

Міністерство освіти і науки України
Центральноукраїнський національний технічний університет
Факультет будівництва, транспорту та енергетики
Кафедра «Електротехнічні системи та енергетичний менеджмент»

“Допущено до захисту”
Зав. кафедрою ЕТС та ЕМ
к.т.н., професор
_____ Плешков П.Г.
“ ____ ” _____ 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ

на тему:

**Розробка системи електропостачання та обліку елек-
троспоживання ЗАТ “Протеїн-Продакшн”
Development of a power supply and electricity
consumption metering system for CJSC “Protein-
Production”**

Виконав студент 4 курсу групи ЕЕ-21
спеціальності 141 «Електроенергетика, електро-
техніка та електромеханіка»
_____ Свгеній МІШІН
« ____ » _____ 2025 р.

Керівник проекту
доц, канд.техн.наук
_____ Іван САВЕЛЕНКО
« ____ » _____ 2025 р.

Рецензент _____

м. Кропивницький

Міністерство освіти і науки України
Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет будівництва, транспорту та енергетики

Кафедра електротехнічних систем та енергетичного менеджменту

Освітній ступінь бакалавр

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

_____ *Плешков П.Г.*

«_____» _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТА

Мішина Євгенія Олександровича

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи (проекту) *Розробка системи електропостачання та обліку електроспоживання ЗАТ «Протеїн-Продакшн»*

Development of a power supply and electricity consumption metering system for CJSC "Protein-Production"

2. Керівник роботи (проекту) *Савеленко Іван Володимирович, к.т.н., доц.*

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

3. Строк подання студентом роботи до захисту 10.06.2025 р.

4. Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи (проекту) *Розробити систему електропостачання ЗАТ «Протеїн -Продакшн», згідно завдання: Виконати розрахунок електричних та теплових навант. підприємства. Побудувати графіки та картограму електричних навантажень. Виконати вибір варіантів схем електропостачання. Виконати розрахунки режимів реактивної потужності, вибору трансформаторів та струмів КЗ. Вибрати технологічне обладнання в розподільчому пристрої. Розробити спеціальний розділ.*

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
<i>Спеціальний розділ</i>	<i>доцент Гарасьова Н.Ю</i>		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
<i>1</i>	<i>Розрахунок енергетричних навантажень</i>	<i>8.05.25</i>	
<i>2</i>	<i>Побудова графіків ен. навантажень</i>	<i>10.05.25</i>	
<i>3</i>	<i>Побудова картограм ен. навантажень</i>	<i>16.05.25</i>	
<i>4</i>	<i>Вибір напруги і електричних схем електропостачання</i>	<i>18.05.25</i>	
<i>5</i>	<i>Режими реактивної потужності</i>	<i>18.05.25</i>	
<i>6</i>	<i>Вибір трансформаторів</i>	<i>20.05.25</i>	
<i>7</i>	<i>Розрахунок струмів КЗ</i>	<i>24.04.25</i>	
<i>8</i>	<i>Вибір високовольтного обладнання</i>	<i>26.05.25</i>	
<i>11</i>	<i>Спеціальний розділ</i>	<i>30.05.25</i>	
<i>12</i>	<i>Оформлення пояснювальної записки</i>	<i>5.06.25</i>	
<i>13</i>	<i>Виконання графічної частини</i>	<i>8.06.25</i>	

Дата видачі завдання

Підпис керівника _____

« ____ » _____ 2025 р.

Завдання прийнято до виконання

Підпис студента _____

« ____ » _____ 2025 р.

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: 86 с.; 7 рис.; 31 табл.; 10 джерел

Мішін Є. Розробка системи електропостачання та обліку електроспоживання ЗАТ “Протеїн-Продакшн”.– Рукопис.

Development of a power supply and electricity consumption metering system for CJSC “Protein-Production”

Бакалаврська робота за спеціальністю 141 - «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». - Центральноукраїнський національний технічний університет. - м. Кропивницький, 2024 р.

В кваліфікаційній роботі виконано проектування системи електропостачання та розробки системи електропостачання та обліку електроспоживання ЗАТ “Протеїн-Продакшн” і виконаний згідно завдання.

В роботі представлений огляд існуючих рішень, вибрано обладнання та принцип його роботи, розроблена система електропостачання та вибране необхідне обладнання.

В спеціальному розділі розроблено автоматизовану систему обліку і контролю електричної енергії.

електропостачання, АСКОЕ, електричні навантаження, прилади обліку.

ABSTRACT

Qualification work: 86 p.; 7 Fig.; 31 tables; 10 sources

MISHIN Y. Development of a power supply and electricity consumption metering system for CJSC “Protein-Production” – Manuscript.

Розробка системи електропостачання та обліку електроспоживання ЗАТ “Протеїн-Продакшн”

Bachelor's Thesis in the specialty 141 - "Electrical Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics". - Central Ukrainian National Technical University. - Кривушніський, 2025.

This qualification work presents the design of the power supply system and the development of the electricity supply and metering system for JSC “Protein-Production”, completed in accordance with the assigned task.

The work includes an overview of existing solutions, selection of equipment and description of its operation principles, development of the power supply system, and selection of the necessary equipment.

A dedicated section is devoted to the development of an automated system for electricity metering and control.

power supply, SCADA, electrical loads, metering devices.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
1. КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ПІДПРИЄМСТВА 10	
2. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ	12
2.1. Розрахунок силових електричних навантажень в електричних мережах до 1000В. ..	12
2.2. Розрахунок освітлювальних навантажень	21
2.3. Розрахунок електричних навантажень в силових мережах вище 1000 В	24
3. ПОБУДОВА ГРАФІКІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ПІДПРИЄМСТВА ..	29
4. КАРТОГРАМА ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ТА ВИБІР МІСЦЯ РОЗТАШУВАННЯ ЦЕНТРУ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ	35
5. ВИБІР НАПРУГИ І ЕЛЕКТРИЧНИХ СХЕМ ЗОВНІШНЬОГО ТА ВНУТРІШНЬОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВА	37
5.1. Вибір напруги та схеми зовнішнього електропостачання	38
5.2. Вибір напруг і схем внутрішнього електропостачання.	45
6. РЕЖИМ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ. ..	46
6.1. Розрахунок балансу реактивної потужності та вибір компенсуючих пристроїв у високовольтних та низьковольтних мережах	47
6.2. Вибір кількості, потужності та місця розташування компенсуючих пристроїв.	49
7. РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКИХ ЗАМКНЕНЬ ТА ВИБІР ВИСОКОВОЛЬТНОГО ОБЛАДНАННЯ І ВИСОКОВОЛЬТНИХ МЕРЕЖ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ.	54
7.1. Розрахунок струмів короткого замикання.	54
7.2. Вибір кабелів напругою 10 кВ для високовольтної мережі заводу	62
7.3. Вибір електричних апаратів високої напруги	64
7.4. Вибір потужності та схем живлення трансформаторів власних потреб	67
8. РОЗРОБКА СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО КОНТРОЛЮ НА ЗАТ «ПРОТЕЙН- ПРОДАКШИН»	69
8.1. Структура АСКУЕ	70
8.2. Основні функції системи АСКУЕ	71
8.3. Основні задачі АСКУЕ на підприємстві.	75
8.4. Обґрунтування систем комерційного та технічного обліку і контролю системи електроспоживання.	76
8.5. Вибір електричних схем лічильників та вибір трансформаторів струму та трансформаторів напруги.	77
9. ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	84
10. СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.	86

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Літера	Аркуш	Аркушів
Розробив		Мішин Є.О.					
Перевірів		Савеленко І.В.				6	86
Н. Контр.					ЕЕ-21, ЦНТУ		
Затв.		Плешков П.Г.					

Розробка системи електропостачання та обліку електро-
споживання ЗАТ “Протеїн-
Продакшн”

Вступ

У сучасному промисловому виробництві, зокрема у сфері переробки сільськогосподарської сировини, електроенергія є критичним ресурсом, від якого безпосередньо залежить якість, продуктивність та рентабельність виробництва.

Забезпечення безперебійної подачі електроенергії та точного обліку її споживання є ключовими факторами стабільної роботи таких об'єктів, а також важливим елементом загальної стратегії енергоефективності.

Одним із провідних підприємств олієжирової галузі України є промислове підприємство "Протеїн-Продакшн", розташоване в Кіровоградській області. Це підприємство спеціалізується на повній переробці сої та має у своєму складі сучасні виробничі лінії екстракції олії, що дозволяють досягати високого ступеня вилучення корисних речовин із сировини. Технологічні процеси включають підготовку сировини, екструзію, екстракцію, сушіння, очищення олії, а також утилізацію побічних продуктів, що потребують комплексного енергетичного забезпечення.

З точки зору електропостачання, технологічні процеси заводу є критичними до параметрів якості електроенергії: необхідна стабільна напруга, мінімальні коливання частоти та висока надійність живлення. Більшість обладнання — це потужні електроприводи, насоси, теплообмінники, автоматизовані системи керування та контрольно-вимірювальні прилади, що функціонують у безперервному режимі. Особливо енергоємними є установки екструзії та екстракції, які працюють при високих температурах і тисках та вимагають значних енергетичних ресурсів. У разі збоїв у живленні можливі зупинки виробництва, втрати сировини та пошкодження обладнання.

