерела електроенергії.

Особливу увагу при проектуванні системи електропостачання необхідно приділити умовам виробничого середовища. Наявність пилу, вологи, вібрацій та можливих агресивних впливів зумовлює підвищені вимоги до вибору місця розміщення цехової трансформаторної підстанції, типу та виконання електрообладнання, вибору електричних схем, а також конструкції та прокладання струмопровідних елементів.

До електроприймачів напругою 0,4 кВ, що експлуатуються у цеху, належать:

- металорізальні верстати дрібносерійного та великосерійного виробництва;
- вентилятори, насоси та компресори;
- підйомно-транспортні механізми (крани, тельфери з повторно-короткочасним режимом роботи ПВ 25 % та 40 %);
- зварювальні установки шовного зварювання;
- елеватори та блоковані конвеєри.

										Лист
Вим.	Лист	№ документа	Підпис	Дата						

ET та EE 4815.314.000 ПЗ

Площа виробничого приміщення становить 9000 м². Питома щільність навантаження системи освітлення прийнята на рівні 20 Вт/м². Режим роботи кожної групи електроприймачів характеризується коефіцієнтом використання та коефіцієнтом потужності, які відображають інтенсивність споживання активної та реактивної електроенергії.

Схема розміщення основного електрообладнання на площі цеху представлена на рис. 1.1.

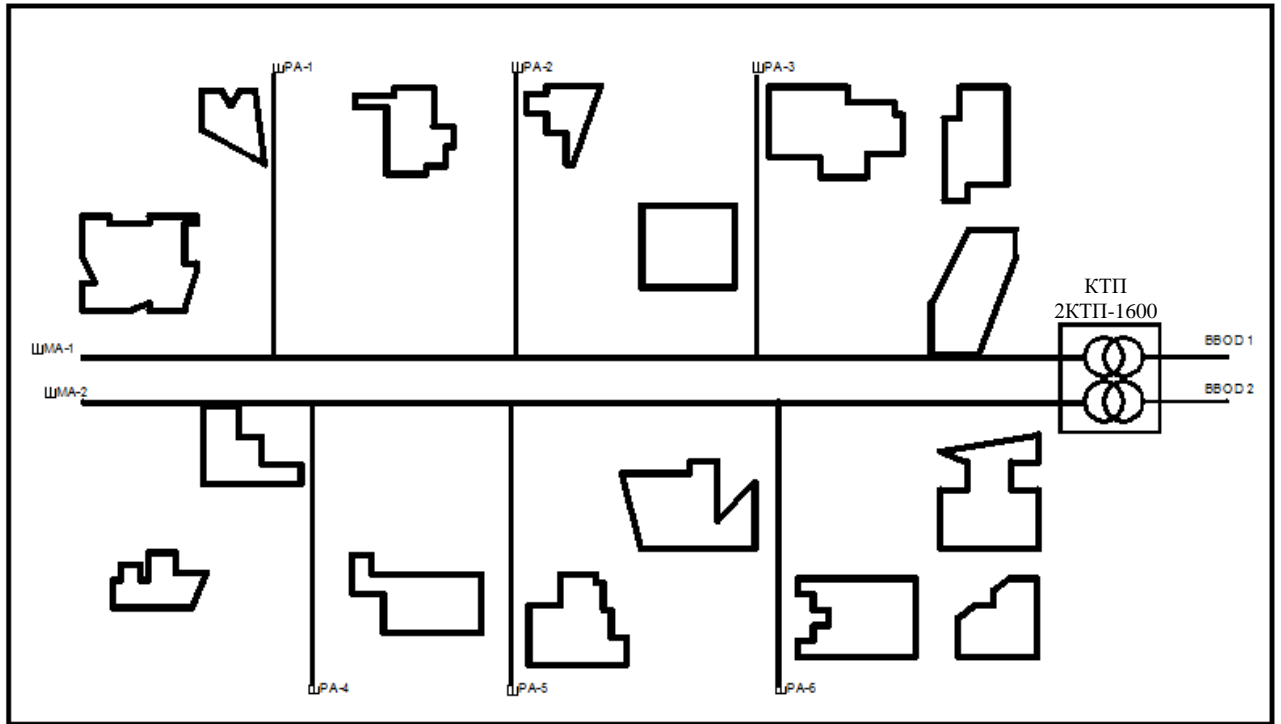


Рис. 1.1. Ситуаційний план цеху промисловості будівельних матеріалів

					ET та EE 4815.314.000 ПЗ	Лист
Вим.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

2. ЕЛЕКТРИЧНІ РОЗРАХУНКИ

2.1. Розрахунок електричних навантажень від силових і освітлювальних електроприймачів

Розрахунок очікуваних електричних навантажень у даному проєкті виконується відповідно до вимог нормативного документа «Вказівки з розрахунку електричних навантажень» РТМ 36.18.32.4-92, чинного з січня 1993 року. Зазначений документ регламентує порядок визначення розрахункових навантажень промислових електроприймачів і широко застосовується при проєктуванні систем електропостачання.

Для визначення розрахункових навантажень у проєкті використано метод упорядкованих діаграм, який на сучасному етапі є основним і найбільш обґрунтованим методом при проєктуванні систем електропостачання на технічній та робочій стадіях. Застосування цього методу дозволяє врахувати нерівномірність роботи електроприймачів, різний характер їхніх режимів навантаження та ймовірнісні особливості споживання електричної енергії.

Відповідно до методу упорядкованих діаграм розрахункове активне навантаження електроприймачів на всіх рівнях живильних і розподільних мереж, у тому числі для трансформаторів, перетворювальних пристроїв та розподільчих пунктів, визначається на основі середнього навантаження та коефіцієнта розрахункового навантаження за залежністю (1):

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

Розрахунковий коефіцієнт навантаження K_p , визначаємо за таблицею П.5. методичних вказівок до виконання дипломного проекту бакалавра, як функцію n_e та $K_{в гр.взв}$ (ефективного числа ЕП та групового коефіцієнта використання):

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

Визначення величин очікуваних електричних навантажень здійснюється відповідно до методики, наведеної у нормативному документі «Вказівки з розрахунку електричних навантажень» РТМ 36.18.32.4-92, введеному в дію з січня 1993 року. Зазначена методика регламентує порядок визначення розрахункових навантажень промислових електроприймачів і широко застосовується при проєктуванні систем електропостачання.

У розрахунках використано метод упорядкованих діаграм, який на сучасному етапі є основним при розробці технічних і робочих проєктів електропостачання, оскільки дозволяє врахувати нерівномірність роботи електроприймачів та особливості їх експлуатаційних режимів.

Для електродвигунів, що працюють у повторно-короткочасному режимі (ПКР), приведення паспортної потужності до еквівалентної потужності тривалого режиму роботи (ПВ = 100 %) здійснюється за залежностями (3)–(4):

									Лист
Вим.	Лист	№ документа	Підпис	Дата					

ЕТ та ЕЕ 4815.314.000 ПЗ

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

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

Дані сумуються:

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

де m – число характерних груп ЕП.

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

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

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

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

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

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

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

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

Визначаємо середньозважений (груповий) коефіцієнт використання:

$$K_{в.гр.} = \frac{\sum_{i=1}^m P_{см_i}}{\sum_{i=1}^m P_{H_i}} \quad (10)$$

Визначення ефективного числа ЕП

На формування абсолютного максимуму групового графіка навантаження, що є вихідною величиною, за якої вибирають параметри елементів СЕП по нагріванню, впливає ряд випадкових величин: число ЕП в розрахунковому вузлі, їх номінальні потужності, режим роботи ЕП і ряд інших випадкових величин.

Для спрощення методики визначення розрахункового максимуму навантаження вводять поняття ефективного числа ЕП, $n_{ЕФ}$. Ефективним числом ЕП називається таке число однакових за встановленою потужністю і однакових по режиму роботи ЕП, які формують той же розрахунковий

									Лист
Вим.	Лист	№ документа	Підпис	Дата	ЕТ та ЕЕ 4815.314.000 ПЗ				

максимум навантаження, що і дійсне число ЕП, n_d , різних за встановленою потужністю і режимом роботи.

Ефективне число ЕП по всьому вузлу навантаження (а не по кожній характерній групі ЕП) визначають 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.

Визначення коефіцієнта розрахункового навантаження K_p

Залежно від середньозваженого (групового) значення коефіцієнта використання $K_{в,зр}$ та ефективного числа електроприймачів n_{ef} за табличними даними [П. 4.2] визначається коефіцієнт розрахункового навантаження K_p .

Під активним розрахунковим максимальним навантаженням розуміють таке постійне за величиною навантаження, яке за своїм тепловим впливом на елементи системи електропостачання є еквівалентним дійсному навантаженню, що змінюється в часі та має найбільш несприятливий режим роботи.

Активне розрахункове навантаження групи електроприймачів напругою до 1 кВ визначається за виразом

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

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

									Лист
Вим.	Лист	№ документа	Підпис	Дата	ЕТ та ЕЕ 4815.314.000 ПЗ				

Розрахунок електричних навантажень від освітлювальних електроприймачів.

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

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

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

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:

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

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

Результати розрахунку зводимо в таблицю 2.1.

Правильність розрахунку очікуваних електричних навантажень перевірена за допомогою комп'ютерної програми на базі обчислювального центру кафедри «Електротехніки та електроенергетики».

1. Згідно з вихідними даними (табл. П.2. [2]) електроприймачі цеху класифікують за характерними групами (з однаковим коефіцієнтом використання $K_{в}$ та коефіцієнтом активної потужності $\cos \varphi$).

2. Наводимо паспортні дані окремих груп ЕП, що працюють в ПКР (зварювальні машини шовного зварювання і підйомно-транспортне обладнання), до номінальної потужності в кВт за виразами (18)-(19):

$$P_H = P_{насп} \cdot \sqrt{ПВ} = 300 \cdot \sqrt{0,25} = 150, \text{ кВт} \quad (18)$$

$$P_H = S_H \cdot \cos \varphi = 500 \cdot 0,35 = 275 \text{ кВт} \quad (19)$$

та заносимо ці значення у відповідну колонку табл.2.1.

