

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

бакалавра

на тему

ПРОЕКТУВАННЯ СЕП ВУЗЛА НАВАНТАЖЕННЯ ЦЕХУ ПРОМИСЛОВОСТІ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

(тема кваліфікаційної роботи)

Виконав: студент 4 курсу, групи ДЕА-Е23пр.

Спеціальності: 141 Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка

_____/Свгеній ПУГАЧ
(підпис) (ім'я та прізвище)

Керівник _____/Костянтин БРОВКО
(підпис) (ім'я та прізвище)

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

«До захисту допущено»

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

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

Харків – 2025 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Навчально-науковий інститут «Українська інженерно-педагогічна академія»

Кафедра Електротехніки та електроенергетики

Рівень вищої освіти бакалавр

Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Освітня програма Електричні станції, системи та мережі

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ А.М. Чернюк
підпис ініціали, прізвище

“ _____ ” _____ 2025 року

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

Пугач Євгенію Ігорович
(прізвище, ім'я, по батькові студента)

1. Тема роботи Проектування СЕП вузла навантаження цеху промисловості будівельних матеріалів

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

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

2. Строк подання студентом роботи 19.06.2025

3. Перелік питань, які потрібно розробити
Загальна характеристика технологічного процесу проектного 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

4. План роботи

№ з/п	Назви етапів роботи
1	Загальна характеристика технологічного процесу проектного 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

5. Дата видачі завдання 11.04.2025

Студент

підпис

С. І. Пугач

ініціали, прізвище

Керівник роботи

підпис

К.Ю. Бровко

ініціали, прізвище

3MICT

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.....

ВИСНОВОК.....

ЛІТЕРАТУРА.....

					ЕТ та ЕЕ 4815.017.000 ПЗ						
					Проектування СЕП вузла навантаження цеху промисловості будівельних матеріалів	Лім.			Маса	Масштаб	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					1	1 : 1	
Розроб.	Пугач										
Перевір.	Бровко										
Т. Контр.						Арк.				Аркушів	
Реценз.					Пояснювальна записка	УІПА гр. ДЕА-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

					<i>ЕТ та ЕЕ 4815.017.000 ПЗ</i>	Лист
Вим.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

ВСТУП

Метою дипломного проєкту є набуття практичного досвіду в самостійному вирішенні складних інженерних задач у галузі внутрішньоцехового електропостачання з урахуванням сучасних підходів до енергозбереження в електроенергетиці.** Основним завданням проєкту є формування компетенцій у проєктуванні внутрішньоцехових систем електропостачання на основі загальноприйнятих принципів побудови енергетичних систем промислових підприємств.

У процесі розробки дипломного проєкту здобуваються навички роботи з технічною документацією, нормативною базою, типовими проєктами та довідковими джерелами.

В умовах сучасної економіки та енергетики особливого значення набуває проблема раціонального використання енергоресурсів. Багато промислових підприємств функціонують на неповну проєктну потужність, що призводить до простою обладнання, зниження обсягів виробництва і, як наслідок, економічних втрат.

Динамічний розвиток промислового сектору й зростання суспільного попиту зумовлюють необхідність впровадження вискоєфективного, енергозберігаючого та технологічно досконалого обладнання. У зв'язку з цим питання оптимального проєктування систем електропостачання набуває особливої актуальності. Ефективне проєктне рішення повинно забезпечувати мінімальні витрати, відповідати сучасним вимогам щодо якості електроенергії та гарантувати надійність і стабільність роботи енергосистеми.

Отже, головною метою дипломного проєкту є розробка внутрішньоцехової мережі електропостачання, орієнтованої на енергоефективність, зменшення втрат електроенергії під час її перетворення та розподілу, мінімізацію збитків через недопостачання, підвищення надійності живлення та забезпечення високих показників якості електроенергії.

.

					ET та EE 4815.017.000 ПЗ	Лист
Вим.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ПРОЕКТОВАНОГО ОБ'ЄКТА

Аналіз технологічного процесу виробництва як основа визначення категорії електроприймачів та формування системи електропостачання

Метою проведеного аналізу технологічного процесу проєктованого об'єкта є оцінка можливих збитків, пов'язаних з перервою електропостачання. Цей аналіз дозволяє класифікувати електроприймачі цеху за рівнем надійності живлення, що, у свою чергу, слугує базою для визначення кількості джерел живлення, вибору топології живильних і розподільних мереж, а також доцільності включення елементів автоматики у схемах електропостачання.

Згідно з поставленим завданням, у проєкті розглядається виробничий цех підприємства будівельної індустрії. Це — цех основного виробництва зі складним технологічним процесом, де будь-яке порушення режиму роботи може спричинити суттєві матеріальні втрати. Наслідками аварійного припинення роботи можуть стати масове виготовлення бракованої продукції, вихід з ладу дорогого обладнання, а також загроза життю персоналу.

Відповідно до вимог Правил улаштування електроустановок (ПУЕ), електроприймачі цього цеху класифікуються як споживачі другої категорії за ступенем безперебійності живлення.

Окрему увагу слід приділити характеру виробничого середовища. Через наявність агресивних впливів слід враховувати умови під час вибору місця розміщення цехової трансформаторної підстанції, вибору електричних схем, типів електроустаткування системи електропостачання (СЕС) та конфігурації струмопровідних елементів.

До електроприймачів 0,4 кВ цеху належать:

- металорізальні верстати дрібно- та великосерійного виробництва,
- вентилятори, насоси, компресори,
- крани, тельфери (з ПВ 25% і 40%),
- зварювальні установки шовного зварювання,

					ЕТ та ЕЕ 4815.017.000 ПЗ	Лист
Вим.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

— елеватори, блоковані конвеєри.

Загальна встановлена потужність цих приймачів наведена в таблиці 2.1.

Площа виробничого приміщення становить 9000 м². Питома щільність навантаження на освітлення прийнята на рівні 20 Вт/м². Експлуатаційний режим кожної групи споживачів описується коефіцієнтом використання та коефіцієнтом потужності, що відображають інтенсивність споживання активної електроенергії. Значення вказаних параметрів наведено у відповідних таблицях (табл. 2.1).

Схема розміщення електрообладнання на площі цеху подана на рисунку 1.1 та також міститься на аркуші 1 графічної частини проєкту.