У такому середовищі відсутність точного обліку та системи моніторингу енергоспоживання фактично означає втрату контролю над значною частиною виробничої собівартості.

									Арк.
									7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата					

робничі потужності до змін тарифної політики, обсягу замовлень і технічного стану обладнання. За допомогою системи моніторингу можна інтегрувати енергетику у загальну модель керування ефективністю виробництва. Вона дозволить бачити справжню картину енергоспоживання, розкривати потенціал для економії, виводити енергетику на рівень точного управління та відповідальної аналітики.

У зв'язку з розширенням виробничих потужностей та впровадженням енергоємного обладнання, постала необхідність у розробці ефективної системи електропостачання та впровадженні сучасних засобів обліку електроспоживання.

Метою даної бакалаврської роботи є розробка системи електропостачання та обліку електроспоживання ЗАТ "Протеїн-Продакшн" з урахуванням специфіки виробничих процесів, енергетичних навантажень та сучасних вимог до енергоефективності. У роботі розглянуто технічні рішення щодо побудови системи електропостачання, вибору електротехнічного обладнання, засобів обліку та контролю, а також наведено рекомендації щодо оптимізації енергоспоживання на підприємстві.

									Арк.
									9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата					

1. Коротка характеристика технологічного процесу підприємства

Підприємство з іноземними інвестиціями ЗАТ “Протеїн-Продакшн” є одним із найсучасніших заводів олієжирової промисловості Кіровоградської області. Завдяки впровадженню передових технологій та модернізованих виробничих ліній, на підприємстві функціонують вискоєфективні комплекси екстракції, що забезпечують повноцінну глибоку переробку сировини для отримання рослинної олії та тваринних жирів.

Завод спеціалізується на повному циклі переробки сої за сучасними технологічними стандартами. Проектна потужність підприємства становить 264 тонн соєвого насіння на добу, що відповідає 83 160 тонн на рік. У реальних умовах виробництво досягло фактичної переробки у 264 т/добу, що свідчить про повну реалізацію проектного потенціалу із приростом продуктивності на 10%.

Основна сировина – соєве насіння згідно з ДСТУ 4964:2008. У результаті переробки утворюються:

- * Нерафінована соєва олія – 39,6–48,4 тонн/доба (ДСТУ 4534:2006),
- * Соєвий шрот (гранульований/не гранульований) – 154–185 тонн/доба (ДСТУ 4230:2003),
- * Побічний продукт: соєве лушпиння – 13,2 тонн/доба.

Енергоспоживання в межах технологічного процесу зросло пропорційно:

- * Водоспоживання – 261,8 м³/доба (1,08 м³/т) з артезіанських свердловин (КП «Теплоенергетик»),
- * Електроенергія – 22 430,1 кВт·год/доба (92,90 кВт·год/т), яка подається через власну підстанцію 35/10 кВ і 3 ТП 10/0,4 кВ,
- * Природний газ – 16 133,7 м³/доба (64,99 м³/т), що використовується для сушіння та генерації пари на котельні,
- * Водовідведення – 62,3 м³/доба після біологічного очищення в установках «КУБО».

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		10

Основні виробничі дільниці:

1. Ділянка приймання сої:

- * Продуктивність приймання з авто- і залізничного транспорту – 44 т/год,
- * Потужність обладнання – 266,93 кВт,
- * Сховище місткістю 6600 тонн.

2. Підготовче відділення:

- * Потужність – 932,26 кВт, площа – 1023 м²,
- * Добова продуктивність – 264 т,
- * Включає повний цикл підготовки насіння до екстракції: очищення, сушка, плющення, експандування, охолодження.

3. Цех екстракції гексаном:

- * Потужність – 1428,09 кВт, площа – 792 м²,
- * Продуктивність – 264 т/доба,
- * Основні етапи: екстрагування, дистиляція, тестування, адсорбція,
- * Витрати гексану – 1,43 кг/т.

4. Сховище гексану:

- * Три підземні резервуари по 53,9 м³:
 - * для свіжого, оборотного та аварійного розчинника.

5. Ділянка гранулювання та відвантаження шроту:

- * Площа – 1980 м²,
- * Продуктивність – 7,712 т/год (58 300 т/рік),
- * Потужність обладнання – 1901,27 кВт,
- * Об'єм одночасного зберігання – 2692,8 м³ (1650–1760 т).

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата					11

2. Розрахунок електричних навантажень

Визначення розрахункових електричних навантажень електроприймачів проводиться з використанням методу упорядкованих діаграм, який забезпечує точне врахування режимів їх роботи та структури підприємства.

2.1. Розрахунок силових електричних навантажень в електричних мережах до 1000В

Для коректного визначення електричних навантажень у розподільчих мережах низької напруги (до 1000 В) доцільно дотримуватися поетапної процедури розрахунку, яка забезпечує високу точність результатів та враховує особливості роботи електроприймачів. Розрахунок виконується з дотриманням послідовного алгоритму. На першому етапі для розрахункової групи споживачів визначається загальна кількість силових електроприймачів, після чого виконується сумування їх номінальних потужностей.

Далі для груп споживачів розраховуються середні значення активного та реактивного навантаження для електроприймачів, що перебувають у робочому режимі, після чого визначаються груповий коефіцієнт використання потужності, а також середньозважений коефіцієнт потужності, що характеризує сукупну енергетичну ефективність споживачів у вузлі.

За допомогою графіків або табличних даних встановлюється коефіцієнт максимуму, після чого визначається максимальне розрахункове навантаження для групи силових електроприймачів.

На завершальному етапі визначається загальне розрахункове силове навантаження для вузла шляхом підсумовування максимального навантаження від електроприймачів зі змінним графіком роботи та середніх значень навантаження від споживачів з постійним режимом функціонування.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		12

Надалі буде наведено детальний приклад розрахунку електричних навантажень у мережі напругою до 1000 В для електромагнітного сепаратора як одного з характерних промислових споживачів.

В цеху гексанової екстракції встановлено Завантажувальні конвейери ($n = 6$, $\sum P_n = 1,5-3,7$ кВт) з довідникової літератури знаходимо коефіцієнти використання та потужності відповідно: $K_u = 0,03$, $\cos\varphi = 0,7$ (відповідно знаходимо тангенс $\operatorname{tg}\varphi = 1,02$). Визначаємо середнє активне та реактивне навантаження:

$$P_{cm} = K_u \cdot \sum P_n = 0,03 \cdot 15,6 = 0,47 \text{ кВт};$$

$$Q_{cm} = P_{cm} \cdot \operatorname{tg}\varphi = 0,48 \cdot 1,02 = 0,48 \text{ кВар}.$$

Аналогічний розрахунок виконується для інших груп споживачів.

Визначаємо по цеху гексанової екстракції (розрахунковий вузол):

- кількість споживачів $n = 38$;
- сумарну номінальну потужність $\sum P_n = 254,49$ кВт;
- сумарне активне та реактивне навантаження

$$\sum P_{cm} = 134 \text{ кВт}$$

$$\sum Q_{cm} = 102 \text{ кВар}.$$

Визначасмо середньозважений коефіцієнт потужності, груповий коефіцієнт використання:

$$\operatorname{tg}\varphi = \sum Q_{cm} / \sum P_{cm} = 102 / 134 = 0,76 \text{ (якому, відповідає } \cos\varphi = 0,8\text{);}$$

$$K_{II} = \sum P_{cm} / \sum P_n = 134 / 454,5 = 0,53;$$

$$n_e = 2 \cdot \sum P_n / P_{n.\max} = 2 \cdot 454,5 / 50 = 10,17 < n_{\text{фіз}} = 38, \text{ тому } n_e = 10.$$

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		13

За таблицями довідникової літератури в залежності від K_u та n_e знаходиться коефіцієнт максимуму $K_M = 1,35$.