3. Підсумовуємо встановлені потужності вузла:

$$P_{H_{\Sigma}} = 2000 + 750 + 200 + 350 + 150 + 727,32 + 275 + 280 = 4732,32, \text{ кВт}$$

									Лист
Вим.	Лист	№ документа	Підпис	Дата					

ЕТ та ЕЕ 4815.314.000 ПЗ

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

$$P_{cm_1} = P_{n_1} \cdot K_{n_1} = 2000 \cdot 0,4 = 800, \text{ кВт} \quad (20)$$

$$Q_{cm_1} = P_{cm_1} \cdot \operatorname{tg} \varphi_1 = 800 \cdot 1,17 = 935,30, \text{ квар} \quad (21)$$

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.

5. Підсумовуємо середньозмінні навантаження по вузлу:

$$P_{cm\Sigma} = 800 + 600 + 140 + 245 + 27 + 130,92 + 82,50 + 168 = 2193,42, \text{ кВт}$$

$$Q_{cm\Sigma} = 935,30 + 450 + 105 + 183,75 + 53,58 + 259,81 + 220,81 + 171,39 = 2379,64, \text{ квар}$$

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

$$K_{в.зр.} = \frac{\sum_{i=1}^m P_{cm_i}}{\sum_{i=1}^m P_{n_i}} = \frac{2193,42}{4732,32} = 0,46 \quad (22)$$

7. Визначаємо ефективне число ЕП:

$$N_{ef} = \frac{\left[\sum_{i=1}^m P_{ni} \right]^2}{\sum_1^n P_{ном}^2} = 78,08, \quad (23)$$

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:

$$P_p = \kappa_p \cdot \sum_{i=1}^m P_{ni} = 0,72 \cdot 2193,42 = 1579,26, \text{ кВт} \quad (24)$$

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

$$Q_p = \sum_{i=1}^m Q_{cm_i} = 2379,64, \text{ квар} \quad (25)$$

					ЕТ та ЕЕ 4815.314.000 ПЗ	Лист
Вим.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

11. Повне розрахункове силове навантаження по вузлу дорівнює:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{1579,26^2 + 2379,64^2} = 2856,01 \text{ , кВА} \quad (26)$$

12. Визначення встановленої потужності освітлювальних ЕП:

$$P_{н.о.} = P_{уд.о.} \cdot F \cdot 10^{-3} = 20 \cdot 9000 \cdot 10^{-3} = 180 \text{ кВт} \quad (27)$$

13. Визначення розрахункового навантаження від освітлювальних ЕП

$$P_{р.о.} = P_{н.о.} \cdot K_{с.о.} \cdot K_{пра} = 180 \cdot 0,95 \cdot 1,1 = 188,10 \text{ , кВт} \quad (28)$$

$$Q_{р.о.} = P_{р.о.} \cdot \operatorname{tg} \varphi = 188,10 \cdot 0,33 = 61,83 \text{ , квар} \quad (29)$$

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

					ЕТ та ЕЕ 4815.314.000 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		Номинальна потужність характерних груп ЕП	Коефіцієнт вик. Кв	cos w	tg w	Середньозмінне навантаження за найбільш завантаженою зміну		Ефективне число ЕП, пє	Коефіцієнт розрахункового навантаження Кр	Розрахунковий максимум навантаження			Розрахунковий струм, Ір, А
			Одного ЕП Рн min/Рн max, кВт	Загальна Рпасп, кВт					Рном, кВт	Рсм, кВт			Qсм, квар	Pr, кВт	Qr, квар	
1	Шламові живильники	300	3 80	2000	2000,00	0,4	0,65	1,17	800,00	935,30						
2	Цементні мельниці	120	1 20	750	750,00	0,8	0,8	0,75	600,00	450,00						
3	Вентилятори	50	1 10	200	200,00	0,7	0,8	0,75	140,00	105,00						
4	Насоси, компресори	40	0,5 40	350	350,00	0,7	0,8	0,75	245,00	183,75						
5	Крани, тельфери ПВ = 25%	35	2 40	300	150,00	0,18	0,45	1,98	27,00	53,58						
6	Крани, тельфери ПВ = 40%	50	10 80	1150	727,32	0,18	0,45	1,98	130,92	259,81						
7	Зварювальні машини шовного зварювання, кВА	30	10 40	500	275,00	0,3	0,35	2,68	82,50	220,81						
8	Елеватори, конвеєри зблоковані	30	3 20	280	280,00	0,6	0,7	1,02	168,00	171,39						
9	Разом силові ЕП				4732,32	0,46			2193,42	2379,64	473,23	0,72	1579,26	2379,64	2856,01	
10	Освітлювальні ЕП (площа цеху), м2	9000			180,00	0,95	0,95	0,33					188,10	61,83	198,00	
11	Всього по цеху												1767,36	2441,47	3014,02	4584,76

ЕТ ма ЕЕ 4815.314.000 ПЗ

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

Сумарна розрахункова потужність компенсуювальних конденсаторних установок (ККУ) напругою до 1 кВ визначається за умовою мінімуму приведених витрат і виконується у два послідовні розрахункові етапи:

– перший етап – вибір економічно оптимального числа трансформаторів цехових трансформаторних підстанцій (ТП), тобто визначення необхідної потужності ККУ напругою 0,38 кВ, яка забезпечує оптимальне завантаження трансформаторів. Відповідна потужність компенсації позначається $Q_{нк1}$, квар;

– другий етап – визначення додаткової потужності ККУ напругою 0,38 кВ з метою оптимального зниження втрат електричної енергії в трансформаторах цехових ТП та в живильних мережах напругою вище 1 кВ. Ця складова компенсації, позначена $Q_{нк2}$, обумовлена перетіканням реактивної потужності через цехові трансформаторні підстанції.

Таким чином, сумарна реактивна потужність компенсуювальних конденсаторних установок напругою 0,38 кВ визначається як

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

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 4815.314.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

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

Процес визначення кількості та номінальної потужності трансформаторів для виробничого цеху здійснюється паралельно з підбором пристроїв компенсації реактивної потужності. Такий підхід дозволяє забезпечити економічно доцільне завантаження трансформаторів, зменшення перетоків реактивної потужності та мінімізацію втрат електричної енергії в елементах системи електропостачання.

Вибір кількості та потужності цехових трансформаторів ґрунтується на результатах техніко-економічного аналізу з урахуванням питомої щільності електричного навантаження, величини розрахункового активного навантаження, режимів роботи електроприймачів, вимог до надійності електропостачання, а також інших факторів, визначених технічним завданням і умовами проектування.

Розрахунок номінальної потужності цехових трансформаторів виконується відповідно до значення питомої щільності електричного навантаження виробничого цеху за залежністю:

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

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 – $\beta = 0,9 - 0,95$.

Електроприймачі 1-ї категорії повинні живитися від двох незалежних джерел живлення (ДЖ). Допустима короткочасна перерва електропостачання обмежується лише часом спрацювання автоматичного включення резерву (АВР).

Електроприймачі 2-ї категорії також забезпечуються двома незалежними джерелами живлення, проте тут допускається перерва на час ручного перемикавання на резервне джерело.

Для обох категорій доцільним є застосування однострансформаторних цехових трансформаторних підстанцій на напругу 10–6/0,4–0,23 кВ за умови

									Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата	ЕТ та ЕЕ 4815.314.000 ПЗ				

наявності резервного живлення через перемички низьковольтної сторони, які здатні забезпечувати живлення критичних споживачів.

Однотрансформаторна конфігурація дозволяє розташувати підстанцію максимально близько до центру електричних навантажень, що зменшує довжину ліній електропередачі, знижує втрати електроенергії та скорочує витрати на прокладання мережі. Водночас, у випадках високої щільності навантажень або переважання споживачів 1-ї категорії, доцільним є використання двотрансформаторних підстанцій.

Електроприймачі напругою до 1 кВ зазвичай споживають значну реактивну потужність та часто розташовані на декілька рівнів трансформації від основних джерел. Це призводить до додаткових витрат: збільшення перерізів кабельно-провідникових ліній, зростання потужності або кількості цехових трансформаторів, а також підвищення втрат у мережі.

Для мінімізації цих витрат доцільно передбачити установку компенсуючих пристроїв (КП) безпосередньо в мережі до 1 кВ. Як джерела реактивної потужності застосовуються комплектні конденсаторні установки (ККУ) поперечного включення.

Нескомпенсовані залишки реактивної потужності покриваються за рахунок перетікання з шин вищої напруги (понад 1 кВ). Оптимальне співвідношення між локально генерованою реактивною потужністю в мережі до 1 кВ та потужністю, що передається з вищих рівнів напруги, визначається на підставі техніко-економічного аналізу.

Порядок вибору числа цехових трансформаторів полягає в наступному. Для кожної технологічно концентрованої групи цехових трансформаторів однакової потужності мінімальне число трансформаторів, необхідне для живлення активного максимального розрахункового навантаження, визначається 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.

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:

									Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата	ЕТ та ЕЕ 4815.314.000 ПЗ				

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

де m – додаткове число трансформаторів, яке визначається по кривих, рис. 4.7. [1] в залежності від $N_{m.min}$ 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: $KП - 0,38 \text{ кВ}$, $KП-6(10)\text{кВ}$, цехові $ТП$.

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

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

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

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 $Q'_{HK1.CIP}$ табл.9.2. [1].

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

$$Q''_{HK1.CIP} = N_{opt} \cdot Q'_{HK1.CIP}, \text{ квар} \quad (38)$$

Нескомпенсована реактивна потужність в мережі до 1 кВ становитиме:

$$Q_{неск} = (Q_p + Q_{p.o.}) - Q''_{HK1.CIP}, \text{ квар} \quad (39)$$

					<i>ET та EE 4815.314.000 ПЗ</i>	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:

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

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:

$$K_2 = \frac{L \cdot S_{HT}}{F} \quad (42)$$

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.

Виходячи з результатів розрахунків електричних навантажень напругою до 1 кВ, маємо навантаження (силове та освітлювальне):

					ET та EE 4815.314.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

$$P_{p\Sigma} = 1767,36 \text{ кВт},$$

$$Q_{p\Sigma} = 2441,47 \text{ квар}$$

1. Вибираємо з шкали встановлених потужностей цехових трансформаторів одиничну потужність $S_{н.тр} = 1600 \text{ кВА}$.