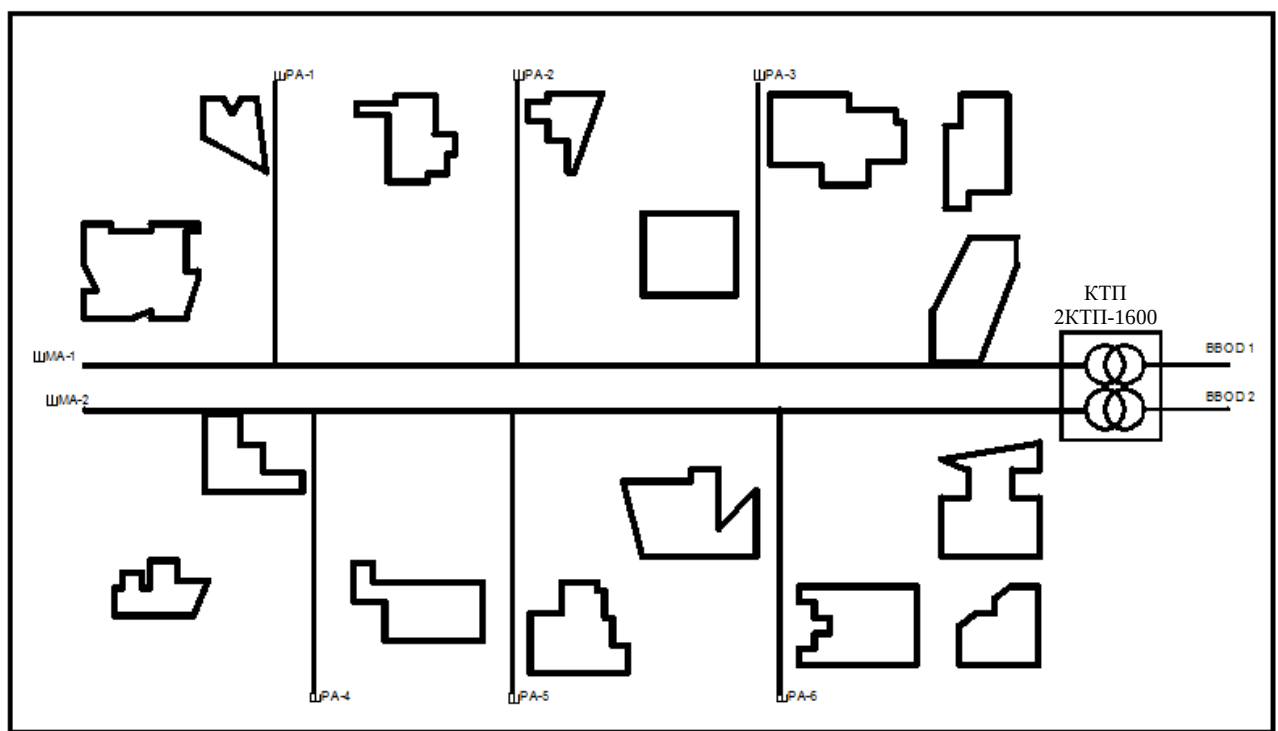


Рис. 1.1. Ситуаційний план цеху промисловості будівельних матеріалів.

					ЕТ та ЕЕ 4815.017.000 ПЗ	Лист
Вим.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

2. ЕЛЕКТРИЧНІ РОЗРАХУНКИ

2.1. Розрахунок електричних навантажень від силових і освітлювальних електроприймачів

Розрахунок очікуваних електричних навантажень здійснюється згідно з вимогами нормативного документа «Вказівки з розрахунку електричних навантажень» (РТМ 36.18.32.4-92), чинного з січня 1993 року.

У даному проєкті застосовано метод упорядкованих діаграм, який на сьогодні вважається основним підходом у проєктуванні систем електропостачання для технічних і робочих стадій розробки.

Згідно з цим методом, розрахункове активне навантаження електроприймачів на всіх рівнях живильних і розподільних мереж (включаючи трансформатори, перетворювальні пристрої тощо) визначається на основі їх середнього навантаження та відповідного коефіцієнта розрахункового навантаження за формулою (1):

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

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

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

Розрахунок виконаний за однією характерною групою. А розрахунки інших характерних груп зведені в таблицю 2.1.

Визначення величини очікуваних електричних навантажень здійснюється за методикою, наведеною у «Вказівках з розрахунку електричних навантажень» (РТМ 36.18.32.4-92), введених в дію з 01.1993 року.

У розрахунку використовуємо метод упорядкованих діаграм, який в даний час є основним при розробці технічних і робочих проєктів електропостачання.

Для двигунів, що працюють в повторно-короткочасному режимі (ПКР), приведення їх паспортної потужності до тривалого режиму (ПВ = 100%) здійснюється за виразами (3)-(4):

					ЕТ та ЕЕ 4815.017.000 ПЗ	Лист
Вим.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

$$P_{H_i} = P_{насч_i} \sqrt{PB_i}, \text{ кВт} \quad (3)$$

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

Дані сумуються:

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

де m – число характерних груп ЕП.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Визначаємо середньозважений (груповий) коефіцієнт використання:

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

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.

					ЕТ та ЕЕ 4815.017.000 ПЗ	Лист
Вим.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

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 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, $K_{i.гр.}$ та ефективного числа ЕП, n_{ef} по таблиці. П.4.2], визначаємо коефіцієнт розрахункового навантаження K_P .

Під активним розрахунковим максимальним навантаженням P_p , розуміємо таку незмінну за величиною і під час навантаження, яка еквівалентна дійсному навантаженню, що змінюється по найбільш важкому тепловому впливу на елемент СЕП.

Активне розрахункове навантаження групи ЕП напругою до 1 кВ визначається за виразом (12):

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

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

					ЕТ та ЕЕ 4815.017.000 ПЗ	Лист
Вим.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

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

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

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

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

де U_n – номінальна напруга в даній ділянці мережі, кВ

Розрахунок електричних навантажень від освітлювальних електроприймачів.

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

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

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

де $K_{с.о.}$ – коефіцієнт попиту освітлювальних установок;

$K_{с.о.} = 0,95$ 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:

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

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.

					ЕТ та ЕЕ 4815.017.000 ПЗ	Лист
Вим.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

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

1. Згідно з вихідними даними (табл.П.2. [2]) електроприймачі цеху класифікують за характерними групами (з однаковим коефіцієнтом використання K_{Σ} 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 κBm за виразами (18)-(19):

$$P_H = P_{H_{\Sigma}} \sqrt{P_B} = 300 \cdot \sqrt{0,25} = 150, \kappa Bm \quad (18)$$

$$P_H = S_H \cdot \cos \varphi = 500 \cdot 0,35 = 275 \kappa Bm \quad (19)$$

та заносимо ці значення у відповідну колонку табл.2.1.

3. Підсумовуємо встановлені потужності вузла:

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

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

$$P_{cm1} = P_{H1} \cdot K_{H1} = 2000 \cdot 0,4 = 800, \kappa Bm \quad (20)$$

$$Q_{cm1} = P_{cm1} \cdot \tan \varphi_1 = 800 \cdot 1,17 = 935,30, \text{ квар} \quad (21)$$

де $\tan \varphi_1$ - 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:

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

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

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

$$K_{\Sigma} = \frac{\sum_{i=1}^m P_{cmi}}{\sum_{i=1}^m P_{Hi}} = \frac{2193,42}{4732,32} = 0,46 \quad (22)$$

7. Визначаємо ефективне число ЕП:

					ЕТ та ЕЕ 4815.017.000 ПЗ	Лист
Вим.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

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

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:

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

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:

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

13. Визначення розрахункового навантаження від освітлювальних ЕП

$$P_{P.O.} = P_{H.O.} \cdot K_{C.O.} \cdot K_{пра} = 180 \cdot 0,95 \cdot 1,1 = 188,10, \text{ кВт} \quad (28)$$

$$Q_{P.O.} = P_{P.O.} \cdot \tan \varphi = 188,10 \cdot 0,33 = 61,83, \text{ квар} \quad (29)$$

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

					ЕТ та ЕЕ 4815.017.000 ПЗ	Лист
Вим.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Таблиця 2.1

Розрахунок навантажень цеху

№п/п	Найменування характерних груп ЕП	Кількі сть, п шт	Паспортні дані ЕП в кВт		Номинал ьна потужніс ть характер них груп ЕП	Коефіц ієнт вик. Ки	cos w	tg w	Середньозмінне навантаження за найбільш завантажену зміну		Ефективне число ЕП, пє	Коефіцієнт розрахункового навантаження Кр	Розрахунковий максимум навантаження			Розраху нковий струм, Ір, А
			Одного ЕП Рн min/Рн тах, кВт	Зага льна Рпас п, кВт					Рсм, кВт	Qсм, квар			Рр, кВт	Qр, квар	Sp, кВА	
1	Шламові живильники	300	3	2000	2000,00	0,4	0,65	1,17	800,00	935,30						
			80													
2	Цементні мельниці	120	1	750	750,00	0,8	0,8	0,75	600,00	450,00						
			20													
3	Вентилятори	50	1	200	200,00	0,7	0,8	0,75	140,00	105,00						
			10													
4	Насоси, компресори	40	0,5	350	350,00	0,7	0,8	0,75	245,00	183,75						
			40													
5	Крани, тельфери ПВ = 25%	35	2	300	150,00	0,18	0,45	1,98	27,00	53,58						
			40													
6	Крани, тельфери ПВ = 40%	50	10	1150	727,32	0,18	0,45	1,98	130,92	259,81						
			80													
7	Зварювальні машини шовного зварювання , кВА	30	10	500	275,00	0,3	0,35	2,68	82,50	220,81						
			40													
8	Елеватори, конвеєри зблоковані	30	3	280	280,00	0,6	0,7	1,02	168,00	171,39						
			20													
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

Вим.			
Лист			
№ докум.			
Підп.			
Дата			
ET та EE 4815.017.000 ПЗ			
Лист			

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

Сумарна розрахункова потужність ККУ напругою до 1 кВ визначається по мінімуму приведених витрат двома послідовними розрахунковими етапами:

- вибором економічно оптимального числа трансформаторів цехових трансформаторних підстанцій (ТП), тобто визначення потужності ККУ - 0,38 кВ, що забезпечує оптимальне число цехових трансформаторів, $Q_{нк1}$, квар;
- визначення додаткової потужності ККУ - 0,38 кВ з метою оптимального зниження втрат в трансформаторах цехових ТП і живлючих їх мереж напругою вище 1 кВ, $Q_{нк2}$, квар, викликаних перетіканнями РП через цехові ТП.