Розрахункове активне та реактивне, а також повне навантаження визначаємо:

$$P_p = \sum P_{cm} \cdot K_M = 134 \cdot 1,35 = 180,5 \text{ кВт};$$

$$Q_p = Q_{cm} = 112,2 \text{ кВар};$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{180,5^2 + 112,2^2} = 212,5 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

Аналогічним чином проводиться визначення розрахункових навантажень по інших розрахункових вузлах та заводу в цілому. Результати розрахунку зведені до таблиці 2.1. Розрахунок проводиться з допомогою в MicrosoftExcel.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		14

Таблиця 2.1. Розрахунок силових електричних навантажень в мережі 0,4 кВ

№	Назва вузлів навантаження та груп електроприймачів	Кількість ел. споживачів	Встановлена потужність, кВт		m	Kв	cosφ	tgφ	Середнє навантаження за зміну		Км	Розрахункова потужність,			
			Одного	Сумарна					Рср	Qср		Pp	Qp	Sp	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	Пролейн-продакшин														
1	Цех гексанової екстракції														
	Вентилятори сантехнічні	3	0,8 - 5,5	9,4	7	0,7	0,8	0,88	6,6	5,79					
	Вентилятори	2	25 - 25	50,0	1	0,6	0,8	0,7	30,0	20,9					
	Вібросила	1	1,5 - 1,5	1,5	1	0,7	0,7	1,17	1,1	1,2					
	Вібросила	1	1,5 - 1,5	1,5	1	0,6	0,8	0,7	0,9	0,6					
	Гвинтові конвейєри	2	7,5 - 7,5	15,0	1	0,7	0,8	0,75	9,8	7,31					
	Гексанові насоси	5	0,8 - 2,2	7,4	2	0,9	0,9	0,48	6,6	3,2					
	Градирия	1	9,3 - 9,3	9,3	1	0,6	0,8	0,7	5,6	3,9					
	Дозатори	2	0,8 - 0,8	1,5	1	0,6	0,8	0,7	0,9	0,6					
	Екстрактор	2	3,7 - 3,7	7,4	1	0,4	0,6	1,33	3,0	3,9					
	Завантажувальні конвейєри	6	1,5 - 3,7	15,6	2	0,03	0,7	1,02	0,47	0,48					
	Насоси	4	0,4 - 5,5	11,7	14	0,4	0,6	1,33	4,1	5,5					
	Охолоджувачі подрібненої маси	2	7,5 - 7,5	15,0	1	0,1	0,5	1,73	1,8	3,12					
	Повітряні шлюзи	2	1,1 - 1,1	2,2	1	0,1	0,5	1,73	0,3	0,5					
	Роторні клапани	2	0,8 - 0,8	1,5	1	0,7	0,7	1,02	1,1	1,1					
	Система охолодження води	1	5,5 - 5,5	5,5	1	0,4	0,7	1,02	1,9	2,0					
	Тостери	2	50 - 50	100,0	1	0,6	0,8	0,7	60,0	41,9					
	Всього	38	0,4 - 50,0	254,49	135	0,5	0,8	0,76	134,0	102,0	10	1,35	180,5	112,23	212,52
2	Бункер жирної целюстки														
	Гвинтовий конвейєр	2	8 - 12	19,5	1	0,4	0,80	0,75	6,8	5,1					
	Насоси уловлювачі волого пилю	2	1 - 1	1,5	1	0,6	0,70	1,02	0,9	0,9					
	Вакуумні насоси	2	7,5 - 8	15,0	20	0,6	0,80	0,75	9,0	6,8					
	Нагнітаючі вентилятори	1	50 - 50	50,0	1	0,6	0,80	0,75	30,0	22,5					
	Вакуумні насоси	2	5,5 - 8	13,0	1	0,6	0,70	1,02	7,8	8,0					

продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	Розвантажувальні конвейери	2	5 - 5	10,0	3	0,60	0,8	0,78	6,0	4,7					
	Всього	11,0	0,8 - 50	109,0	66	0,6	0,8	0,79	60,5	47,9	4	1,59	96,1	52,7	109,6
3	Цех екстракції		-												
	Вентилятори	3	0,8 - 5,5	9,4	7	0,7	0,8	0,88	6,56	5,79					
	Норії	2	7,5 - 7,5	15,0	1	0,7	0,8	0,75	9,75	7,31					
	Завантажувальні конвейери	6	1,5 - 3,7	15,6	2	0,03	0,7	1,02	0,47	0,48					
	Тостери	2	50 - 50	100,0	1	0,6	0,8	0,7	60,0	41,9					
	Вентилятори	2	25 - 25	50,0	1	0,6	0,8	0,7	30,0	20,9					
	Охолоджувачі подрібненої маси	2	7,5 - 7,5	15,0	1	0,1	0,5	1,73	1,80	3,12					
	Повітряні шлюзи	2	1,1 - 1,1	2,2	1	0,1	0,5	1,73	0,26	0,46					
	Екстрактор	2	3,7 - 3,7	7,4	1	0,4	0,6	1,33	2,96	3,95					
	Вентилятори	4	5,5 - 6	29,3	3	0,60	0,8	0,78	17,60	13,66					
	Всього	25	0,8 - 50	243,91	66	0,5	0,8	0,75	129,4	97,6	10	1,34	173,9	107,34	204,32
4	Парк масел														
	Дозатори	6	0,2 - 0,2	1,6	1	0,3	0,75	0,88	0,5	0,4					
	Затвори роторні	4	0,4 - 0,4	2,0	1	0,5	0,85	0,62	0,9	0,6					
	Конвейери	2	1,0 - 11	16,0	20	0,4	0,63	1,23	6,4	7,9					
	Повітряний шлюз	2	0,5 - 1	1,3	1	0,45	0,5	1,73	0,6	1,0					
	Насоси	6	3,0 - 6	34,0	3	0,60	0,8	0,78	20,4	15,8					
	Всього	20	0,2 - 11	54,907	55	0,5	0,7	0,89	28,8	25,7	10	1,35	38,8	28,31	48,05
5	Вагоприймач														
	Конвейери	5	5,7 - 11	42,2	1	0,4	0,6	1,33	16,9	22,5					
	Норії	2	5,5 - 5,5	11,0	1	0,4	0,6	1,33	4,4	5,9					
	Оперативний бункер	2	5,5 - 5,5	11,0	1	0,1	0,7	1,02	1,3	1,3					
	Вентилятори	1	1,1 - 7,5	4,3	6	0,6	0,8	0,75	2,6	1,9					
	Насоси	2	5,5 - 7,5	13,0	1	0,3	0,5	1,98	3,9	7,7					
	Поворотний механізм	2	22 - 22	44,0	1	0,7	0,8	0,75	30,8	23,1					
	Всього	14	0,3 - 30	125,5	100	0,5	0,7	1,04	59,9	62,5	8	1,45	86,9	68,74	110,83
6	Насосна														

продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	Насоси	11	0,5 - 11	63,3	22	0,6	0,7	1,02	38,0	38,7					
	Відділювачі каміння	2	0,5 - 0,5	1,0	1	0,3	0,7	1,02	0,3	0,3					
	Калорифер	2	2 - 2	4,0	1	0,7	0,9	0,48	2,8	1,4					
	Електрофільтри	2	1 - 1	2,0	1	0,7	0,9	0,62	1,4	0,9					
	Всього	17	0,5 - 11	70,25	22	0,6	0,7	0,97	42,5	41,2	13	1,24	52,6	41,25	66,81
7	Підготовче відділення														
	Елеватори	9	3,7 - 3,7	33,3	1	0,5	0,80	0,75	16,7	12,5					
	Електромагнітні сепаратори	2	0,8 - 0,8	1,5	1	0,7	0,78	0,8	1,1	0,8					
	Очисники насіння	2	0,4 - 0,4	0,7	20	0,7	0,80	0,75	0,5	0,4					
	Роторні клапани	2	0,6 - 1	1,1	1	0,20	0,5	1,73	0,2	0,4					
	Сортувальні машини	2	0,4 - 0,4	0,7	3	0,60	0,8	0,78	0,4	0,3					
	Сепаратори	2	0,4 - 0,4	0,7	3	0,40	0,7	1,02	0,3	0,3					
	Відділювачі лузги	2	0,4 - 0,4	0,7	3	0,60	0,8	0,78	0,4	0,3					
	Розрихлювачі	1	11,0 - 11	11,0	3	0,65	1,0	0	7,2	0,0					
	Конвейєри	10	3,7 - 8	56,0	3	0,80	0,7	1,17	44,8	52,4					
	Валкові млини	11	0,4 - 30	167,0	3	0,90	0,7	1,17	150,3	175,8					
	Сушилки насіння	3	7,5 - 45	78,8	3	0,90	0,7	1,17	70,9	82,9					
	Витяжний канал	1	0,2 - 0	0,2	3	0,70	0,7	1,17	0,1	0,1					
	Роторні шлюзи	3	0,6 - 1	2,0	3	0,30	0,7	1,17	0,6	0,7					
	Кондиціонер бобів	1	22,0 - 22	22,0	3	0,70	0,7	1,17	15,4	18,0					
	Сушилка-охолоджувач	10	0,8 - 3,7	22,3	3	0,50	0,7	1,02	11,1	11,3					
	Жарова шафа	1	15 - 15	15,0	3	0,70	0,9	0,57	10,5	6,0					
	Дозатори автоматичні	4	0,2 - 0	0,8	3	0,30	0,6	1,33	0,2	0,3					
	Вентилятори	4	3,7 - 23	52,4	3	0,70	0,8	0,78	36,7	28,5					
	Всього	70	0,2 - 45	466,32	250	0,8	0,7	1,06	367,5	391,0	21	1,07	391,5	391,04	553,36
8	Силоси														
	Очисники насіння	2	5,5 - 7,5	17,3	1	0,3	0,7	1,02	5,2	5,3					
	Конвеєри	2	2,2 - 3	6,9	1	0,2	0,5	1,73	1,4	2,4					
	Норії	5	5,5 - 15	68,3	2	0,3	0,5	1,98	20,5	40,7					
	Силоси	4	0,4 - 5,5	15,7	14	0,7	0,7	1,02	11,0	11,2					

продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	Вентилятори	3	2,2 - 3,7	11,8	1	0,7	0,8	0,75	8,3	6,2					
	Повітряні шлюзи	2	1,1 - 1,1	2,9	1	0,2	0,7	1,02	0,6	0,6					
	Всього	18	0,4 - 15	122,99	40	0,4	0,6	1,42	46,9	66,4	16	1,38	64,5	66,36	92,53
9	Вентиляторна														
	Вентилятори аспірації	3	2 - 3,7	11,4	1	0,6	0,8	0,88	6,8	6,0					
	Калорифер	1	6 - 6	8,0	1	0,5	0,9	0,48	3,6	1,7					
	Блок керування вентиляторами	2	2 - 2	5,3	1	0,4	0,6	1,33	1,9	2,5					
	Вентилятори сантехнічні	2	2 - 3,7	7,9	1	0,6	0,8	0,75	4,7	3,5					
	Всього	8	2,0 - 6	32,6	3	0,5	0,8	0,81	17,0	13,8	8	1,40	23,9	15,19	28,31
10	Автоприймомний пункт гексану														
	Конвейери	4	7,0 - 11,0	36,0	1	0,6	0,9	0,48	21,60	10,46					
	Очисники	2	5,5 - 5,5	11,0	1	0,8	0,8	0,75	8,80	6,60					
	Вентилятори	2	2,2 - 7,5	9,7	3	0,6	0,8	0,75	5,82	4,37					
	Автовантажувач	2	22,0 - 22,0	44,0	1	0,3	0,6	1,33	13,20	17,60					
	Всього	10	2,2 - 22	100,7	10	0,5	0,8	0,79	49,42	39,03	9	1,41	69,5	42,93	81,67
11	Адміністративний корпус														
	Холодильники	8	1,5 - 5	26,0	3	0,8	0,8	0,75	20,8	15,6					
	Оргтехніка	56	0,3 - 1,5	50,4	5	0,6	0,7	1,02	30,2	30,9					
	Бойлери	4	2 - 4	12,0	2	0,6	0,8	0,75	7,2	5,4					
	Вентилятори	4	3 - 11	28,0	3	0,7	0,8	0,75	18,2	13,7					
	Електроплити	4	10,0 - 10,0	40,0	1	0,5	0,9	0,48	20,0	9,7					
	Вентилятори	4	3,0 - 5,5	17,0	1	0,6	0,8	0,75	10,2	7,7					
	Всього	80,0	0,3 - 11	173,4	36	0,6	0,8	0,78	106,6	82,8	32	1,14	121,2	82,84	146,81
12	Насосна														
	Насоси	6	5,5 - 22,0	110,0	4	0,6	0,8	0,75	66,0	49,5					
	Компресори	1	1,5 - 1,5	2,0	1	0,6	0,8	0,75	1,2	0,9					
	Всього	7	1,5 - 22	112	14	0,6	0,8	0,75	67,2	50,4	7	1,35	90,9	55,44	106,50
13	Віزرочне відділення														

продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	Виробувальні устаткування	3	1,5 - 4	11,0	2	0,5	0,6	1,33	5,5	7,3					
	Насоси	2	0,3 - 1,2	2,0	4	0,6	0,8	0,75	1,20	0,90					
	Преси	2	0,5 - 0,5	1,3	1	0,4	0,6	1,33	0,53	0,71					
	Вентилятори	4	0,2 - 5,5	15,1	36	0,6	0,8	0,75	9,04	6,78					
	Всього	11	0,2 - 5,5	29,4	36	0,6	0,7	0,97	16,3	15,7	11	1,30	21,2	15,72	26,42
14	Ливнева насосна														
	Компресори	1	3 - 10	6,5	3	0,6	0,8	0,88	3,9	3,4					
	Електрофільтри	2	0,1 - 0,5	0,6	5	0,3	0,5	1,73	0,2	0,3					
	насоси	4	11,0 - 11,0	44,0	1	0,6	0,8	0,75	26,4	19,8					
	Вентилятори	1	3,0 - 3,0	3,0	1	0,6	0,8	0,75	1,8	1,4					
	Всього по насосній	8	0,1 - 11	54	110	0,6	0,8	0,77	32,3	24,9	8	1,33	42,9	27,39	50,86
15	Котельня														
	Зарядні пристрої	1	4,0 - 4,0	5,3	1	0,2	0,8	0,75	1,1	0,8					
	Кодіцонері	2	4,0 - 4,0	10,7	1	0,5	0,8	0,75	5,3	4,0					
	Насоси	4	11,0 - 11,0	58,7	1	0,6	0,8	0,75	35,2	26,4					
	Випрямувальні агрегати	1	2,0 - 2,0	2,7	1	0,3	0,9	0,48	0,8	0,4					
	Калорифер	1	0,5 - 0,5	0,7	1	0,6	0,9	0,48	0,4	0,2					
	Вентилятори	2	11,0 - 11,0	29,3	1	0,6	0,8	0,75	17,6	13,2					
	Всього	11	0,5 - 11	107,3	22	0,6	0,8	0,74	60,4	45,0	11	1,30	78,3	44,98	90,34
16	Ремонтна майстерня														
	Металообробні	4	4,0 - 5,0	18,0	1	0,2	0,7	1,02	3,6	3,7					
	Шліфувальні станки	2	3,0 - 3,0	6,0	1	0,1	0,8	0,75	0,7	0,5					
	Насоси	1	0,5 - 0,5	0,5	1	0,6	0,8	0,75	0,3	0,2					
	Зварювальні агрегати	2	6,0 - 6,0	12,0	1	0,4	0,6	1,33	4,8	6,4					
	Вентилятори	2	2,0 - 2,0	4,0	1	0,6	0,8	0,75	2,4	1,8					
	Всього	11	0,5 - 6	41	12	0,3	0,7	1,07	12	13	11	1,59	18,8	12,64	22,62
17	Компресорна														
	Компресори	2	11 - 11	22,0	1	0,6	0,8	0,88	13,2	11,6					
	насоси	2	0,5 - 5,0	5,5	10	0,6	0,8	0,75	3,3	2,5					
	Вентилятори	2	1,1 - 2,0	3,1	1	0,6	0,8	0,75	1,9	1,4					
	Всього по компресорній	6	0,5 - 11	31	22	0,6	0,8	0,84	18,4	15,5	6	1,39	25,5	17,06	30,70

продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
18	Ангар														
	Вентилятори	2	5,0 - 5,0	10,0	1	0,6	0,8	0,75	6,0	4,5					
	Кран балки	2	7,5 - 7,5	15,0	1	0,4	0,6	1,33	6,0	8,0					
	Всього по ангару	4	5,0 - 8	25	1	0,5	0,7	1,04	12,0	12,5	4	1,71	20,6	13,75	24,75
	Всього на стороні 0,4 кВ	369	0,2 - 75	2153	416	0,6	0,7	0,91	1261	1147	57	1,11	1396,8	1146,7	1807,22

2.2. Розрахунок освітлювальних навантажень

Визначення потужності освітлювального навантаження в системах електропостачання промислових об'єктів здійснюється на основі питомого навантаження, що припадає на одиницю корисної площі приміщення. Цей метод дозволяє врахувати специфіку освітлюваного середовища та тип світлотехнічного обладнання.

Установлена потужність електроприймачів освітлення (R_y), кВт, розраховується за формулою:

$$R_y = p_0 \cdot F \cdot 10^{-3}$$

де p_0 — питома потужність освітлювального навантаження, Вт/м²;
 F — площа виробничого приміщення, м².

Розрахункове навантаження освітлювальних електроприймачів (P), кВт, визначається з урахуванням коефіцієнта попиту та поправки на втрати потужності у пускорегулювальній апаратурі:

$$P = K_c \cdot R_y \cdot K_p$$

де K_c — коефіцієнт попиту, що визначається згідно з довідковими табличними даними; K_p — коефіцієнт, який враховує додаткові втрати потужності в пускорегулювальній апаратурі.

У випадку застосування джерел світла, зокрема люмінесцентних або дугових ртутних ламп (ДРЛ), виникає необхідність у врахуванні реактивної складової потужності, що визначається за виразом:

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi$$

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		21

де P_p — активна потужність освітлювального навантаження, кВт; $\operatorname{tg}\varphi$ — тангенс кута зсуву фаз, який залежить від типу ламп.

Для демонстрації методики розрахунку наведемо приклад для виробничого приміщення — цеху гексанової екстракції. Згідно з генеральним планом, площа цеху становить - $F=610 \text{ м}^2$

З довідкових джерел приймаємо:

- питома потужність освітлення: $p_0=12 \text{ Вт/ м}^2$;
- коефіцієнт попиту: $K_c=0,85$;
- тип освітлення — лампи ДРЛ;
- коефіцієнт втрат у ПРА: $K=1,12$;
- $\cos\varphi=0,5$, звідки $\operatorname{tg}\varphi=1,732$.