2. Мінімальне число трансформаторів:

$$N_{т.мін} = \frac{P_{р.с.} + P_{р.о.}}{\beta \cdot S_{н.тр.}} + \Delta N = \frac{1767,36}{0,7 \cdot 1600} = 1,578 + 0,022 = 2 \text{ шт} \quad (43)$$

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 $N_{опт} = N_{т.мін} = 2 \text{ шт}$

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

$$Q_m = \sqrt{(\beta \cdot N_{опт} \cdot S_{н.тр})^2 - (P_p + P_{р.о.})^2} = \sqrt{(0,7 \cdot 2 \cdot 1600)^2 - 1767,36^2} = 1376,24 \text{ квар} \quad (45)$$

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

$$Q_{нк} = Q_{p\Sigma} - Q_m = 2441,47 - 1376,24 = 1065,23 \text{ квар} \quad (46)$$

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

$$Q'_{нк1} = \frac{Q_{нк}}{N_{опт}} = \frac{1065,23}{2} = 532,61 \text{ квар} \quad (47)$$

по цій величині вибираємо з табл. 9.2. [1] типорозмір ККУ-0,38 кВ: ККУ-0,38-525-25

Тоді сумарна потужність встановлених в цеху комплектних конденсаторних установок складе:

$$Q''_{НК1.СПР} = N_{опт} \cdot Q'_{НК1.СПР} = 2 \cdot 525 = 1050 \text{ квар} \quad (48)$$

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

					<i>ET та EE 4815.314.000 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

$$Q_{\text{кільк}} = (Q_p + Q_{p.o.}) - Q''_{\text{НК1.СПР}} = 2441,47 - 1050 = 1391,47 \text{ квар} \quad (49)$$

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

$$Q_{\text{НК2}} = Q_{\text{кільк}} - \gamma \cdot N_{\text{ТЕ}} \cdot S_{\text{НТ}} = 1391,47 - 0,44 \cdot 2 \cdot 1600 = -16,53, \text{ квар} \quad (50)$$

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

					<i>ЕТ та ЕЕ 4815.314.000 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

2.3. Розміщення цехових трансформаторів на площі цеху

Розміщення трансформаторів у межах цеху визначається комплексом чинників, серед яких: щільність електричних навантажень, конфігурація та розташування технологічного обладнання, можливість встановлення компенсуючих пристроїв безпосередньо в цеху, а також мікрокліматичні умови, що формуються специфікою виробничого процесу, зокрема наявністю пилу, вологи та агресивних речовин.

На основі досвіду проектування, монтажу та експлуатації трансформаторних підстанцій, а також результатів теоретичних досліджень, рекомендується застосування комплектних трансформаторних підстанцій (КТП) з індустріальним монтажем, які є незалежними від будівельної інфраструктури. Максимальне наближення КТП до центрів електричних навантажень дозволяє не лише зменшити витрати металу на кабельну продукцію, а й знизити втрати електроенергії у внутрішньоцехових мережах, що позитивно впливає на енергоефективність підприємства.

Розподіл потужності між декількома підстанціями з наближенням до споживачів створює основу для енергоощадної експлуатації системи електропостачання. Такий підхід дозволяє оптимізувати схему мережі, зменшити довжину кабельних ліній та уникнути перевантаження окремих ділянок. Параметри КТП – місце розташування, кількість і номінальна потужність трансформаторів – повинні відповідати розрахунковому електричному навантаженню, вимогам до безперебійності живлення, а також умовам навколишнього середовища.

Вибір типу розташування трансформаторної підстанції залежить від виробничих і будівельно-технологічних обмежень. Підстанції можуть бути вбудованими, інтегрованими в конструкції цеху; цеховими, розташованими всередині виробничого приміщення; прибудованими, окремо збудованими, але примикаючими до цеху; або окремо розташованими, що забезпечує більшу гнучкість у плануванні та доступ до технічного обслуговування.

Для проектного цеху підприємства будівельної галузі, що функціонує в умовах агресивного середовища та високої запиленості, прийнято рішення про встановлення прибудованої КТП. Така конфігурація забезпечує надійний доступ для обслуговування, полегшує встановлення та підключення компенсуючих пристроїв, а також дозволяє швидко реагувати на аварійні ситуації.

Крім того, при плануванні розташування КТП враховується потреба у резервуванні електропостачання, що дозволяє забезпечити безперебійну роботу критичних електроприймачів цеху. Оптимальне компонування трансформаторів і кабельних трас забезпечує баланс між економічними витратами, експлуатаційною надійністю та технічною безпекою системи електропостачання.

					ET ma EE 4815.314.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

2.4. Вибір схеми живлення цехових трансформаторів

Для забезпечення резервного живлення у разі відключення одного з трансформаторів доцільно передбачити перемички у мережах низької напруги. Їх пропускна здатність повинна становити 20–30 % номінальної потужності трансформатора при виконанні кабелем і до 60 % при використанні шинопроводу.

У зв'язку з високою питомою щільністю електричного навантаження в цеху (4,02 кВА/м²) та наявністю споживачів 1-ї категорії за надійністю електропостачання, у проєкті обрана двохтрансформаторна конфігурація комплектної трансформаторної підстанції (КТП). Потужність кожного трансформатора визначена з урахуванням допустимих перевантажень відповідно до вимог ГОСТ 14209–85.

Схема живлення силового та освітлювального навантаження, реалізована на основі двохтрансформаторної КТП, представлена на рис. 2.1.

У складі цехових трансформаторних підстанцій застосовуються трифазні трансформатори напругою 6–10 кВ із природним охолодженням. Як робоче середовище використовуються мінеральне масло або негорюча рідина типу Совтол, а також можливе застосування сухих трансформаторів із природним повітряним охолодженням. Для комплектних підстанцій перевага надається трансформаторам закритого типу (ТМЗ, ТНЗ, ТСЗ) з герметичним кожухом та азотною подушкою, що забезпечує безпечну експлуатацію всередині виробничих приміщень.

Рекомендована схема з'єднання обмоток – Δ/Y_0-11 , яка має менший опір нульової послідовності порівняно з поширеною Y/Y_0-0 , що підвищує ефективність релейного захисту при однофазних коротких замиканнях.