Сумарна реактивна потужність ККУ - 0,38 кВ дорівнює:

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

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

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

					ЕТ та ЕЕ 4815.017.000 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 потужності трансформаторів для цеху здійснюється паралельно з підбором пристроїв компенсації реактивної потужності. Вибір ґрунтується на результатах техніко-економічного аналізу з урахуванням питомої щільності електричного навантаження, розрахункового активного навантаження, а також інших факторів, зазначених у технічному завданні та умовах проєктування.

Розрахунок номінальної потужності цехових трансформаторів виконується відповідно до значення питомої щільності навантаження цеху:

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

та повного розрахункового навантаження вузла, *кВА*. При питомій щільності більше 0,2 - 0,3 *кВА/м*² 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 – $\beta = 0,9 - 0,95$.

Ось перефразований варіант із збереженням технічної точності й логіки викладення:

					ЕТ та ЕЕ 4815.017.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Електроприймачі 1-ї категорії повинні живитися від двох незалежних джерел живлення (ДЖ), при цьому допустима короткочасна перерва в електропостачанні лише на час дії автоматичного включення резерву (АВР). Для електроприймачів 2-ї категорії також передбачено два незалежних джерела живлення, але тут допускається перерва на час ручного перемикавання на резерв.

Для обох категорій доцільним вважається застосування однострансформаторних цехових трансформаторних підстанцій на напругу 10–6/0,4–0,23 кВ, за умови наявності резервного живлення через перемички низьковольтної сторони, здатні передавати потужність для забезпечення живлення критичних споживачів.

Однострансформаторна конфігурація дозволяє максимально наблизити ТП до центра електричних навантажень, що зменшує довжину ліній електропередачі, а відтак — втрати електроенергії та витрати на прокладання мережі. Водночас у випадках високої щільності навантажень (питомої потужності, кВА/м²) або домінування споживачів 1-ї категорії доцільним є використання двотрансформаторних підстанцій.

Споживачі до 1 кВ зазвичай споживають значну кількість реактивної потужності, а також віддалені від основних джерел на кілька рівнів трансформації. Через це передача реактивної потужності на напрузі до 1 кВ супроводжується додатковими витратами: збільшенням перерізів кабельно-провідникової продукції (СВЧ), зростанням потужності чи кількості цехових трансформаторів, підвищенням втрат у мережі.

Для мінімізації цих втрат 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,

					ЕТ та ЕЕ 4815.017.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

що передається з вищих рівнів напруги, визначається на підставі техніко-економічного обґрунтування.

Хочете, щоби я оформив це як підрозділ пояснювальної записки або доповнив схемою компенсації реактивної потужності? Можемо також порівняти витрати для одно- і двотрансформаторних рішень.

Порядок вибору числа цехових трансформаторів полягає в наступному. Для кожної технологічно концентрованої групи цехових трансформаторів однакової потужності їх мінімальне число, 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:

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

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

При визначенні m по кривих [1] приймається допущення:

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

					ЕТ та ЕЕ 4815.017.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

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:

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

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:

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

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

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

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

Нескомпенсована реактивна потужність в мережі до 1 кВ становитиме:

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

					ЕТ та ЕЕ 4815.017.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

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

Визначення потужності НБК з метою оптимального зниження втрат:

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

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

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

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

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

де C_o - розрахункова вартість втрат, *грн/кВт*.

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

Значення K_2 визначають за формулою:

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

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

					<i>ЕТ та ЕЕ 4815.017.000 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

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):

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

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

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

					ЕТ та ЕЕ 4815.017.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Тоді сумарна потужність встановлених в цеху комплектних конденсаторних установок складе:

$$Q''_{HK1.CPP} = N_{ont} \cdot Q'_{HK1.CPP} = 2 \cdot 525 = 1050 \text{ квар} \quad (48)$$

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

$$Q_{кільк} = (Q_p + Q_{p.o.}) - Q''_{HK1.CPP} = 2441,47 - 1050 = 1391,47 \text{ квар} \quad (49)$$

8. Додаткова потужність НБК для даної групи трансформаторів, Q_{HK2} , з метою оптимального зниження втрат:

$$Q_{HK2} = Q_{кільк} - \gamma \cdot N_{TE} \cdot S_{HT} = 1391,47 - 0,44 \cdot 2 \cdot 1600 = -16,53, \text{квар} \quad (50)$$

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

					ЕТ та ЕЕ 4815.017.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

2.3. Розміщення цехових трансформаторів на площі цеху

Розміщення трансформаторів у межах цеху визначається низкою факторів, серед яких: щільність електричних навантажень, конфігурація й розташування технологічного обладнання (з урахуванням можливості розміщення компенсуючих пристроїв безпосередньо в цеху), а також мікрокліматичні умови, що формуються специфікою виробничого процесу.

На основі досвіду проектування, монтажу та експлуатації трансформаторних підстанцій, а також результатів відповідних теоретичних досліджень, рекомендується застосування комплектних трансформаторних підстанцій (КТП) з індустріальним монтажем, незалежним від будівельної інфраструктури. Максимальне наближення КТП до центрів електричного навантаження дозволяє зменшити витрати кольорових металів на кабельну продукцію та знизити втрати електроенергії у внутрішньоцехових мережах.

Розподілення потужності між декількома підстанціями з наближенням до навантажень дозволяє вже на етапі проектування закласти основи енергоощадної експлуатації системи електропостачання.

Параметри КТП — зокрема її місце розташування, кількість і потужність трансформаторів — мають відповідати розрахунковому електричному навантаженню, вимогам до безперебійності живлення та умовам навколишнього середовища.

Залежно від виробничих умов і будівельно-технологічних обмежень, трансформаторні підстанції можуть бути вбудованими, цеховими, прибудованими або окремо розташованими. У випадку даного проєкту — цеху підприємства будівельної галузі, що функціонує в умовах агресивного середовища та високої запиленості — прийнято рішення про встановлення прибудованої КТП.

Схема компонування трансформаторної підстанції відображена на кресленні №1 графічної частини дипломного проєкту.

					ЕТ та ЕЕ 4815.017.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

2.4. Вибір схеми живлення цехових трансформаторів

З метою забезпечення резервного живлення в разі відключення одного з трансформаторів, доцільним є впровадження перемичок у мережах нижчої напруги. Їх пропускна здатність повинна становити 20–30 % від номінальної потужності трансформатора при виконанні кабелем і до 60 % — при використанні шинопроводу.

У зв'язку з високою питомою щільністю навантаження в цеху (4,02 кВА/м²), а також наявністю споживачів 1-ї категорії за надійністю електропостачання, для даного проєкту обрано конфігурацію двохтрансформаторної 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 рисунку 2.1.