Установлена потужність:

$$P_y = p_0 \cdot F \cdot 10^{-3} = 12 \cdot 610 \cdot 10^{-3} = 7,32 \text{ кВт},$$

$$Q_y = P_y \cdot \operatorname{tg}\varphi = 7,32 \cdot 0,48 = 9,35 \text{ кВар}.$$

Розрахункове навантаження освітлювальних електроприймачів:

$$P_p = K_c \cdot K_1 \cdot P_y = 0,85 \cdot 1,12 \cdot 7,32 = 6,2 \text{ кВт},$$

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg}\varphi = 6,2 \cdot 0,48 = 3 \text{ кВар}.$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{6,2^2 + 3,0^2} = 6,9$$

Розрахунок освітлювальних навантажень для інших підрозділів заводу зведений в таблиці 2.2.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		22

Таблиця 2.2. Розрахунок освітлювальних навантажень

№	Найменування	F, м ²	P ₀ , Вт/м ²	P _y , кВт	K _c	K ₁	cosφ	tgφ	P _p , кВт	Q _p , квар	S _p , кВА
1	Цех гексанової екстракції	610	12	7,32	0,85	1,12	0,9	0,48	6,2	3,0	6,90
2	Бункер жирної пелюстки	120	8	0,96	0,9	1,12	0,9	0,48	0,9	0,4	0,96
3	Цех екстракції	614	12	7,37	0,9	1,2	0,5	1,73	6,6	11,5	13,26
4	Парк масел	250	8	2,00	0,9	1,12	0,9	0,48	1,8	0,9	2,00
5	Вагоноприймач	230	10	2,30	0,6	1,12	0,9	0,48	1,4	0,7	1,53
6	Насосна	225	8	1,80	0,9	1	1	0	1,6	0,0	1,62
7	Підготовче відділення	1790	14	25,06	0,9	1,12	0,9	0,48	22,6	10,8	25,02
8	Силоси	750	8	6,00	0,9	1,2	0,5	1,73	5,4	9,3	10,79
9	Вентиляторна	100	8	0,80	0,95	1	1	0	0,8	0,0	0,76
10	Автоприймний пункт гексану	250	8	2,00	0,6	1,12	0,9	0,48	1,2	0,6	1,33
11	Адміністративний корпус	950	18	17,1	0,9	1,2	0,5	1,73	15,4	26,6	30,8
12	Насосна	200	8	1,60	0,85	1	1	0	1,4	0,0	1,36
13	Візирочне відділення	280	18	5,04	0,6	1,2	0,5	1,73	3,0	5,2	6,04
14	Ливнева насосна	110	8	0,88	0,5	1	1	0	0,4	0,0	0,44
15	Котельня	690	8	5,52	0,8	1,12	0,9	0,48	4,4	2,1	4,90
16	Ремонтна майстерня	1408	14	19,71	0,85	1,2	0,5	1,73	16,8	29,0	33,48
17	Компресорна	384	8	3,07	0,8	1	1	0	2,5	0,0	2,46
18	Ангар	2220	6	13,32	0,8	1,2	0,5	1,73	10,7	18,4	21,29
19	Територія заводу	1341,00	0,2	26,82	0,6	1,12	0,9	0,48	16,1	7,7	17,85
	Всього								112,8	123,3	167,1

2.3. Розрахунок електричних навантажень в силових мережах вище 1000 В

У процесі розрахунку електричних навантажень у мережах з напругою вище 1000 В розрахунковими вузлами, як правило, вважаються шини трансформаторних підстанцій (ТП) класу 10 кВ. Тому перед початком розрахунків необхідно встановити кількість ТП, визначити потужність трансформаторів, а також обґрунтувати їхнє розміщення на території підприємства.

Для цього застосовують картограму навантаження, яка відображає просторову щільність електроспоживання та дозволяє визначити оптимальну конфігурацію електропостачання. Зокрема, на основі картограми встановлюються схеми живлення цехів, у яких установка індивідуальної ТП є економічно необґрунтованою. У таких випадках забезпечення електропостачання допускається з трансформаторних підстанцій сусідніх виробничих об'єктів напругою 0,4 кВ, за умови дотримання вимог ДСТУ EN 50160, зокрема в частині допустимих відхилень напруги на затискачах електроприймачів.

Зазвичай до споживачів, які можуть бути підключені до сусідніх ТП, належать цехи з розрахунковим навантаженням не більше 250...300 кВ·А та віддаленістю не більше 50...80 м.

Для обчислення загального навантаження в мережах понад 1000 В проводиться підсумовування номінальних потужностей усіх електроприймачів напругою до 1000 В, що живляться від конкретної ТП. При цьому обов'язково враховуються також освітлювальні навантаження.

Для першої групи трансформаторів планується включити наступні підрозділи підприємства: адміністративний корпус, візирочне відділення, освітлення території заводу та насосні. Проектна потужність трансформаторів 1 групи становить:

$$\begin{aligned} S_{p_ТП1} &= 180,5 + 6,2 + 90,9 + 1,4 + 21,2 + 0,4 + 16,1 + 42,9 + 0,4 + 306,3 + 8,5 \\ &= 314,8 \text{ кВт} \end{aligned}$$

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		24

Загальний коефіцієнт завантаження:

$$K_3 = \frac{S_{нТПП\#1,2}}{n \times S_{н.тр}},$$

де $S_{н.тр}$ - номінальна потужність цехового трансформатора, n – кількість трансформаторів у вузлі.

Коефіцієнт завантаження трансформаторів:

$$K_3 = \frac{314,8}{1 \times 630} = 0,66.$$

Розрахункове навантаження ТП_1 складає згідно таблиці 2.3 $P_{р_ТПП\#1}=370,8$ кВт. Обираємо 1×ТМ-630/10/0,4 трансформатор.

Дійсний коефіцієнт завантаження по активній потужності:

$$K_3 = \frac{P_{р_ТПП,2}}{n_{тр} \times S_{н.тр}} = \frac{370,8}{1 \times 630} = 0,654.$$

Розрахунок електричних навантажень в силових мережах вище 1000 В, формується у вигляді таблиці 2.4.

Визначимо втрати в трансформаторах для даної групи ТП1. Номінальні параметри трансформатора ТМ-630/10/0,4:

$$S_{н.тр} = 630 \text{ кВ}\cdot\text{А}; U_n = 10 \text{ кВ}; U_{кз} = 5,5\%; I_{хх} = 2\%; \Delta P_{кз} = 7,6 \text{ кВт}; \Delta P_{хх} = 1,31 \text{ кВт}.$$

$$\Delta P = n \times (\Delta P_{хх} + \Delta P_{кз} \times K_3^2) = 1 \cdot (1,31 + 7,6 \cdot 0,654^2) = 3,21 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q = n \cdot \left(\frac{I_{хх}}{100} \cdot S_n + \frac{U_{кз}}{100} \cdot S_n \cdot K_3^2 \right) = 3 \cdot \left(\frac{2}{100} \cdot 630 + \frac{5,5}{100} \cdot 630 \cdot 0,654^2 \right) = 29 \text{ кВар}.$$

Аналогічно виконані розрахунки і для інших груп трансформаторів, результати яких наведені в таблиці 2.3.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		25

Таблиця 2.3. Розрахунок силових електричних навантажень в мережі 10 кВ

№	Назва вузлів навантаження та груп електроприймачів	Кіл.	Встановлена потужність, кВт		m	Кв	cos	tg	Середнє навантаження			Розрахункова потужність			
			Одного	Сумарна					Рср	Qср	ne	Км	Рр	Qр	Sp
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	ТП№1														
	Адміністративний корпус														
	силова	38	0,37 - 50	254,49	135	0,53	0,8	0,76	133,956	102,0269	10	1,3	180,5	112,2	212,5
	освітлювальна												6,2	3,0	
	Всього по ТП№1														
	силова	64	0,1 - 50	449,99	500	0,55	0,79	0,77	249,709	193,0526	18	1,2	306,3	193,1	362,1
	освітлювальна												8,5	3,0	
	Всього												314,8	196,0	370,8
	БСК													-200,0	
	З урахуванням БСК												314,8	-4,0	
	Втрати в трансформаторі														
	Sn.тр=	1											3,2	29,9	
	Всього на шинах 10 кВ	Кз = 0,6											318,0	26,0	319,1
	ТП№ 2														
	Підготовче відділення														
	силова	70	0,18	45	250	0,79	0,68	1,06	367,461	391,0429	21	1,1	391,5	391,0	553,4
	освітлювальна												22,6	10,8	
	Силоси														
	силова	18	0,37 - 15	122,9867	40	0,38	0,58	1,42	46,8907	66,36149	16	1,4	64,5	66,4	92,5
	освітлювальна												5,4	9,3	
	Вентиляторна														
	силова	8	2 - 6	32,6	3	0,52	0,78	0,81	17,0267	13,80476	8	1,4	23,9	15,2	28,3
	освітлювальна												0,8		
	Автоприймний пункт гексану														
	силова	10	2,2 - 22	100,7	10	0,49	0,78	0,79	49,42	39,02636	9	1,4	69,5	42,9	81,7
	освітлювальна												1,2	0,6	
	Всього по ТП№ 2														