					ЕТ та ЕЕ 4815.314.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

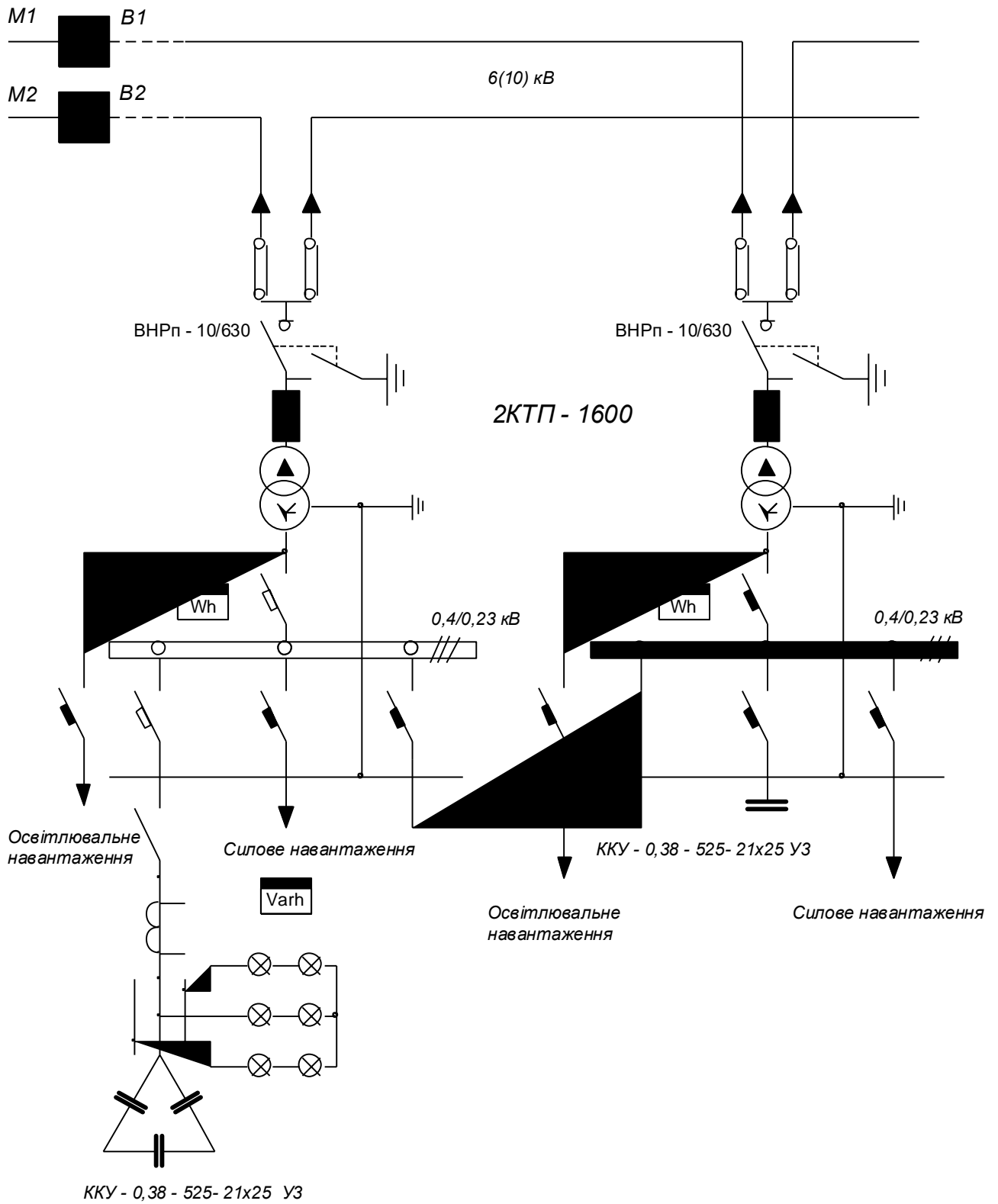


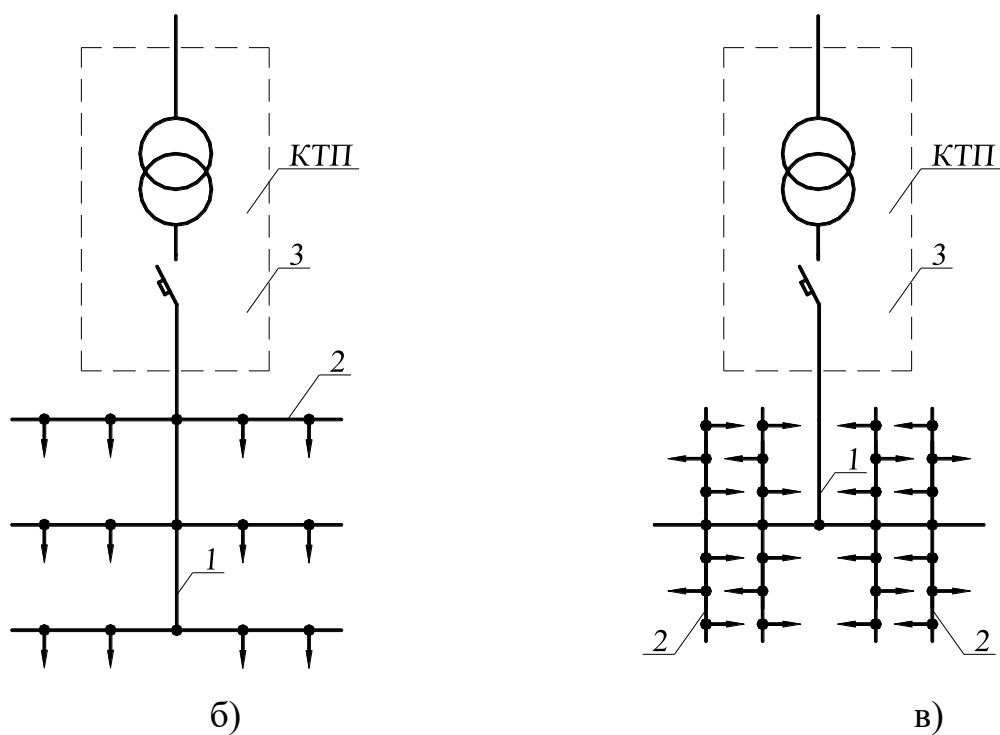
Рис. 2.1. Схема спільного живлення силового та освітлювального навантаження від КТП з КРМ в мережі до 1 кВ.

					ET та EE 4815.314.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

2.5. Вибір схеми внутрішньоцеховий мережі напругою до 1 кВ

Конфігурація живлення цехових трансформаторів визначається їхньою кількістю, просторовим розташуванням у межах виробничого приміщення та категорійністю навантажень, які вони обслуговують. Відповідно до сучасних нормативних документів, таких як ДСТУ EN 60204-1 «Безпека машин. Електрообладнання машин» та ДСТУ Б В.2.5-38-2009 «Електропостачання промислових підприємств», для цехових потреб рекомендується застосування подвійної наскрізної магістральної схеми живлення.

Для трансформаторів потужністю 1600–2500 кВА доцільно передбачати встановлення 2–3 одиниць в межах однієї магістралі, а для трансформаторів меншої потужності – 3–4 одиниці. У разі застосування двох трансформаторів оптимальним є живлення за радіальними лініями, що забезпечує простоту схеми та можливість селективного відключення при аварійних ситуаціях.



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

					ET та EE 4815.314.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

У сучасних підходах до проектування систем живлення мереж напругою до 1 кВ, особливо при розміщенні трансформаторних підстанцій безпосередньо в центрах електричних навантажень, набирає популярності схема типу БТМ (блок «трансформатор – магістраль»). Цей варіант реалізує поєднання живлення споживачів через блочну систему, яка забезпечує щільне територіальне розташування трансформатора та низьковольтної магістралі (рис. 2.2).

Виконана за схемою БТМ внутріцехова мережа спрощується, що дозволяє комплектній трансформаторній підстанції (КТП) функціонувати без розподільного пристрою низької напруги (РПНН). В такому випадку від трансформатора КТП відходить магістральний шинопровід (ШМА), призначений для передачі електроенергії декільком розподільним шинопровадам (ШРА) або групам електроприймачів.

Схеми БТМ широко застосовуються для живлення внутріцехових мереж механічних цехів машинобудівних підприємств із потоковим виробництвом, оскільки вони забезпечують компактність, зручність у монтажі та експлуатації, а також зменшують довжину кабельних трас і втрати електроенергії.

За своєю структурою внутрішньоцехові мережі можуть бути:

- радіальними (рис. 2.3) – від трансформатора йде окрема лінія до кожної групи споживачів;
- магістральними (рис. 2.4) – живлення здійснюється через одну або декілька магістралей із відгалуженнями до споживачів;
- змішаними (рис. 2.5) – поєднують елементи радіальної та магістральної схем, що дозволяє оптимізувати баланс між надійністю та економічністю мережі.

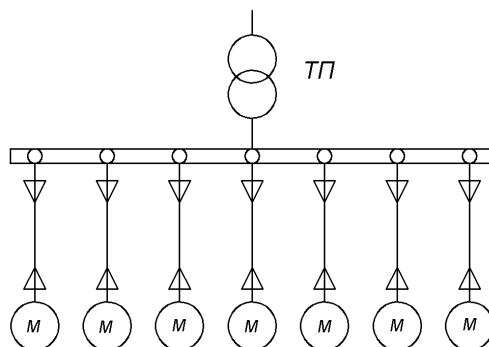


Рис. 2.3. Радіальна схема живлення ЕП

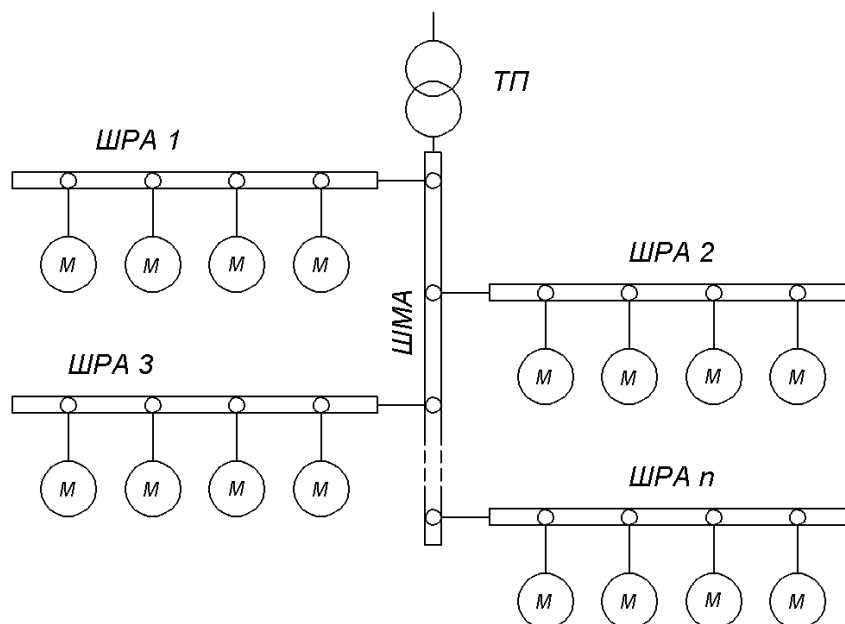


Рис. 2.4. Магістральна схема живлення

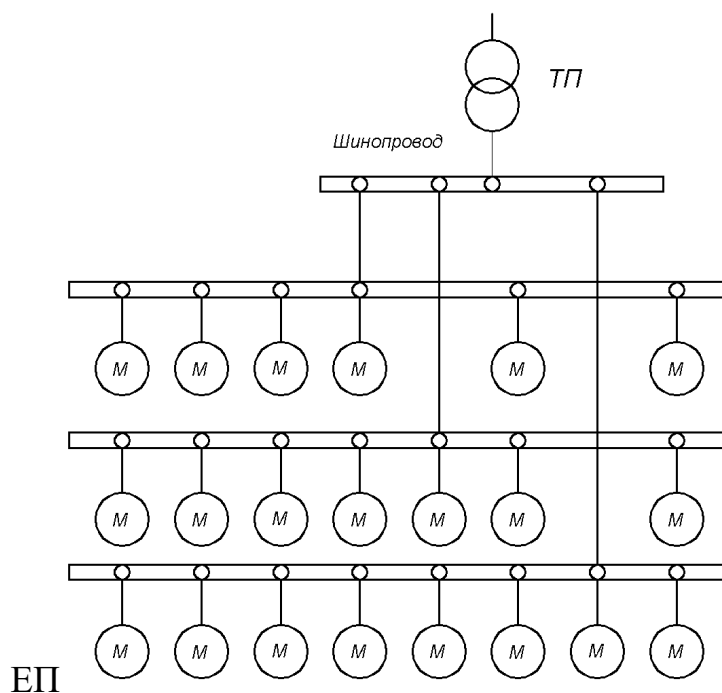


Рис. 2.5. Змішана схема живлення ЕП

При радіальній схемі живлення низьковольтні електроприймачі (ЕП НН) отримують електроенергію від окремих ліній, що відходять від розподільного пристрою низької напруги (РПНН) трансформаторної підстанції (ТП). Такий тип схем застосовується для зосереджених або нерівномірно розподілених навантажень, а також у вибухо- та пожежонебезпечних приміщеннях, насосних та компресорних станціях. Радіальні лінії зазвичай виконуються ізольованими проводами або кабелями.

					ЕТ та ЕЕ 4815.314.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Переваги радіальної схеми:

– висока надійність: відмова однієї лінії не впливає на роботу інших електроприймачів.

Недоліки:

- підвищені капітальні витрати на струмопровідні елементи;
- збільшення кількості комутаційної та захисної апаратури;
- ускладнення застосування індустриальних методів монтажу.