У складі цехових трансформаторних підстанцій застосовуються трифазні трансформатори напругою 6–10 кВ з природним охолодженням. Як робоче середовище використовується мінеральне масло або негорюча рідина типу совтол, а також можливе використання сухих трансформаторів із природним повітряним охолодженням. Для комплектних підстанцій перевагу надають трансформаторам закритого типу (ТМЗ, ТНЗ, ТСЗ), обладнаним герметичним кожухом з азотною подушкою, що забезпечує безпечне встановлення всередині виробничих будівель.

Рекомендованою є схема з'єднання обмоток Δ/Y_0-11 , яка, на відміну від поширеної Y/Y_0-0 , має менший опір нульової послідовності, що покращує ефективність релейного захисту при виникненні однофазних коротких замикань.

					ET та EE 4815.017.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

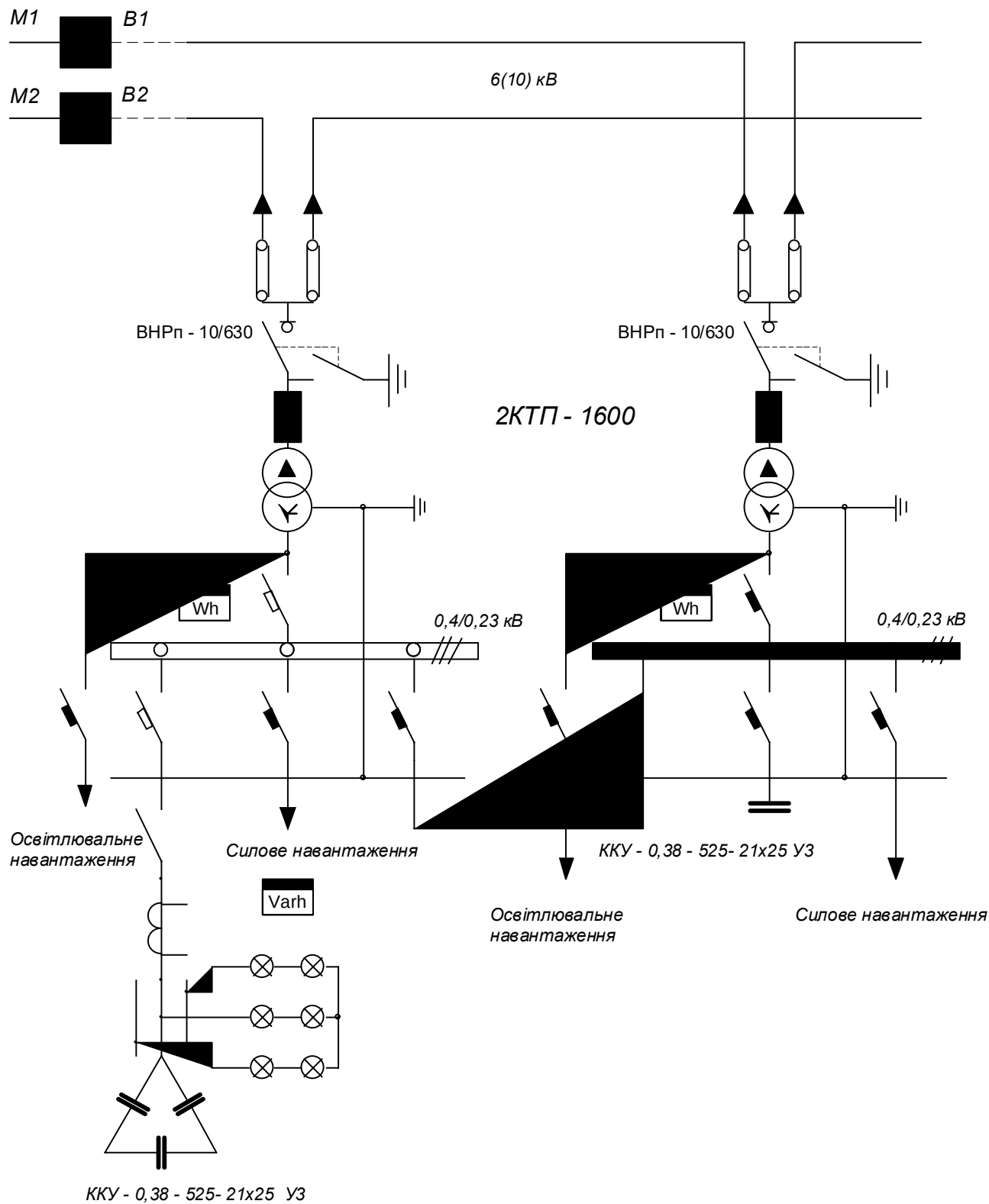
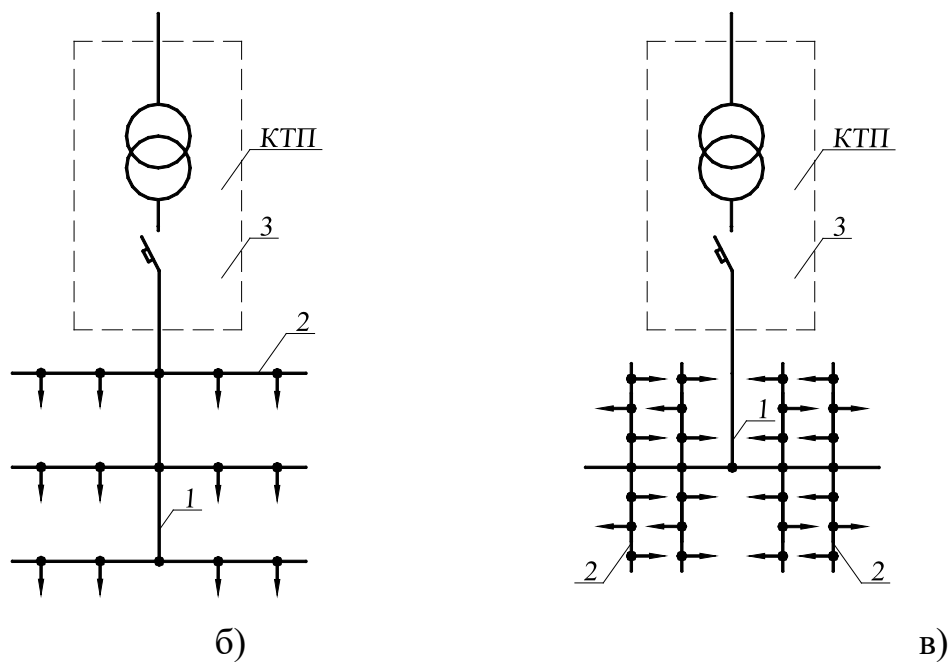


Рис. 2.1. Схема спільного живлення силового та освітлювального навантаження від КТП з КРМ в мережі до 1 кВ.

					ЕТ та ЕЕ 4815.017.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

2.5. Вибір схеми внутрішньоцеховий мережі напругою до 1 кВ

Конфігурація живлення цехових трансформаторів визначається їх кількістю, просторовим розміщенням у межах виробничого приміщення, а також категорійністю навантажень, які вони обслуговують. Згідно з положеннями «Інструкції з проєктування електропостачання промислових підприємств» (СН 174-75, Держбуд СРСР, 1976) [7], для цехових потреб рекомендується застосування подвійної наскрізної магістральної схеми живлення. Зокрема, для трансформаторів потужністю 1600–2500 кВА доцільно встановлювати 2–3 одиниці в межах однієї магістралі, а для трансформаторів меншої потужності — 3–4 одиниці. У випадку застосування двох трансформаторів доцільним є живлення за радіальними лініями, що забезпечує простоту схеми та можливість селективного відключення.



б – вихід магістралі в одному напрямку;

в – вихід магістралі у двох напрямках;

1 – живляча магістраль;

2 – розподільні шинопроводи;

3 – апаратура управління та захисту.

Рис. 2.2. схеми БТМ

					ЕТ та ЕЕ 4815.017.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

У сучасних підходах до проєктування систем живлення мережі 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 за допомогою блочної системи, яка передбачає щільне територіальне поєднання трансформатора та низьковольтної магістралі (див. рисунок 2.2).