продовження таблиці 2.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	силова	155	0,18 - 45	996,29	250	0,63	0,7	1,02	625,828	637,1123	44	1,1	694,2	637,1	942,3
	освітлювальна												29,9	20,7	
	Всього												724,2	657,9	978,4
	БСК													-266	
	З урахуванням БСК												724,2	391,9	
	Втрати в трансформаторі Сн.тр=	630											7,6	65,0	
	Всього на шинях 10 кВ	ТП№ 2											731,8	456,9	862,7
	ТП№3	Кз = 0,8													
	Цех гексанової екстракції														
	силова	38	0,37 - 50	254,49	135	0,53	0,8	0,76	133,956	102,0269	10	1,3	180,5	112,2	212,5
	освітлювальна												6,2	3,0	
	Вагонопримач														
	силова	14	0,3 - 30	125,5	100	0,48	0,69	1,04	59,88	62,49458	8	1,5	86,9	68,7	110,8
	освітлювальна												1,4	0,7	
	Бункер жирної пелюстки														
	силова	11	0,75 - 50	109	66	0,56	0,78	0,79	60,525	47,90103	4	1,6	96,1	52,7	109,6
	освітлювальна												0,9	0,4	
	Цех екстракції														
	силова	25	0,75 - 50	243,9083	66	0,53	0,8	0,75	129,405	97,57863	10	1,3	173,9	107,3	204,3
	освітлювальна												6,6	11,5	
	Всього по ТП№3														
	силова	88	0,3 - 50	732,8983	166,7	0,52	0,78	0,81	383,766	310,0011	29	1,2	455,7	310,0	551,1
	освітлювальна												15,1	15,5	
	Всього												470,8	325,5	572,4
	БСК													-200	
	З урахуванням БСК												470,8	125,5	
	Втрати в трансформаторі Сн.тр=	630											5,6	38,5	
	Всього на шинях 10 кВ	ТП№3											476,3	164,0	503,8
	Кз = 0,95														

продовження таблиці 2.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	Всього по заводу														
	силова	369	0,18 - 75	2152,995	416	0,59	0,74	0,91	1260,76	1146,711	57	1,1	1396,8	1146,7	1807,2
	освітлювальна												112,8	123,3	
	Всього												1509,6	1270,0	1972,8
	Компенсуючі пристрої													-300	
	Всього з врахуванням КП-0,4												1509,6	970,0	1794,4
	Втрати в трансформаторах	4											16,4	133,4	
	Всього по заводу												1526,0	1103,4	1883,2
	Компенсуючі пристрої 10 кВ													-600	
	Всього на шинах 10 кВ												1526	503,4	1606,93
													tgφсис=	0,25	

3. Побудова графіків електричних навантажень підприємства

На основі результатів проведених вимірювань на підприємстві формується добовий графік навантажень для зимового та літнього періодів, що відображає зміну активної $P(t)$, реактивної $Q(t)$ та повної потужності $S(t)$ з урахуванням режиму роботи — кількості робочих та вихідних днів.

Річний графік навантаження за тривалістю будується шляхом узагальнення типових добових графіків та відображає зміну навантаження впродовж року.

На основі добових графіків визначається завантаження силових трансформаторів, а також встановлюються значення мінімального та максимального навантаження, необхідні для розрахунку режимів напруги в електричній мережі підприємства.

Річний графік використовується для визначення обсягів споживання активної та реактивної електроенергії протягом року, середньоквадратичного коефіцієнта потужності, тривалості використання максимуму навантаження T_{max} , а також річного еквівалентного часу повних втрат енергії τ_{max} .

В якості вихідних даних для побудови графіків беремо розрахункові навантаження заводу з урахуванням попередньої компенсації з таблиці 2.3.

$$P_{max} = 1526 \text{ кВт}; Q_{max} = 246 \text{ кВар}; S_{max} = 1545 \text{ кВ*А.}$$

Таблиця 3.1. Активне навантаження по сезонам року

Години	Навантаження робочої доби				Навантаження вихідної доби			
	%	Зима ($P_{зр}$), кВт	%	Літо ($P_{лр}$), кВт	%	Зима ($P_{зв}$), кВт	%	Літо ($P_{лв}$), кВт
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	82	1066,1	82	1254,2	69	1066,1	82	1254,2
2	75	977,3	75	1149,7	64	977,3	75	1149,7
3	73	959,5	73	1128,8	62	959,5	73	1128,8
4	100	1297,1	100	1526,0	85	1297,1	100	1526
5	67	870,7	67	1024,3	57	870,7	67	1024,3

продовження таблиці 3.1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
6	56	728,5	56	857,1	47	728,5	56	857,07
7	58	764,0	58	898,9	50	764,0	58	898,8
8	67	870,7	67	1024,3	57	870,7	67	1024,3
9	72	941,7	72	1107,9	61	941,7	72	1107,9
10	64	835,1	64	982,5	54	835,1	64	982,5
11	64	835,1	64	982,5	54	835,1	64	982,5
12	76	995,0	76	1170,6	65	995,0	76	1170,6
13	91	1190,5	91	1400,6	78	1190,5	91	1400,6
14	79	1030,6	79	1212,4	67	1030,6	79	1212,4
15	69	906,2	69	1066,1	59	906,2	69	1066,1
16	87	1137,2	87	1337,9	74	1137,2	87	1337,9
17	52	675,2	52	794,4	44	675,2	52	794,4
18	46	604,1	46	710,7	39	604,1	46	710,7
19	69	906,2	69	1066,1	59	906,2	69	1066,1
20	57	746,3	57	878,0	48	746,3	57	878,0
21	57	746,3	57	878,0	48	746,3	57	878,0
22	52	675,2	52	794,4	44	675,2	52	794,4
23	58	764,0	58	898,9	50	764,0	58	898,9
24	57	746,3	57	878,0	48	746,3	57	878,0
Σдобове		21268,9		25022,22		21268,89		25022,22

Таблиця 3.2. Реактивне навантаження по сезонам року

Години	Навантаження робочої доби				Навантаження вихідної доби			
	%	Зима (Q _{зр}), кВар	%	Літо (Q _{лр}), кВар	%	Зима (Q _{зв}), кВар	%	Літо (Q _{лв}), кВар
1	63	133,5	63	157,0	63	157,0	54	133,5
2	61	129,0	61	151,8	61	151,8	61	151,8
3	57	120,1	57	141,3	57	141,3	57	141,3
4	100	209,1	100	246,0	100	246,0	100	246,0
5	57	120,1	57	141,3	57	141,3	57	141,3
6	34	71,2	34	83,7	34	83,7	34	83,7
7	36	75,6	36	89,0	36	89,0	36	89,0

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата

Арк.

30

продовження таблиці 3.2.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
8	40	84,5	40	99,4	40	99,4	40	99,4
9	46	97,9	46	115,1	46	115,1	46	115,1
10	40	84,5	40	99,4	40	99,4	40	99,4
11	48	102,3	48	120,4	48	120,4	48	120,4
12	74	155,7	74	183,2	74	183,2	74	183,2
13	76	160,2	76	188,4	76	188,4	76	188,4
14	74	155,7	74	183,2	74	183,2	74	183,2
15	63	133,5	63	157,0	63	157,0	63	157,0
16	74	155,7	74	183,2	74	183,2	74	183,2
17	27	57,8	27	68,0	27	68,0	27	68,0
18	29	62,3	29	73,3	29	73,3	29	73,3
19	57	120,1	57	141,3	57	141,3	57	141,3
20	51	106,8	51	125,6	51	125,6	51	125,6
21	42	89,0	42	104,7	42	104,7	42	104,7
22	27	57,8	27	68,0	27	68,0	27	68,0
23	27	57,8	27	68,0	27	68,0	27	68,0
24	25	53,4	25	62,8	25	62,8	25	62,8
Σдобове		2593,73		3051,4		3051,447		3027,9

Річні витрати активної та реактивної енергії енергії:

$$\begin{aligned}
 W_p &= P_{зр\Sigma} \cdot 143 + P_{зв\Sigma} \cdot 65 + P_{лр\Sigma} \cdot 105 + P_{лв\Sigma} \cdot 48 = \\
 &= 21269 \cdot 147 + 21269 \cdot 65 + 25022 \cdot 105 + 25022 \cdot 48 = 8337403 \text{ кВт*год} \\
 V_p &= Q_{зр\Sigma} \cdot 143 + Q_{зв\Sigma} \cdot 65 + Q_{лр\Sigma} \cdot 105 + Q_{лв\Sigma} \cdot 48 = \\
 &= 2594 \cdot 147 + 3051,4 \cdot 65 + 3051 \cdot 105 + 3027,9 \cdot 48 = 1045363,1 \text{ кВАр*год}
 \end{aligned}$$