Магістральні схеми доцільно застосовувати при рівномірному розподілі навантажень на площі цеху або для групових електроприймачів, що обслуговують одну технологічну лінію. В такій конфігурації одна живильна магістраль забезпечує живлення декількох розподільних шаф та основних ЕП.

Переваги магістральної схеми:

- можливість використання шинопроводів і реалізації індустриального монтажу;
- зручне підключення електроприймачів у будь-якій точці розподільного шинопроводу.

Недоліки:

- нижча надійність: у разі аварії на магістралі припиняється живлення всієї групи споживачів;
- потреба у додаткових заходах резервування.

Надійність магістральних схем може бути значно підвищена за рахунок впровадження резервних перемичок між сусідніми магістралями.

У практиці експлуатації найбільш поширені змішані схеми, що враховують особливості виробничого процесу, просторову організацію електрообладнання та умови середовища. Наприклад, у механічних цехах машинобудування, де застосовується блочна схема «трансформатор – магістраль», живлення здійснюється через магістральні шинопроводи з підключенням розподільних штепсельних ліній, від яких радіальними відводами живляться електроприймачі. Для певних зон цеху передбачаються розподільні пункти, підключені до найближчих шинопроводів.

У галузях, таких як прокатне, ковальське та ливарне виробництво, структура електропостачання також базується на живленні від розподільних пунктів.

У межах даного проекту обрана магістральна схема живлення з резервними перемичками між розподільними шинопроводами, що дозволяє досягти оптимального балансу між надійністю та технологічною гнучкістю внутрішньоцехової системи електропостачання.

					<i>ET та EE 4815.314.000 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

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

У процесі експлуатації внутрішньоцехових електричних мереж можливі порушення нормального режиму роботи, зокрема перевантаження та короткі замикання, що супроводжуються різким зростанням струму в провідниках. Для забезпечення надійної та безпечної роботи системи необхідне впровадження засобів захисту, здатних оперативно відключити пошкоджену ділянку з мінімальною затримкою.

У таких системах застосовуються:

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

Порівняно із запобіжниками, автоматичні вимикачі мають ряд переваг:

- більшу стійкість до перевантажень;
- здатність одночасно відключати всі три фази, що виключає ризик роботи електроприймачів у аварійному (неповнофазному) режимі;
- багаторазовість дії, що робить їх придатними для реалізації схем автоматичного повторного включення (АПВ) та автоматичного введення резерву (АВР).

Завдяки цим властивостям автомати широко застосовуються в мережах змінного струму напругою до 660 В.

Захисна дія автоматичних вимикачів реалізується через вбудовані релейні пристрої – расцеплювачі, які залежно від конструкції забезпечують:

- струмове відсічення – миттєве відключення при короткому замиканні;
- максимальний струмовий захист – з витримкою часу для відключення перевантажень.

Ці функції реалізуються за допомогою електромагнітних реле прямої дії з відповідним часовим налаштуванням. Для забезпечення надійного спрацьовування при коротких замиканнях та перевантаженнях максимальні расцеплювачі автоматів оснащуються витримкою часу у вигляді годинникового механізму.

Регулювання уповільнення здійснюється за допомогою сповільнювача расцеплювача – механізму, що формує незалежну витримку часу, яка може бути встановлена в межах 0,2–0,4 с або 0,4–0,6 с, залежно від режиму роботи мережі та характеристик навантаження.

Автомати вибирають з дотриманням таких вимог:

$$U_{a.ном} > U_{ном.с}$$

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

									Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата	ЕТ та ЕЕ 4815.314.000 ПЗ				

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

$$I_{розч.ном} \geq I_{розч.мах}$$

де $I_{розч.ном}$ – номінальний ток розчеплювача, А;
 $I_{розч.мах}$ – розрахунковий струм ділянки мережі, що захищається .

Для одиночних, захищених автоматом, двигунів:

$$I_{розр.мах} = I_{ном дв}$$

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

Уставка уповільненого спрацьовування регульованих розчеплювачів, що здійснюють захист від перевантаження $I_{уст п}$ обирається за виразом (51):

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

При виборі струму уставки миттєвого спрацьовування електромагнітного розчеплювача, що здійснює захист від к.з., $I_{уст к.з.}$, необхідно відстроїти від короткочасних перевантажень, що викликаються пуском (самопуском) 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:

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

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

- для режиму запуску невідключаємих самозапускаючихся двигунів:

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

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:

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

					<i>ET ma EE 4815.314.000 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

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

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

k_c – коефіцієнт попиту, $k_c < 1$.

Всі вибрані автомати перевіряють:

- по вимикаючій здібності:

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

- на чутливість захистів:

- при захисті автоматами з розчеплювачами уповільненої дії:

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

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

$I_{розч.ном}$ – номінальний струм розчеплювача уповільненого спрацювання, A .

– при захисті автоматами з розчеплювачами миттєвого спрацювання:

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

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

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

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

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:

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

					<i>ET та EE 4815.314.000 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Селективні автомати перевіряють на динамічну і термічну стійкість за виразами:

$$i_{\text{дин}} \geq i_y \quad (61)$$

$$B_{\text{К.дон.}} \geq I_{\text{П.О.}}^2 \cdot t_{\text{сраб}} \quad (62)$$

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

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

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

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

Здійсимо вибір параметрів і типів автоматів, виходячи з однолінійної схеми живлення споживачів цеху, представленої на аркуші графічної частини 2, де вказані місця розміщення автоматів та їх призначення.

Автомати QF_1-QF_3 захищають асинхронні двигуни з параметрами зазначеними в табл. П.3. (виходячи з умови завдання студент самостійно вибирає одиничну потужність АД). Двигуни встановлені в приміщенні з нормальним середовищем. Режим роботи двигунів визначається режимом роботи приводного механізму.

Автомати QF_4-QF_7 мають однакові параметри, так як забезпечують захист ЕП, підключених до розподільних шинопроводів ШРА1 - ШРА6, завантажених рівномірно.

Автомат QF_8 – ввідний, параметри якого визначаються встановленою потужністю трансформатора з урахуванням можливих перевантажень, допустимих ДСТУ 14209-85.

Автомат QF_9 – секційний, параметри якого визначаються за вступним автоматом.

Вибір параметрів автоматів безпосередньо у споживачів - починаємо з визначення номінальних струмів захищаних автоматами двигунів. Визначаємо (за довідником [3]) тип і потужність двигунів, а по ним - номінальні струми двигунів:

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

$$I_{\text{н.дов.}} = \frac{80}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,6 \cdot 0,91} = 270,1 \text{ А}; \quad (64)$$

Результати розрахунку заносимо в таблицю 2.2.

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

					ET та EE 4815.314.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

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

$$I_{\text{пуск}} = 6 \cdot 270,1 = 1620,6 \text{ A}; \quad (66)$$

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

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

$$I_{\text{н.розч.}} = \frac{270,1}{0,85} = 317,8 \text{ A}; \quad (68)$$

Обираємо розчеплювач з номінальним струмом $I_{\text{н.розч.}} = 400 \text{ A}$.

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

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

$$I_{\text{ср.ел.}} = 1,25 \cdot 1620,6 = 2025,75 \text{ A}.$$

Приймаємо уставку струму електромагнітного розчеплювача у відповідності з паспортними, час струмовими характеристиками $10 I_{\text{ном.}} = 4000 \text{ A}$.

Розраховуємо навантаження шинопровода ШРА-1.

Струм навантаження розподільного шинопроводу приймаємо рівним $\frac{1}{4}$ загального струму навантаження так як в даному проекті вважаємо навантаження 0,4 кВ рівномірно розподіленим по площі цеху. А значить, і струмові навантаження шинопроводів однаковими.

$$I_{\text{р.ШРА-1}} = \frac{I_{\text{р}}}{n_{\text{ШРА}}} = \frac{4584}{4} = 1146 \text{ A}; \quad (70)$$

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

$$I_{\text{нік}} = I_{\text{пуск.мак}} + \sum_1^{n-1} I_{\text{ном.дв.}} = 1620,6 + 1146 = 2766,6 \text{ A} \quad (71)$$

Обираємо номінальний струм електромагнітного розчеплювача з урахуванням теплового поправочного коефіцієнта:

$$I_{\text{н.розч.}} \geq I_{\text{р.ШРА-1}} = 1600 \text{ A} \quad (72)$$

					ET та EE 4815.314.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

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

$$1,25 \cdot I_{\text{нік}} \leq I_{\text{сер.ел.розр.}} = 1,25 \cdot 2766,6 = 3458,25 \quad (73)$$

Результати розрахунку заносимо в таблицю 2.2.

Вибір ввідного автоматичного вимикача здійснюється на основі встановленої потужності цехових трансформаторів з урахуванням можливого перевантаження в післяаварійному режимі. При цьому враховуються номінальна потужність трансформаторів, коефіцієнт їх перевантаження та особливості режимів роботи після аварії, що забезпечує надійне живлення цехових електроприймачів у критичних ситуаціях.

Відповідно до сучасних стандартів, таких як ДСТУ EN 60947-2 «Автоматичні вимикачі низьковольтні» та ДСТУ Б В.2.5-38-2009 «Електропостачання промислових підприємств», номінальний струм ввідного автомата визначається так, щоб забезпечити:

- захист від перевантажень і коротких замикань;
- допустимі тимчасові перевантаження трансформатора;
- можливість реалізації схем автоматичного резервування та введення резерву (АВР).

Такий підхід дозволяє гарантувати безпечну і стабільну роботу внутрішньоцехової електромережі, захист трансформаторів та електроприймачів від аварійних перевантажень, а також підтримку безперервного живлення при критичних навантаженнях.

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

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

$$\frac{I_{\text{нав}}}{0,9} \leq I_{\text{ном расц}} \quad (75)$$

$$3786 < 4000$$

Приймаємо до встановлення автомат ЕО25С, $I_{\text{н.а.}} = 4000 \text{ A}$.

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

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

Приймаємо до встановлення автомат типу ЕО25С, $I_{\text{н.ав.}} = 2500 \text{ A}$.

									Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата	ЕТ та ЕЕ 4815.314.000 ПЗ				

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:

$$I_{p \max} \leq I_{\text{трив доп}} \quad (77)$$

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

$I_{\text{трив доп}}$ – 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:

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

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:

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

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

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

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

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 $x_0 = 0,06$ Ом/км.

Вибираємо переріз кабелю по умові нагріву

$$I_{p \max} \leq I_{\text{дл доп}} \quad (83)$$

						Лист
					ET та EE 4815.314.000 ПЗ	
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

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

Обираємо 4-х жильний кабель типу АВВГ 3х150

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

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

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

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

Перевіряємо вибрані кабелі по втраті напруги:

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

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

де $I_{\text{р}}$ – розрахунковий струм;

l – довжина кабелю;

r_0, x_0 – питомі активний та індуктивний опри кабелю.

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

$0,05 \cdot U_{\text{н}}=19$ В

$0,3 < 19$

					ЕТ та ЕЕ 4815.314.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Таблиця 2.2.

Вибір автоматів та струмоведучих частин

Призначення автомата, № споживача на плані	Номінальна потужність	cos	Номінальний струм	Кратність пускового струму кп	Пусковий струм	Поправочний коефіцієнт	Іном/0,85	Номінальний струм розчеплювача	Кратність відключасмог о струму	Тип автомата	Марка і переріз СВЧ	Ідл доп
	Розрахункове навантаження		Розрахунковий струм		Піковий струм		Ір/0,85					
1	1	0,80	2,1	6	12,7	0,85	2,5	3	30	ВА 47-29	АВВГ (3x4)	38
2	40	0,60	111,3	6	667,8	0,85	130,9	160	1600	ВА 88-33	2 АВВГ (3x95)	2x165=330
3	80	0,50	270,1	6	1620,6	0,85	317,8	400	2800	ВА 88-35	2 АВВГ (3x185)	2x260=520
ШМА - ШРА			1146,2		2766,8	0,85	1348,5	1600	11200	АВМ20С	ШРА-73/2070 120x10	2070
КТП-ШМА			3407,4			0,9	3786,0	4000	18900	ЕО25С	2ШРА-73/2070 120x10	4140
Секційний на ШМА			2044,4			0,85	2405,2	2500	125000	ЕО25С	2ШРА-73/1320 80x8	2x1320=2640

ЕТ мо ЕЕ 4815.314.000 ПЗ

Лист

2.8 Розрахунок струмів короткого замикання в мережі до 1 кВ

Метою розрахунку струмів короткого замикання в електричних мережах напругою до 1 кВ є перевірка працездатності та надійності прийнятих захисних апаратів і струмопровідних елементів. Зокрема, виконується оцінка автоматичних вимикачів і шинопроводів на термічну та електродинамічну стійкість до дії струмів к. з., а також перевірка автоматів за граничною відключною здатністю і чутливістю захисту. Для контролю відключної здатності захисних апаратів визначається максимальне значення струму трифазного короткого замикання, тоді як для оцінки чутливості захисту розраховується мінімальний струм однофазного короткого замикання у найбільш електрично віддаленій від джерела живлення точці мережі.

Характерною особливістю розрахунків струмів короткого замикання в мережах до 1 кВ є те, що:

- розрахунки виконуються в іменованих одиницях;
- у розрахунковій схемі враховуються активні та індуктивні опори всіх елементів кола короткого замикання, зокрема кабельних і шинопровідних ліній, силових трансформаторів, струмових кіл автоматичних вимикачів, а також перехідних опорів контактів, контактних з'єднань і електричної дуги.

Під час визначення струмів короткого замикання допускається не враховувати вплив асинхронних електродвигунів, якщо їх сумарний номінальний струм не перевищує 10 % початкового значення періодичної складової струму короткого замикання, визначеного без урахування двигунів у відповідній точці мережі.

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

Розрахунок струмів короткого замикання виконується у такій послідовності:

- формується розрахункова схема електричної мережі (рис. 2.6), на якій зазначаються точки виникнення та напрямки струмів короткого замикання;
- на основі розрахункової схеми складається еквівалентна схема заміщення (рис. 2.7), у якій усі елементи мережі замінюються їх активними та індуктивними опорами;
- визначаються електричні параметри елементів мережі, зокрема опори прямої та нульової послідовностей, а також повний опір ланцюга «фаза–нуль»;
- за отриманими даними обчислюються значення струмів трифазного та однофазного короткого замикання у заданих характерних точках мережі.

Методика визначення струмів короткого замикання в електроустановках змінного струму напругою до 1 кВ відповідає вимогам ДСТУ EN 60909-0:2017 (EN 60909-0:2016, ІЕС 60909-0:2016) «Струми короткого замикання в трифазних системах змінного струму. Частина 0. Розрахунок струмів», який є чинним гармонізованим європейським стандартом та застосовується при проектуванні сучасних систем електропостачання.

									Лист	
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата	ET ma EE 4815.314.000 ПЗ					