Виконана за схемою БТМ внутріцехова мережа спрощується, тому КТП може бути виконана без розподільного пристрою низької напруги (РПНН). У цьому випадку від трансформатора КТП відходить магістральний шинопровід (ШМА), призначений для передачі електроенергії декількох розподільних шинопроводам (ШРА) або декільком ЕП. Схеми БТМ широко застосовують для живлення цехових мереж механічних цехів машинобудівних підприємств з поточним виробництвом.

За своєю структурою схеми внутрішньоцехових мереж можуть бути радіальними (рис. 2.3.), магістральними (рис.2.4.) та змішаними (рис.2.5.).

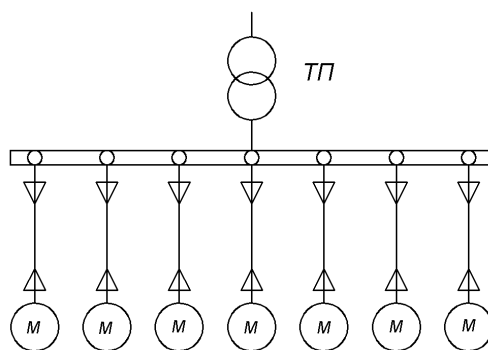


Рис. 2.3. Радіальна схема живлення ЕП

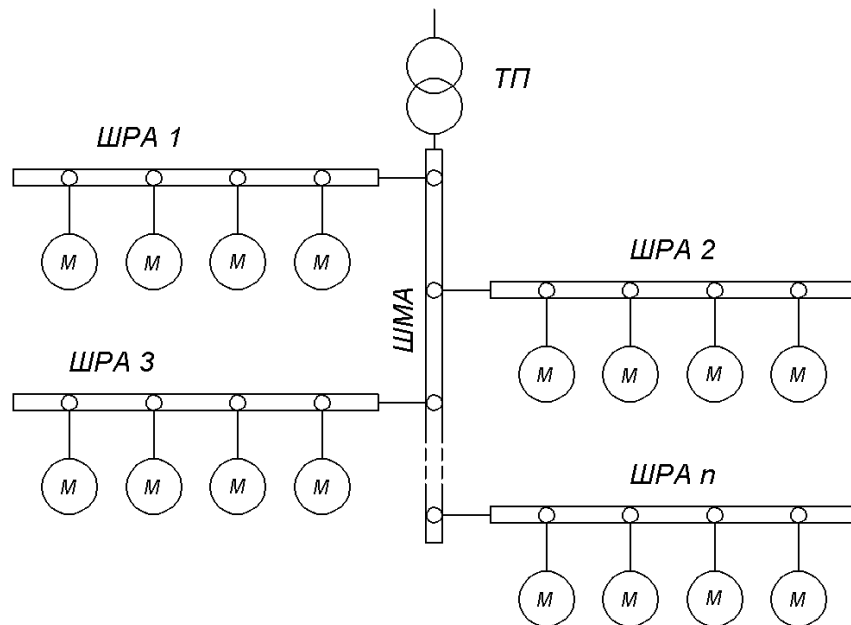


Рис. 2.4. Магістральна схема живлення

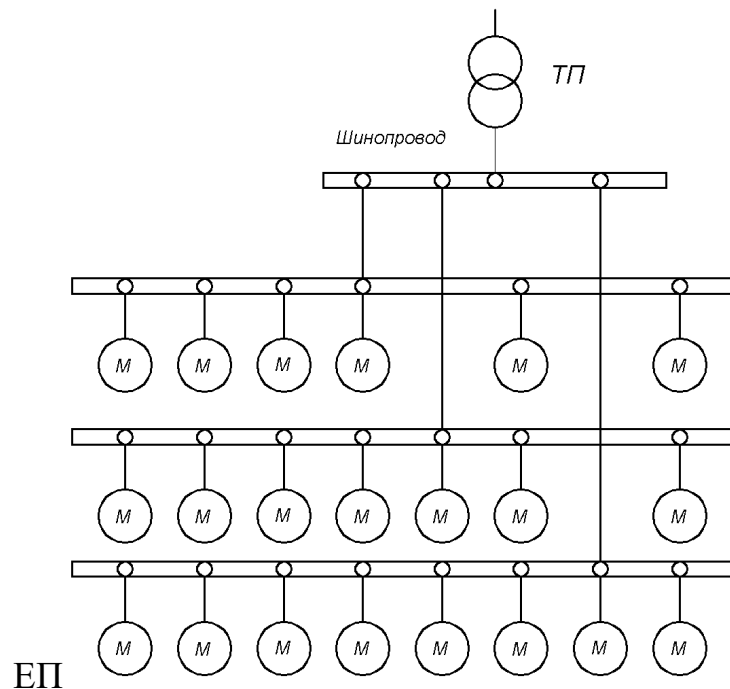


Рис. 2.5. Змішана схема живлення ЕП

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 у випадках зосереджених або нерівномірно розподілених навантажень, а також у вибухо- та

					ЕТ та ЕЕ 4815.017.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

пожежонебезпечних приміщеннях, насосних і компресорних станціях. Радіальні лінії, як правило, виконують ізольованими проводами або кабелями.

Переваги радіальної схеми:

- висока надійність: відмова однієї лінії не впливає на решту електроприймачів.

Недоліки:

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

Магістральні схеми доцільно використовувати при рівномірному розподілі навантаження на площі цеху або у випадку групових електроприймачів, які обслуговують одну технологічну лінію. В такій конфігурації одна живильна магістраль забезпечує живлення декількох розподільних шаф та основних ЕП.

Переваги магістральної схеми:

- можливість застосування шинопроводів і реалізації індустріального монтажу;
- зручне підключення ЕП 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 істотно підвищена за рахунок впровадження резервних перемичок між сусідніми магістралями.

У практиці експлуатації найчастіше використовуються змішані схеми, які враховують особливості виробничого процесу, просторову організацію електрообладнання й умови середовища. Наприклад, у механічних цехах

					ЕТ та ЕЕ 4815.017.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

машинобудування із застосуванням блочної схеми «трансформатор — магістраль» живлення здійснюється через магістральні шинопроводи з підключенням розподільних штепсельних ліній, від яких у свою чергу радіальними відводами живляться електроприймачі. Для певних зон цеху передбачаються розподільні пункти, підключені до найближчих шинопроводів.

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

У межах даного проєкту до реалізації прийнята магістральна схема живлення з резервними перемичками між розподільними шинопроводами, що дозволяє досягти балансу між надійністю та технологічною гнучкістю системи електропостачання.

					ЕТ та ЕЕ 4815.017.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

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

У процесі експлуатації електричних мереж можливі порушення нормального режиму, зокрема перевантаження та короткі замикання, що супроводжуються різким зростанням струму у провідниках. Для забезпечення надійної та безпечної роботи внутрішньоцехових електричних мереж 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 з запобіжниками, автоматичні вимикачі мають вищу стійкість до перевантажень і здатні відключати усі три фази одночасно, що виключає ризик роботи електроприймачів в аварійному (неповнофазному) режимі. Крім того, автомати — це багаторазово діючі пристрої, що робить їх придатними для реалізації схем автоматики (АПВ, АВР).

Завдяки цим перевагам автоматичні вимикачі широко використовуються в мережах змінного струму напругою до 660 В.

Захисна дія автоматів реалізується через вбудовані релейні пристрої — расцеплювачі, які в залежності від конструкції забезпечують:

- струмове відсічення (миттєве відключення при КЗ);
- максимальний струмовий захист (з витримкою часу).

Ці функції реалізуються за допомогою електромагнітних реле прямої дії з відповідним часовим налаштуванням.