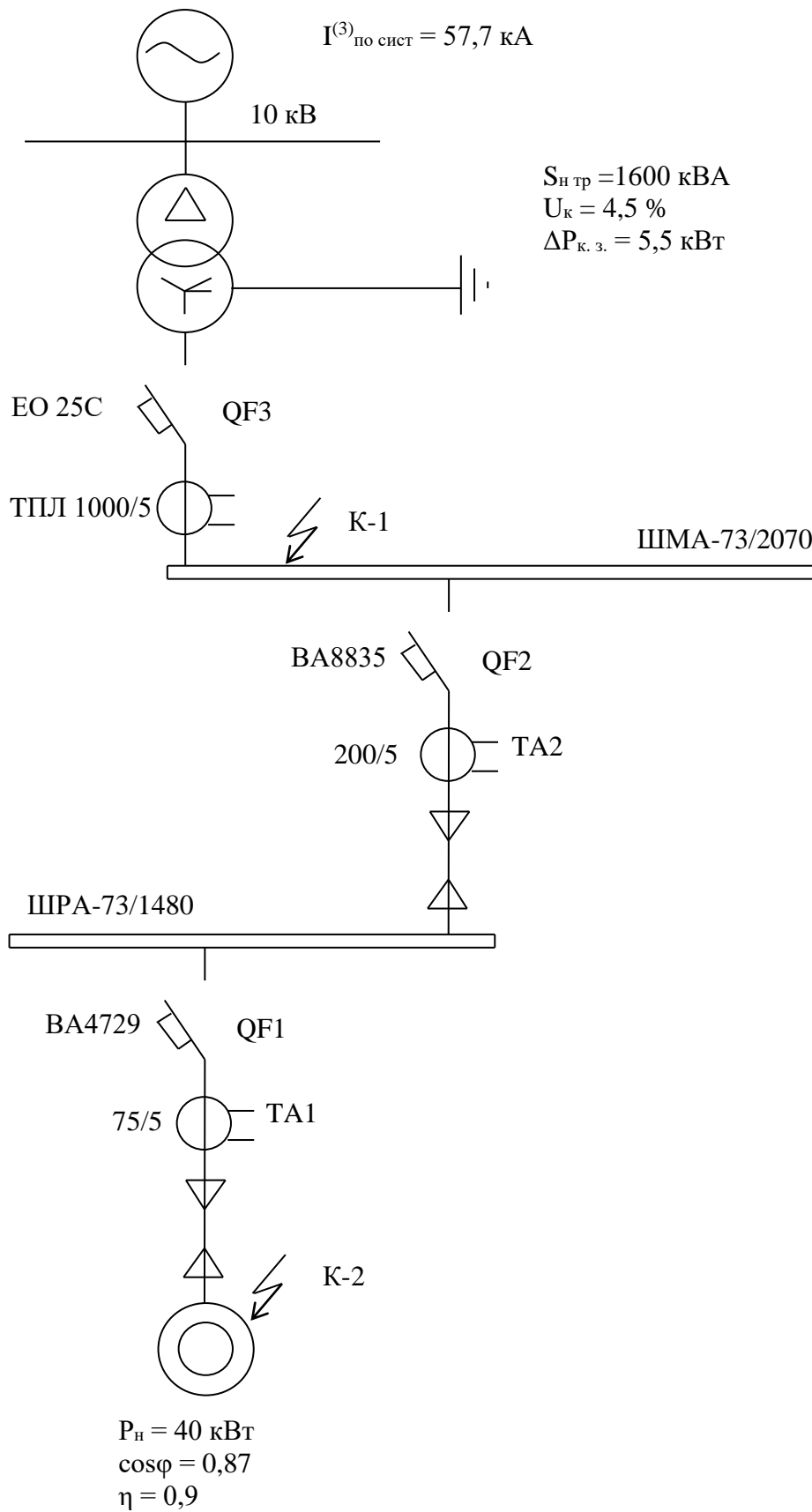


Рис. 2.6. Розрахункова схема

					<i>ET ma EE 4815.314.000 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

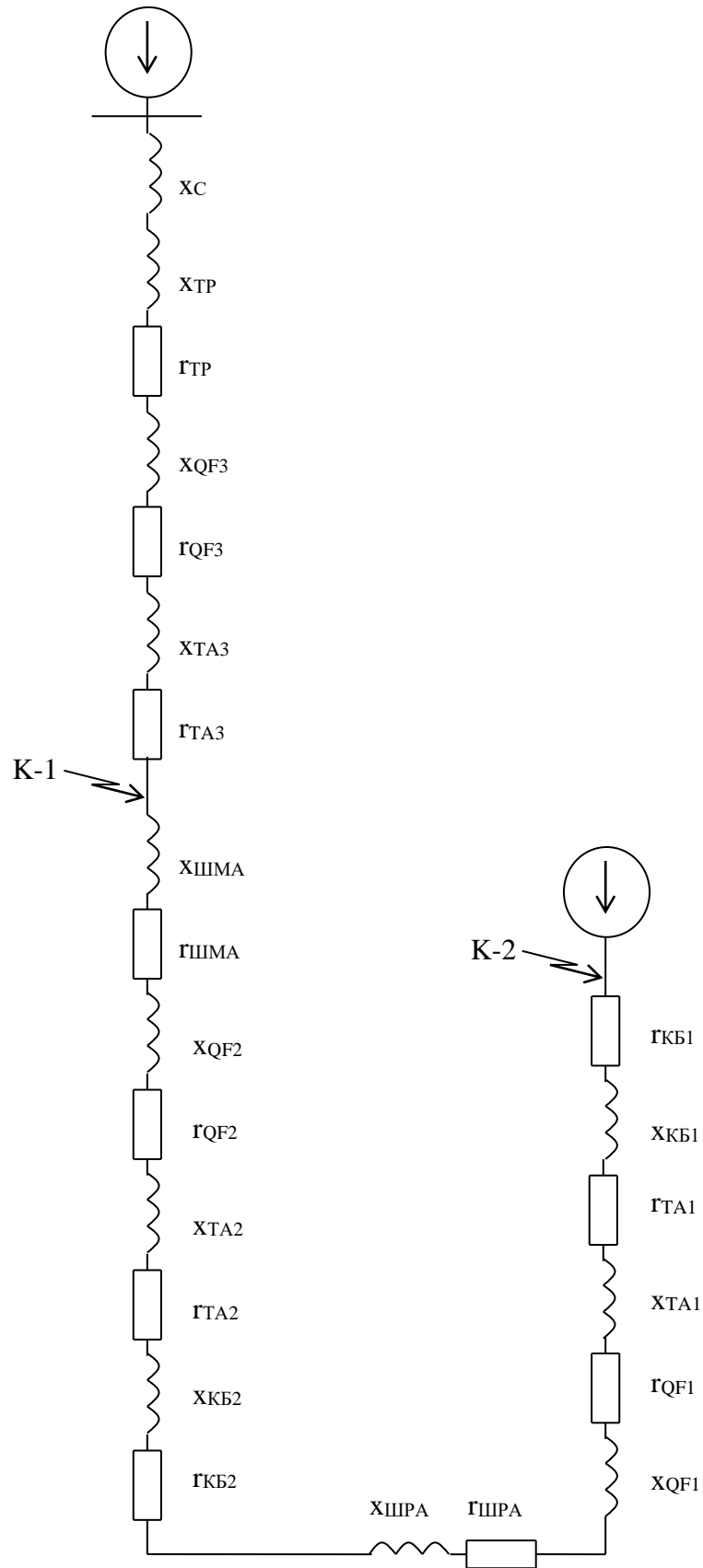


Рис. 2.7. Схема заміщення

Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата

ЕТ та ЕЕ 4815.314.000 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:

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

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

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

					ET та EE 4815.314.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

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

Для трансформатора ТСЗ-1600 $U_k = 5,5 \%$, $\Delta P_{к.з.} = 4,5 \text{ кВт}$.

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:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

						Лист
					<i>ET та EE 4815.314.000 ПЗ</i>	
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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$r_{0\Sigma} = 12,83 \text{ МОм};$$

$$x_{0\Sigma} = x_{0\tau} + x_{0\text{QF3}} + x_{0\text{ТА3}} + x_{0\text{ШМА}} + x_{0\text{QF2}} + x_{0\text{ТА2}} + x_{0\text{КБ2}} + x_{0\text{ШПРА}} + x_{0\text{ТА1}} +$$

$$+ x_{0\text{QF1}} + x_{0\text{КБ1}} = 21,65 + 0,08 + 4,8 + 0,35 \cdot 0,017 + 0,13 + 0,03 + 0,1 \cdot 0,025 +$$

$$+ 0,2 \cdot 0,17 + 0,02 + 2 + 0,1 \cdot 0,09 = 28,76 \text{ МОм};$$

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

Всі обрані автомати перевіряють:

- по відключаючій здатності:

$$I_{\text{пред.відкл}} \geq I_{\text{к.з.мах}}^{(3)}$$

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

- на чутливість захисту:

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

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

									Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата	ЕТ та ЕЕ 4815.314.000 ПЗ				

$I_{\text{розч.ном}}$ – 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 $I_{\text{ном а}} < 100$ А;

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

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

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 4815.314.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

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

Електрична енергія, що використовується для живлення електроприймачів, повинна відповідати встановленим показникам якості, від яких безпосередньо залежать надійність, довговічність та економічність роботи електрообладнання. Нормовані параметри якості електроенергії визначені ДСТУ EN 50160:2014 (EN 50160:2010) «Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загального призначення», який є чинним в Україні та гармонізованим з європейськими вимогами.

У Правилах улаштування електроустановок (ПУЕ) зазначено, що вся електрична мережа – від шин цехової трансформаторної підстанції до затискачів електроприймачів — повинна бути перевірена на відповідність допустимим відхиленням напруги з урахуванням режиму напруги на шинах центру живлення. У випадку перевищення встановлених меж необхідно передбачати технічні заходи з регулювання напруги, такі як оптимізація схеми мережі, вибір перерізів провідників, застосування пристроїв компенсації реактивної потужності або регульовальних трансформаторів.

Відхилення напруги визначається як різниця між фактичним значенням напруги U_{ϕ} та номінальним значенням $U_{ном}$ за умов повільної зміни напруги, коли швидкість її зміни не перевищує 1 % за секунду, і розраховується за виразом:

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

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

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

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

Значення відхилення напруги на вторинній стороні трансформатора:

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

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 регульовального відгалуження обмотки ВН;

					ET та EE 4815.314.000 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:

$S_{нтр} = 1600$ кВА; $U_{кз} = 5,5\%$; $\Delta P_{кз} = 4,5$ кВт.

Навантаження трансформатора розраховується по формулі:

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

$$S_p = \frac{\sqrt{2192,7^2 + 248,29^2}}{2} = 1103 \text{ кВА.} \quad (101)$$

Коефіцієнт активної потужності визначаю, виходячи зі значення коефіцієнта реактивної потужності

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

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{248}{2192,7} = 0,11. \quad (103)$$

Отже $\cos \varphi = 0,91$, $\sin \varphi = 0,42$.

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

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

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:

$$\Delta U_\delta = \frac{1103}{1600} \cdot \left(\frac{5,5}{1600} \cdot 0,91 + 0,045 \cdot 0,45 \right) = 0,014 = 1,4\% \quad (104)$$

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

$U_{11} = 5 + 5 - 0 - 2,5 - 1,4 = 4,9\%$.

Отримане значення не перевищує допустимі межі відхилення напруги.

									Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата	ET та EE 4815.314.000 ПЗ				

2.10. Проектування однолінійної схеми електропостачання вузла навантаження

Проектований вузол навантаження за результатами аналізу технологічного процесу віднесено до споживачів II категорії за надійністю електропостачання. Зазначена категорія безпосередньо вплинула на прийняті схемні та конструктивні рішення системи електропостачання, зокрема на організацію живлення споживачів напругою 0,4 кВ від двох незалежних джерел.

Передбачене резервування на всіх рівнях трансформації забезпечує підвищення загальної надійності системи. Водночас, з огляду на вимоги до електроприймачів II категорії, застосування автоматичного введення резерву (АВР) на секційних комутаційних апаратах не є обов'язковим, при цьому допускається короткочасна перерва електропостачання, обмежена часом оперативного перемикавання на резервне джерело живлення.

З метою зменшення перетоків реактивної потужності у внутрішньозаводських мережах та зниження втрат електроенергії в елементах системи електропостачання, у дипломному проекті виконано розрахунок потужності додаткових компенсуючих пристроїв, реалізованих у вигляді комплектних конденсаторних батарей, які розміщуються безпосередньо в зоні розташування електроприймачів.

Живлення споживачів напругою 0,4 кВ, рівномірно розміщених по площі цеху, організовано з використанням розподільних шинопроводів, що дозволяє реалізувати гнучку, модульну структуру внутрішньоцехової мережі, спростити подальше розширення або реконструкцію та впровадити індустриальні методи монтажу.

Застосування вітчизняного комутаційного, захисного та вимірювального обладнання забезпечує необхідний рівень надійності електропостачання за умови зменшення капітальних витрат на будівництво та монтаж системи в цілому.

Електропостачання цеху реалізоване за схемою з двома магістральними шинопроводами та шістьма радіальними лініями, основними комутаційними апаратами яких є автоматичні повітряні вимикачі серій ВА-88 та ЕО.

Розроблена схема системи електропостачання відповідає чинним нормативним вимогам і положенням технічного проектування та наведена на рис. 2.8.