Для виконання захисту, надійно і суб'єктивно діючого при коротких замиканнях і перевантаженнях, максимальні розцеплювачі автоматів постачають витримками часу у вигляді годинникових механізмів. Уповільнення досягається

					ET та EE 4815.017.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

за рахунок сповільнювача розчеплювача - механізму, що створює незалежну витримку часу, регульовану в межах $0,2 \div 0,4$ с або $0,4 \div 0,6$ с.

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

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

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

$$I_{расц.ном} \geq I_{расч.тах}$$

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

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

Для одиночних, захищаних автоматом, двигунів:

$$I_{роzc.тах} = I_{ном дв}$$

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 $I_{уст n}$ обирається за виразом (51):

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

При виборі струму уставки миттєвого спрацьовування електромагнітного розчеплювача, що здійснює захист від к.з., $I_{уст к.з.}$, необхідно відстроїти від короточасних перевантажень, що викликаються пуском (самозапуском) двигунів, за виразом (52):

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

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

- для одиночних двигунів:

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

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

- для режиму запуску невідключаємих самозапускаючихся двигунів:

					ЕТ та ЕЕ 4815.017.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

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

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 захищаємої лінії:

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

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

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

k_c – коефіцієнт попиту, $k_c < 1$.

Всі вибрані автомати перевіряють:

- по вимикаючій здібності:

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

- на чутливість захистів:

- при захисті автоматами з розчеплювачами уповільненої дії:

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

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

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

- при захисті автоматами з розчеплювачами миттєвого спрацювання:

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

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

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

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

					ЕТ та ЕЕ 4815.017.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

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

- при захисті ділянки мережі автоматом з розчеплювачем миттєвого спрацювання:

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

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

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

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

Селективні автомати перевіряють на динамічну і термічну стійкість за виразами:

$$i_{дин} \geq i_y \quad (61)$$

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

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

$I_{п.о.}$ - початкове діюче значення періодичної складової струму к.з.;

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

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

Здійснимо 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.

					ЕТ та ЕЕ 4815.017.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

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 ГОСТ 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:

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

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

Результати розрахунку заносимо в таблицю 2.2.

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

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

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

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:

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

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

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

					ЕТ та ЕЕ 4815.017.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

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

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

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

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

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.

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

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

$$I_{пик} = I_{пуск.мах} + \sum_{i=1}^{n-1} I_{ном.дв.} = 1620,6 + 1146 = 2766,6 A \quad (71)$$

Обираємо номінальний струм електромагнітного розчеплювача з урахуванням теплового поправочного коефіцієнта:

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

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

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

Результати розрахунку заносимо в таблицю 2.2.

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

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

					ЕТ та ЕЕ 4815.017.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

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

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

$$3786 < 4000$$

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

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

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

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

					ЕТ та ЕЕ 4815.017.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

2.7. Вибір марки і перетину струмоведучих частин

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

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

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

$I_{\text{дл доп}}$ – 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:

$$I_{\text{дл доп}} \geq k_z \cdot I_z \quad (78)$$

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

k_z – 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_z приймається рівним 1.

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

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

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

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

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

					ЕТ та ЕЕ 4815.017.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

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

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

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

Обираємо 4-х жильний кабель типу АВВГ 3х150

Перевіряємо на відповідність захисту $I_{\text{дл доп}} \geq k_z \cdot I_z$,

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

Перевіряємо аналогічно: $I_{\text{дл доп}} \geq k_z \cdot I_z$,

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

Перевіряємо вибрані кабелі по втраті напруги:

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

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

де I_p – розрахунковий струм;

l – довжина кабелю;

r_0, x_0 – питомі активний та індуктивний опори кабелю.

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

$0,05 \cdot U_n = 19$ В

$0,3 < 19$

					ЕТ та ЕЕ 4815.017.000 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	І _{ном} /0,85	Номінальний струм розчеплювача	Кратність відключаємого струму	Тип автомата	Марка і переріз СВЧ	Ідл доп
	Розрахункове навантаження		Розрахунковий струм		Піковий струм		І _p /0,85					
1	1	0,80	2,1	6	12,7	0,85	2,5	3	30	ВА 47-29	АВВГ (3х4)	38
2	40	0,60	111,3	6	667,8	0,85	130,9	160	1600	ВА 88-33	2 АВВГ (3х95)	2х165=330
3	80	0,50	270,1	6	1620,6	0,85	317,8	400	2800	ВА 88-35	2 АВВГ (3х185)	2х260=520
ШМА - ШРА			1146,2		2766,8	0,85	1348,5	1600	11200	АВМ20С	ШРА-73/2070 120х10	2070
КТП-ШМА			3407,4			0,9	3786,0	4000	18900	ЕО25С	2ШРА-73/2070 120х10	4140
Секційний на ШМА			2044,4			0,85	2405,2	2500	125000	ЕО25С	2ШРА-73/1320 80х8	2х1320=2640

ЕТ та ЕЕ 4815.017.000 ПЗ

Лист

2.8 Розрахунок струмів короткого замикання в мережі до 1 кВ

Метою розрахунку струмів к. з. у мережах до 1 кВ є перевірка вибраних автоматів і шинопроводів на стійкість дії струмів к. з., автоматів - по граничному струму відключення і на чутливість захисту.

Для перевірки захисних апаратів по граничному струму к. з. визначають максимальне значення струму трифазного к. з., а для перевірки чутливості захисту визначаємо мінімальне значення струму однофазного к. з. в електрично віддаленій від джерела живлення точці мережі.

Особливістю розрахунків струмів к. з. у мережах до 1 кВ є те, що

- розрахунок проводиться в іменованих одиницях;
- при розрахунку струмів к. з. необхідно враховувати активні і індуктивні опори всіх елементів короткозамкнутого ланцюга, включаючи провідники, трансформатори струму, струмові котушки автоматів, дуги, контактів і контактних з'єднань.

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

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

- складається розрахункова схема (рис. 2.6) на яку наносяться струми к. з.;
 - за розрахунковою схемою складається схема заміщення (рис. 2.7), в якій всі елементи розрахункової схеми замінюються активними і індуктивними опорами;
 - розраховуються опори елементів мережі (опори прямої послідовності, опори нульової послідовності, опори ланцюга фаза-нуль);
- визначають величини трифазного та однофазного к. з. у намічених точках мережі.

					ЕТ та ЕЕ 4815.017.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Методика розрахунків струмів к. з. в електроустановках змінного струму
напругою до 1 кВ відповідає ГОСТ 28249–89