					ЕТ та ЕЕ 4815.314.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

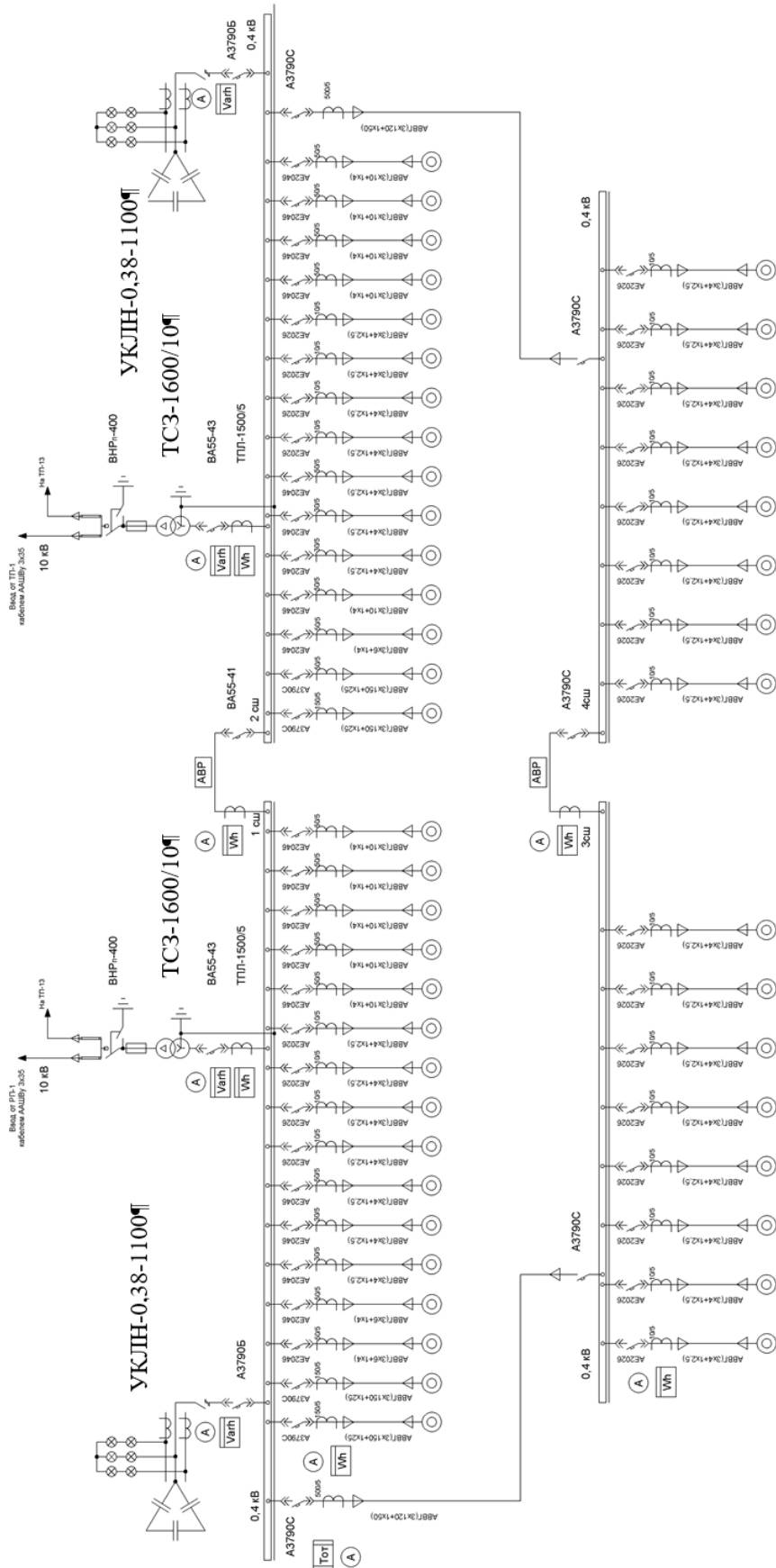


Рис. 2.8. Схема електропостачання цеху

Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата

ET та EE 4815.314.000 ПЗ

Лист

3. ОХОРОНА ПРАЦІ

Під час проєктування системи електропостачання цеху підприємства промисловості будівельних матеріалів одним із пріоритетних завдань є створення безпечних та нешкідливих умов праці для обслуговуючого персоналу. Це обумовлено наявністю електроустановок напругою до та понад 1 кВ, так і особливостями технологічного середовища, що характеризується підвищеною запиленістю, вібраціями, впливом вологи та можливими агресивними речовинами. У даному розділі обґрунтовано основні технічні та організаційні рішення, спрямовані на забезпечення електробезпеки, пожежної безпеки та захисту персоналу від шкідливих виробничих чинників, виходячи з прийнятих у проєкті схемних і конструктивних рішень.

Виробничий цех належить до приміщень із підвищеною небезпекою ураження електричним струмом (згідно з вимогами ПУЕ), оскільки в ньому наявні струмопровідна підлога (бетонна з можливим зволоженням) та можливість одночасного дотику персоналу до металевих корпусів електрообладнання й заземлених металоконструкцій. Крім того, технологічний процес виробництва будівельних матеріалів супроводжується виділенням значної кількості пилу, що в поєднанні з вологою може утворювати струмопровідні шари на ізоляції, підвищуючи ризик пробоя та ураження струмом. За ступенем вибухопожежної небезпеки приміщення не вибухонебезпечне, однак наявність горючого пилу та твердих матеріалів потребує врахування вимог пожежної безпеки.

Для запобігання ураженням електричним струмом у проєкті передбачено комплекс технічних заходів, які базуються на результатах виконаних електричних розрахунків:

- Захисне заземлення та система зрівнювання потенціалів: Усі металеві неструмовідні частини електрообладнання (корпуси КТП, шафи, розподільчі пункти, металеві оболонки кабелів і шинопроводів) підлягають заземленню. Внутрішньоцехова мережа виконана з глухозаземленою нейтраллю, а силові трансформатори мають групу з'єднання обмоток Δ/Y_0-11 , що забезпечує менший опір нульової послідовності та підвищує чутливість захисних апаратів до однофазних коротких замикань (КЗ).

- Автоматичне відключення живлення: Усі вибрані в розділі 2.6 автоматичні вимикачі (ВА 88, ЕО25С та ін.) пройшли перевірку на чутливість за струмами однофазного КЗ, розрахованими в розділі 2.8. Встановлено, що мінімальне значення струму однофазного замикання ($I^{(1)к}$) у найвіддаленішій точці мережі перевищує струми спрацювання максимальних розчіплювачів із необхідним коефіцієнтом запасу (1,25 для автоматів з $I_n \geq 100$ А та 1,4 для автоматів з $I_n < 100$ А), що гарантує надійне відключення пошкодженої ділянки за нормований час.

- Захист від перевантажень: Комбіновані розчіплювачі обраних автоматів забезпечують захист не лише від струмів КЗ, а й від тривалих перевантажень, що запобігає перегріву ізоляції та виникненню пожеж.

					ET та EE 4815.314.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

- Конструктивне виконання електрообладнання: З урахуванням запиленості середовища комплектна трансформаторна підстанція (КТП) прийнята в закритому виконанні (шафи зі ступенем захисту не нижче IP54), кабелі марки АВВГ прокладаються в сталевих коробах і трубах, що унеможлиблює накопичення пилу на струмовідних частинах. Розподільні шинопроводи також мають закрите виконання.

При проектуванні системи електропостачання враховано такі заходи:

- Трансформатори типу ТСЗ (сухі, з литою ізоляцією) або ТМЗ (масляні герметичні) не містять великого об'єму горючої рідини, а їх встановлення у прибудованій КТП з окремим входом та вогнетривкими стінами запобігає поширенню можливого займання в цех.

- Кабельні лінії виконані кабелем АВВГ, який не поширює горіння. Проходи кабелів через стіни та перекриття ущільнюються негорючими матеріалами з вогнестійкістю не нижче EI 60.

- У схемі передбачено секційний автомат QF9 та резервні перемички низької напруги, що дозволяє відключати пошкоджену секцію без припинення живлення всього цеху, мінімізуючи ризик виникнення аварійних режимів.

- Приміщення КТП та основні струмові траси оснащуються первинними засобами пожежогасіння – порошковими та вуглекислотними вогнегасниками, призначеними для гасіння електроустановок під напругою до 1 кВ.

Технологічний процес цеху супроводжується підвищеними рівнями пилу, вібрації та шуму. Для захисту персоналу та електрообладнання:

- Передбачено місцеву та загальнообмінну вентиляцію, яка забезпечує гранично допустиму концентрацію пилу в повітрі робочої зони (відповідно до ДСН 3.3.6.042-99).

- Електродвигуни, що встановлюються безпосередньо в зонах з підвищеним пиловиділенням, мають закрите виконання (IP55), що запобігає потраплянню пилу всередину.

- Для зниження рівня виробничого шуму застосовуються звукопоглинальні елементи в конструкціях трансформаторних підстанцій і закрите виконання шинопроводів.

- Освітлення цеху виконано газорозрядними лампами типу ДРЛ з розрахунковою освітленістю, яка відповідає нормам для виробничих приміщень даного класу, а також передбачено аварійне освітлення безпеки для безпечної евакуації персоналу в разі припинення робочого освітлення.

Безпечна експлуатація спроектованої системи електропостачання забезпечується виконанням організаційних вимог, регламентованих ПУЕ та НПАОП 40.1-1.21-98 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів»:

- Обслуговування електроустановок проводиться виключно електротехнічним персоналом, який пройшов навчання, інструктаж та перевірку знань із присвоєнням відповідної групи з електробезпеки (не нижче III для роботи в установках до 1 кВ).

									Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата	ET ma EE 4815.314.000 ПЗ				

- Ремонтні та налагоджувальні роботи виконуються за нарядом-допуском або розпорядженням з виконанням технічних заходів: вимикання, встановлення заземлень, вивішування заборонних плакатів.

- На однолінійній схемі (рис.2.8) чітко визначені місця встановлення комутаційних апаратів, що дозволяють створювати видимий розрив при підготовці робочого місця.

- Персонал забезпечується справними електрозахисними засобами (діелектричні рукавички, боти, килимки, покажчики напруги, ізольований інструмент), які проходять періодичні випробування.

- Особлива увага приділяється роботі з конденсаторними установками ККУ-0,38 кВ. Перед доступом до них передбачено автоматичне розрядження конденсаторів за допомогою вбудованих розрядних резисторів, а перед початком робіт – додаткове контрольне розрядження і заземлення.

Таким чином, прийняті в дипломному проєкті технічні рішення в поєднанні з нормативно визначеними організаційними заходами дозволяють забезпечити безпечні умови праці під час монтажу та тривалої експлуатації системи електропостачання цеху промисловості будівельних матеріалів.

					ET та EE 4815.314.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

ВИСНОВОК

У процесі проектування системи електропостачання виробничого цеху було прийнято комплекс технічних рішень, спрямованих на підвищення надійності та ефективності енергоживлення. Живлення цехових трансформаторних підстанцій організовано за магістральною схемою, що забезпечує зручність монтажу, гнучкість конфігурації мережі та можливість її подальшого розвитку.

Для підвищення надійності електропостачання в мережах напругою до 1 кВ передбачено резервні перемички, які дають змогу зберігати живлення відповідальних споживачів у разі виникнення аварійних режимів або відключення окремих елементів мережі.

З метою зменшення перетоків реактивної потужності та зниження втрат електроенергії застосовано пристрої компенсації реактивної потужності, розміщені безпосередньо в мережах до 1 кВ, що дозволило оптимізувати встановлену потужність цехових трансформаторів.

Крім того, для підвищення надійності роботи мереж напругою до 1 кВ і забезпечення необхідної чутливості захисних пристроїв у схемі електропостачання використано трансформатори з групою з'єднання обмоток Δ/Y_0-11 , що покращує умови спрацювання захистів при однофазних коротких замиканнях.

					ET та EE 4815.314.000 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 4815.314.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		