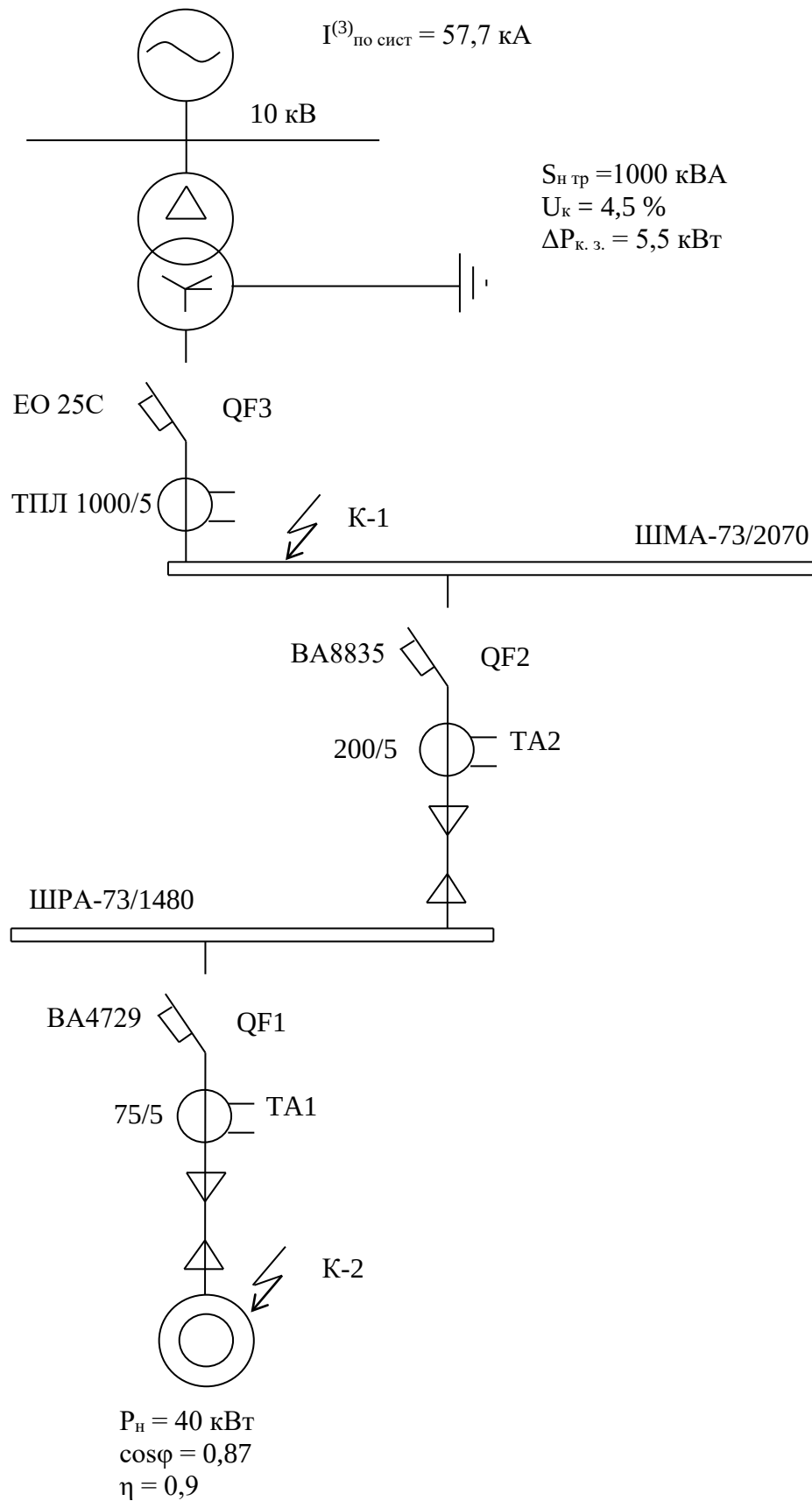


Рис. 2.6. Розрахункова схема

					ET ma EE 4815.017.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

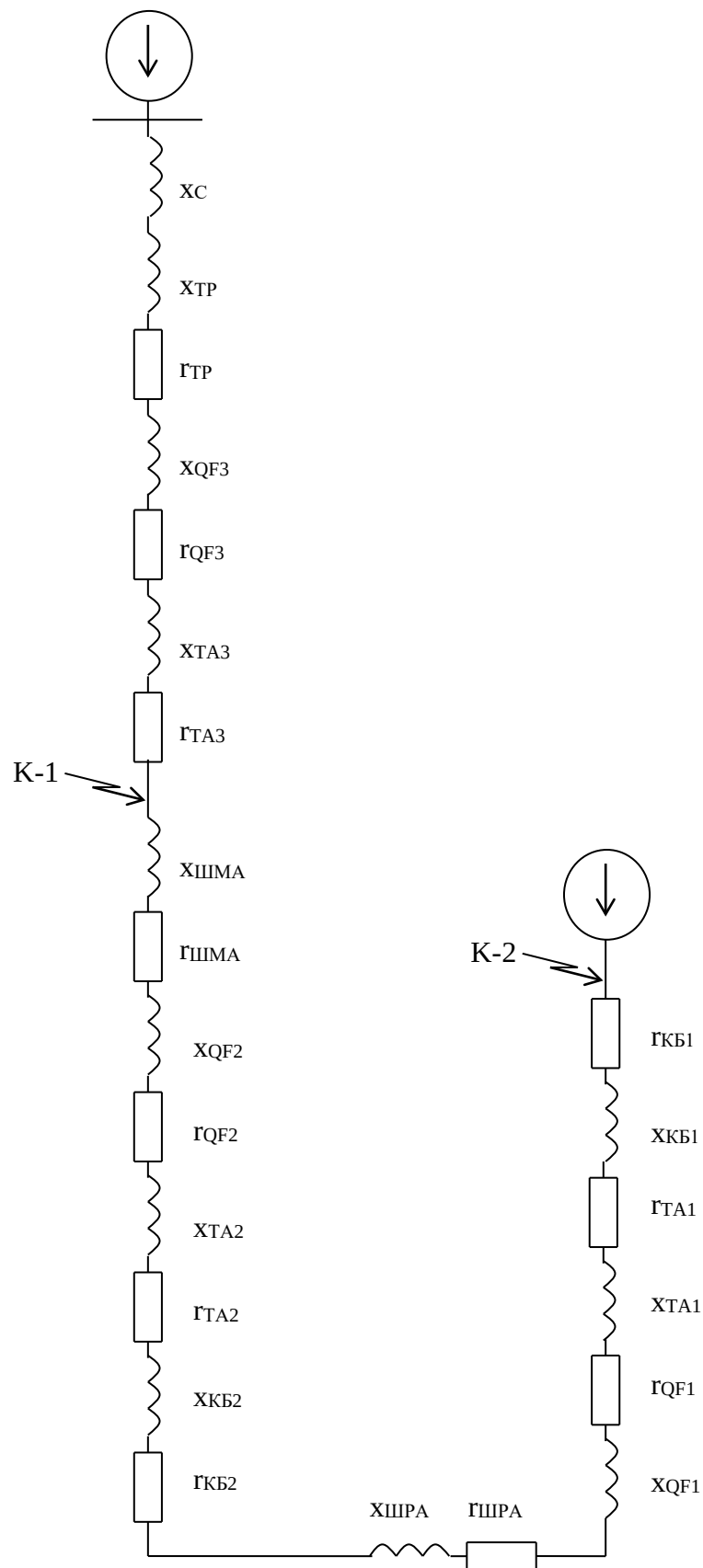


Рис. 2.7. Схема заміщення

					ЕТ та ЕЕ 4815.017.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

2.8.1 Розрахунок початкового значення періодичної складової струму трифазного короткого замикання

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

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

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

Таблиця 2.3

Питомі опори елементів мережі

Опір 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						

$$r_{1\Sigma} = r_{1T} + r_{QF3} + r_{TA3}, \text{ Ом}$$

$$x_{1\Sigma} = x_C + x_{1T} + x_C + x_{QF3} + x_{TA3}, \text{ Ом}$$

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

					ЕТ та ЕЕ 4815.017.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

$$X_C = \frac{U_{\text{ср нн}}^2}{\sqrt{3} \cdot I_{\text{кз вн}} \cdot U_{\text{ср вн}}}, \text{ Ом} \quad (88)$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

					ЕТ та ЕЕ 4815.017.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

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

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

					ЕТ та ЕЕ 4815.017.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

2.8.2 Розрахунок струмів однофазного короткого замикання в точці К - 2

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$r_{0\Sigma} = 12,83 \text{ мОм};$$

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

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

					ЕТ та ЕЕ 4815.017.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Всі обрані автомати перевіряють:

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

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

- на чутливість захисту:

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

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

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

при захисті автоматами з розчеплювачами миттєвого спрацьовування:

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

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

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

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

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

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

Всі автомати задовольняють умовам перевірки на чутливість захисту.

					ЕТ та ЕЕ 4815.017.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

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

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

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

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

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:

$$U_{11} = U_1 + U_{011} - U_{\text{Н1}} - U_{01} - \Delta U_{\text{Т}},$$

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

					ЕТ та ЕЕ 4815.017.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

U_1 – відхилення напруги на первинній стороні трансформатора;

U_{H1} – відхилення від номінальної напруги в мережі високої напруги для основного регулювального відгалуження обмотки ВН;

U_{01} – відхилення напруги регулювального відгалуження;

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

ΔU_T – втрати напруги в трансформаторі:

$$\Delta U_T = \beta \cdot (R_T \cdot \cos \varphi + X_T \cdot \sin \varphi) = \frac{S_p}{S_{H\text{тр}}} \cdot \left(\frac{\Delta P_{K3}}{S_{H\text{тр}}} \cdot \cos \varphi + U_{K3} \cdot \sin \varphi \right) \quad (98)$$

$$\text{або } \Delta U_T = \frac{Q_p}{\sin \varphi} \cdot U_{K3}, \quad (99)$$

де ΔP_{K3} та U_{K3} – паспортні дані трансформатора, відповідно втрати короткого замикання, кВт, і напруга короткого замикання, %.

У застосування до цих умов маємо:

$$S_{H\text{тр}} = 1000 \text{ кВА}; U_{K3} = 5,5\%; \Delta P_{K3} = 4,5 \text{ кВт}.$$

Навантаження трансформатора розраховується по формулі:

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

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

Коефіцієнт активної потужності визначаю, виходячи зі значення коефіцієнта реактивної потужності

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

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

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

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

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

					ЕТ та ЕЕ 4815.017.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

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.

					ЕТ та ЕЕ 4815.017.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

2.10. Проектування однолінійної схеми електропостачання вузла навантаження

Проектований вузол навантаження, на основі аналізу технологічного процесу, класифіковано як споживача II категорії за критерієм безперебійності електропостачання. Цей статус суттєво вплинув на прийняті схемні рішення, серед яких — забезпечення живлення споживачів напругою 0,4 кВ від двох незалежних джерел. Запроваджене резервування на всіх рівнях трансформації підвищує надійність системи, тоді як використання системної автоматики (АВР) на секційних вимикачах не є обов'язковим. При цьому допускається короткочасна перерва електропостачання лише на час оперативного перемикавання на резервне джерело.

З метою зменшення перетоків реактивної потужності у внутрішньозаводських мережах, у рамках дипломного проекту було виконано розрахунок потужності додаткових компенсуючих пристроїв (конденсаторних батарей), які розміщуються безпосередньо поблизу споживачів.

Живлення споживачів 0,4 кВ, рівномірно розміщених по площі цеху, організовано через розподільні шинопроводи, що дозволяє реалізувати гнучку, модульну схему та впровадити індустріальні методи монтажу.

Використання вітчизняного комутаційного, захисного та вимірювального обладнання дає змогу забезпечити необхідну надійність електропостачання при зниженні капітальних витрат на будівництво та монтаж системи.

Електропостачання цеху здійснюється через два магістральні шинопроводи та шість радіальних ліній, основними комутаційними апаратами яких є автоматичні повітряні вимикачі серій ВА-88 та ЕО.

Розроблена схема системи електропостачання відповідає чинним нормативам і вимогам технічного проектування та представлена на рис. 2.8

					ЕТ та ЕЕ 4815.017.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

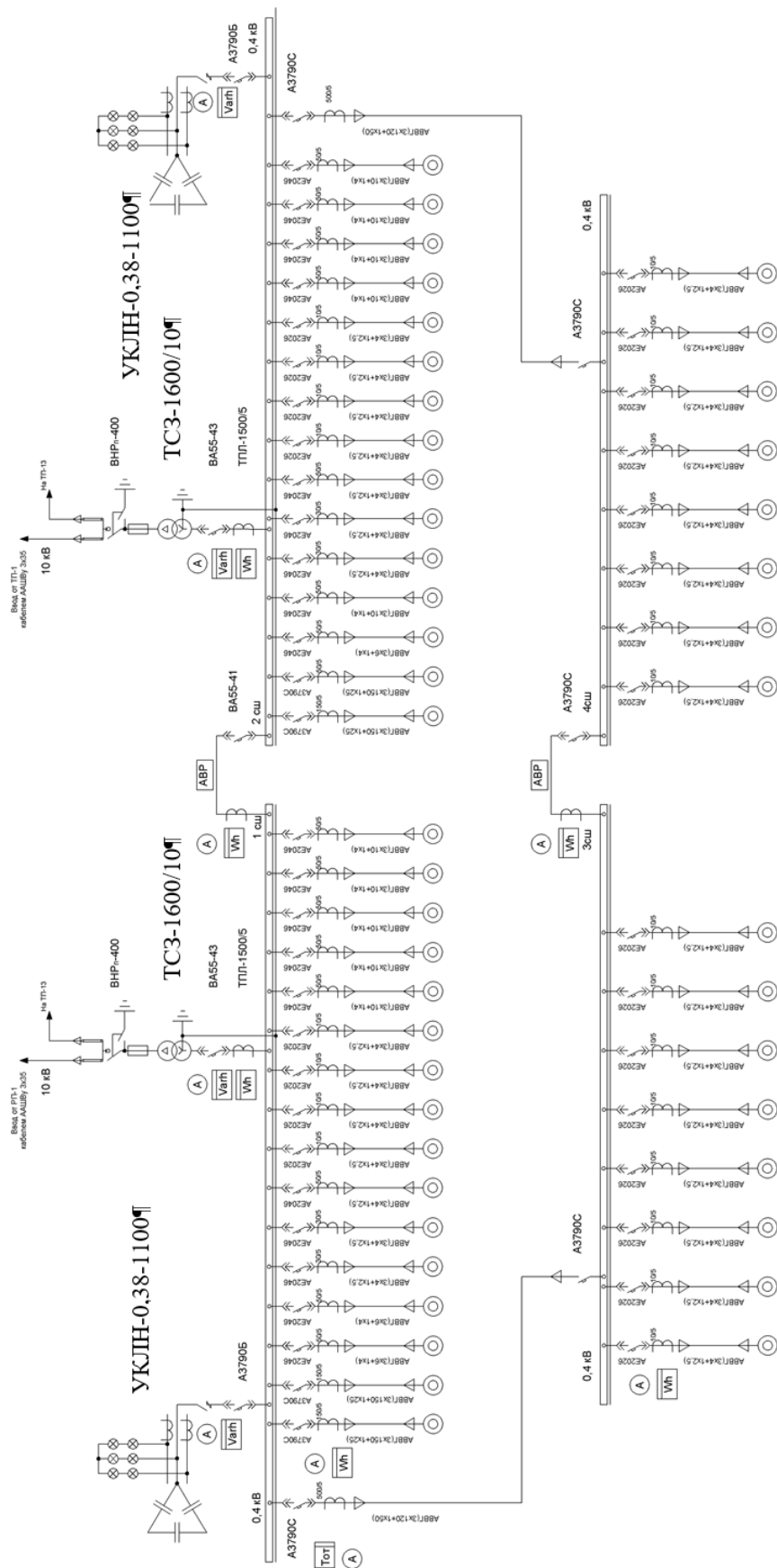


Рис. 2.8. Схема електропостачання цеху

					ET та EE 4815.017.000 ПЗ		Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата			

ВИСНОВОК

У процесі розробки системи електропостачання реалізовано низку технічних рішень, що спрямовані на підвищення надійності та ефективності енергоживлення виробничого цеху:

- впроваджено магістральну схему живлення для трансформаторних підстанцій цеху, що забезпечує гнучкість і зручність монтажу;

- передбачено резервні перемички в мережі напругою до 1 кВ, які дозволяють зберігати безперервність живлення критичних споживачів у разі аварійних ситуацій;

- застосовано пристрої компенсації реактивної потужності безпосередньо в мережах до 1 кВ, що дало змогу зменшити перетоки реактивної енергії та, відповідно, знизити необхідну встановлену потужність цехових трансформаторів.

- при проектуванні схеми електропостачання застосовують з метою підвищення надійності мереж напругою до 1 кВ трансформатори з групою з'єднання обмоток $\Delta/Y_0 - 11$, що в свою чергу забезпечило необхідну чутливість захистів.

					ЕТ та ЕЕ 4815.017.000 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 4815.017.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		