Час використання максимуму навантаження:

$$T_m = \frac{\sqrt{W_p^2 + V_p^2}}{S_p} = \frac{\sqrt{8337403,43^2 + 1045363^2}}{1546} = 5436 \text{ год.}$$

Час максимальних втрат:

$$\tau = \left(0,124 + \frac{T_m}{10^4}\right)^2 8760 = \left(0,124 + 5436/10^4\right)^2 8760 = 3904 \text{ год.}$$

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата					31

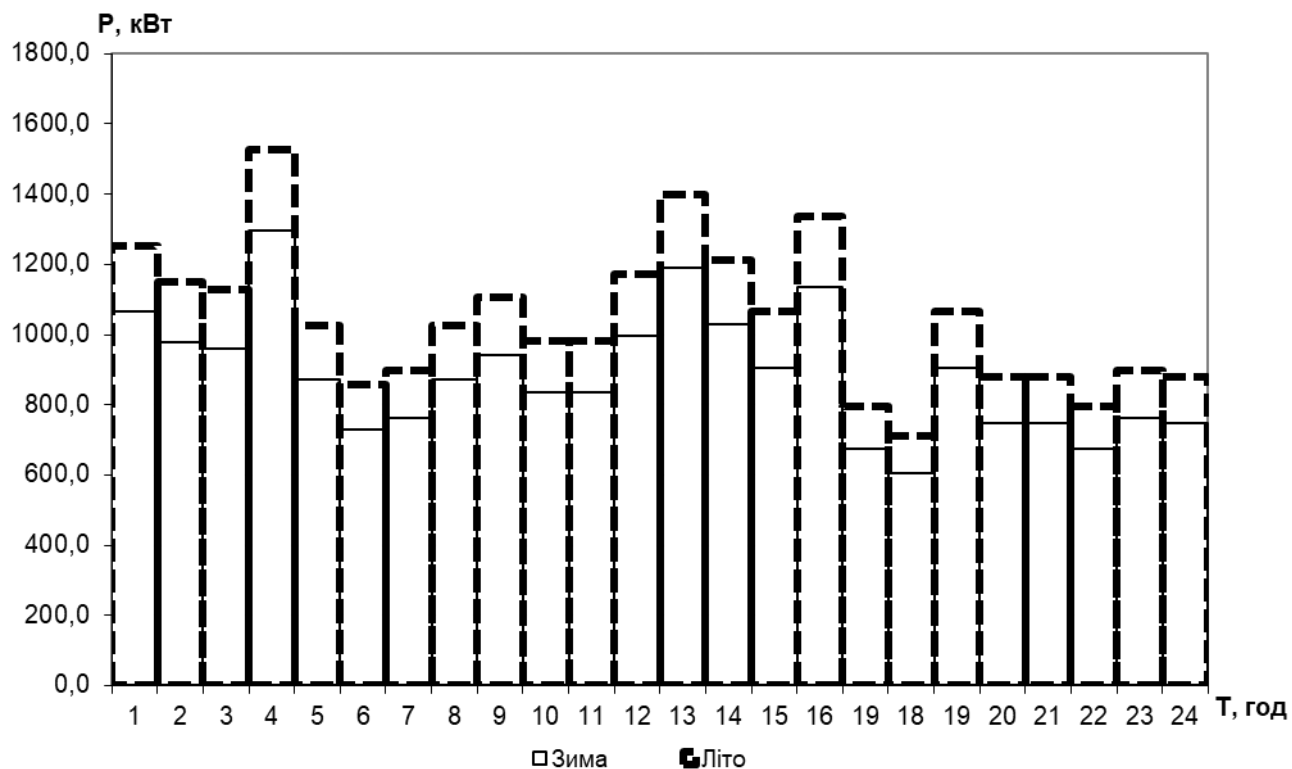


Рис. 3.1 Споживання активної потужності в робочий день

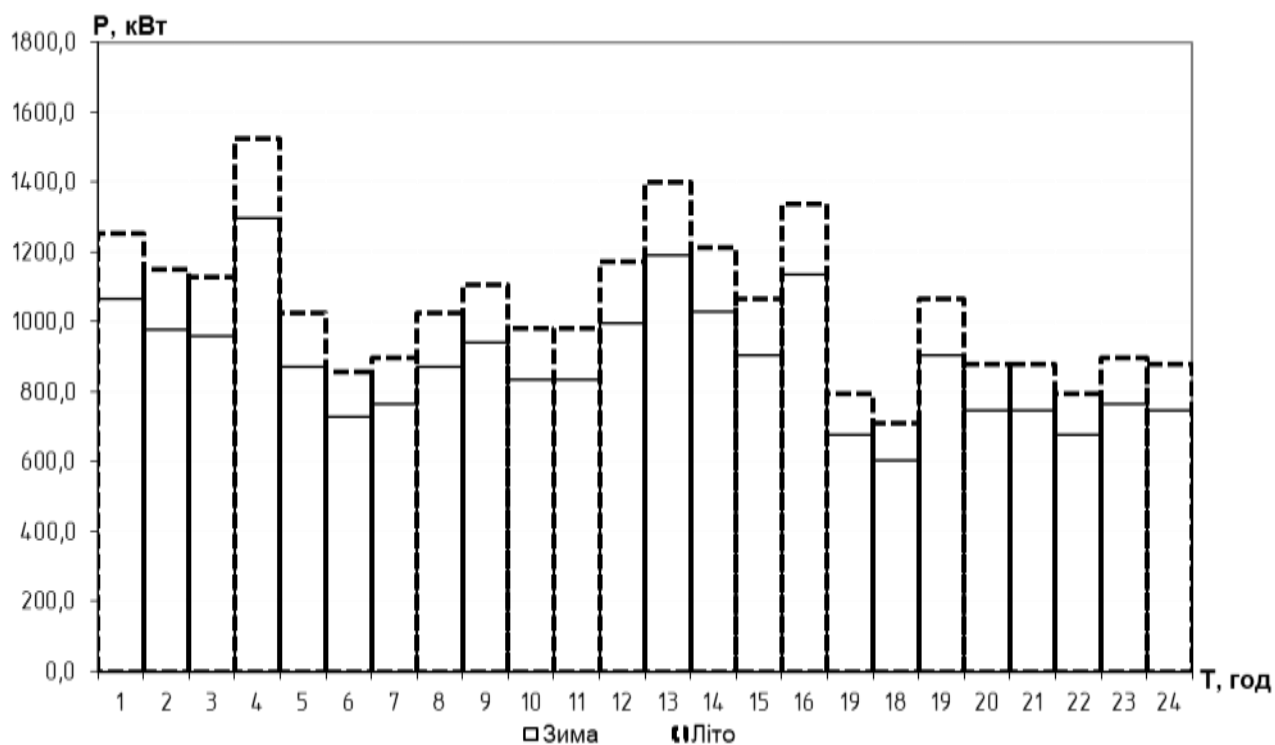


Рис. 3.2 Споживання активної потужності у вихідний день

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата

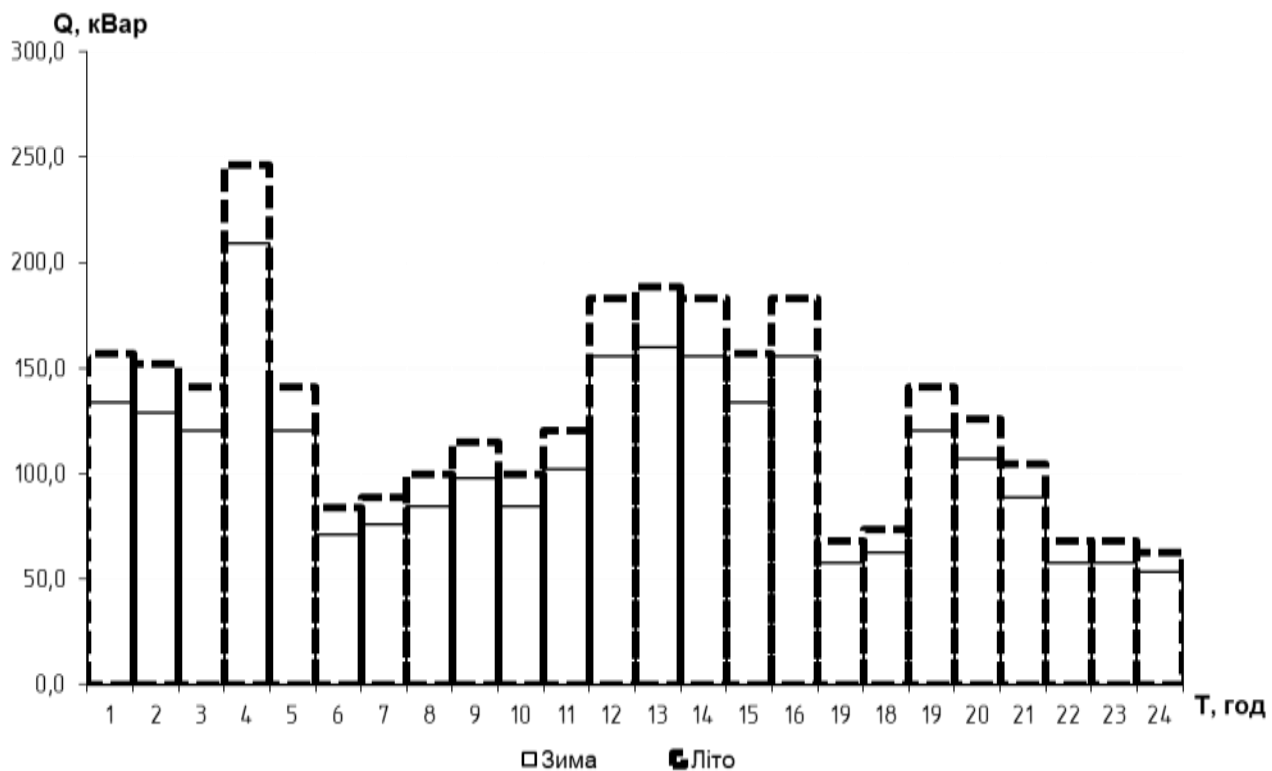


Рис. 3.3 Споживання реактивної потужності в робочий день

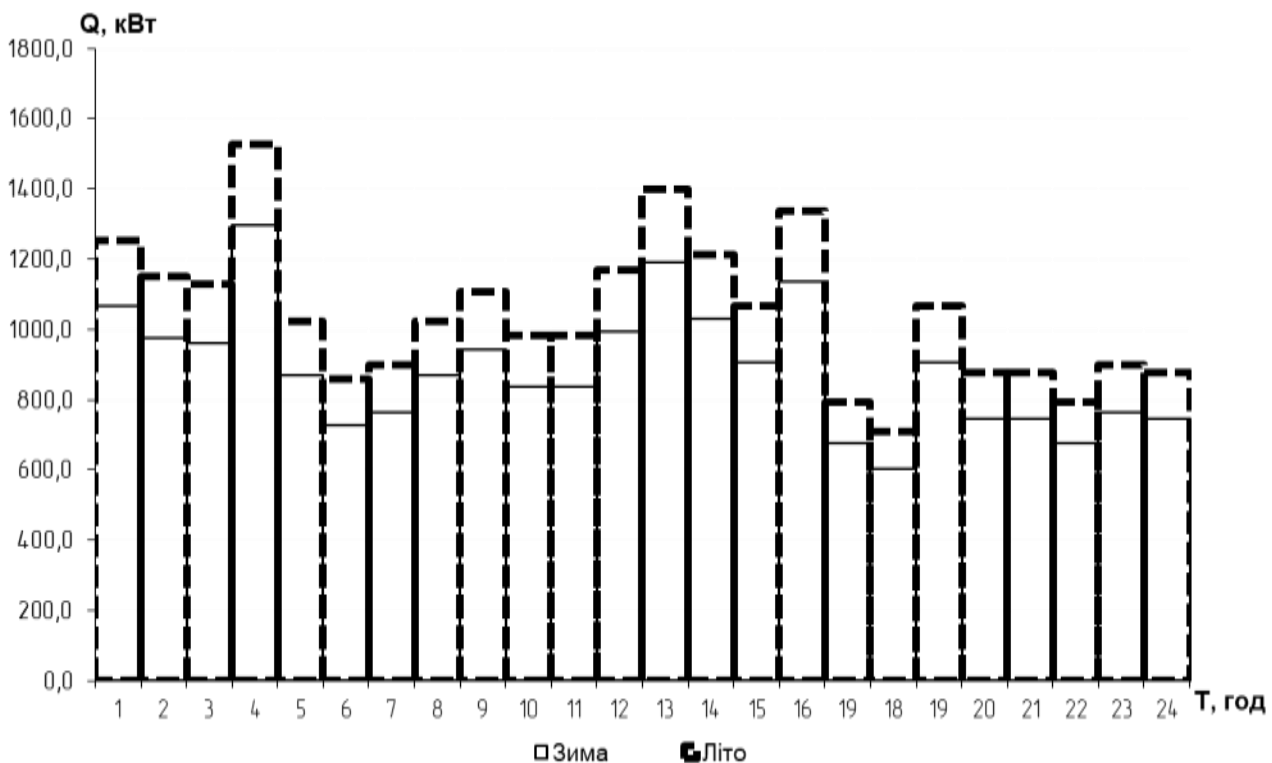


Рис. 3.4 Споживання реактивної потужності у вихідний день

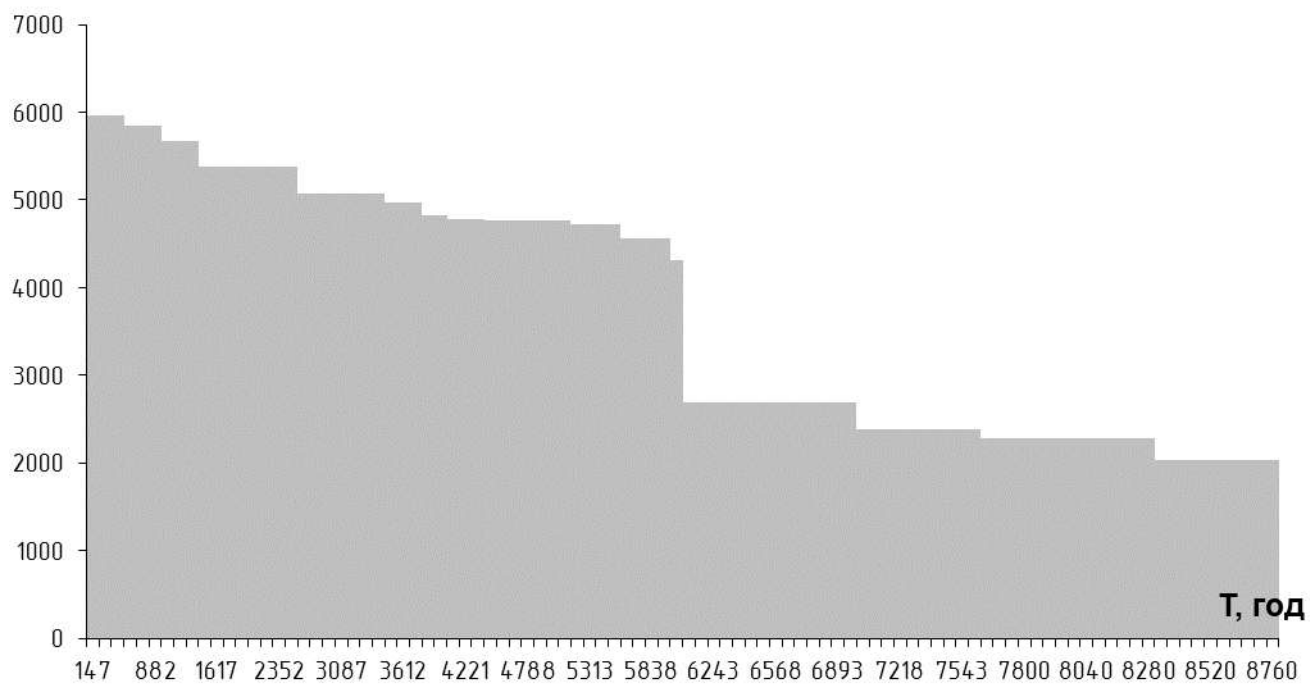


Рис. 3.5 Річний графік навантаження за тривалістю

4. Картограма електричних навантажень та вибір місця розташування центру електричних навантажень

Для обґрунтування розміщення головного або центрального розподільчого пункту (ГРП/ЦРП), а також трансформаторних підстанцій (ТП) на території промислового підприємства, на генеральний план наноситься картограма електричних навантажень.

Картограма навантажень являє собою схему, де кожен цех або споживач зображується у вигляді кола, площа якого в обраному масштабі пропорційна розрахунковому електричному навантаженню відповідного об'єкта.

Під час побудови картограми навантажень для кожного цеху розраховується радіус відповідного кола R_i , площа якого πR^2 у прийнятому масштабі відповідає повному навантаженню цеху P_i в кВт. Такий підхід дозволяє візуально оцінити просторовий розподіл електроспоживання на території підприємства та обґрунтовано визначити оптимальні місця розташування ТП і ГРП.

Проведемо розрахунок картограми на прикладі цеху (1) гексанової екстракції.

Радіус кола, що відповідає значенню усталеної потужності цехових споживачів:

$$R_1 = \sqrt{\frac{P_{P_GE}}{\pi \cdot m}} = \sqrt{\frac{P_{P\text{ освл}} + P_{P\text{ силл}}}{\pi \cdot m}} = \sqrt{\frac{180,5 + 6,22}{3,14 \cdot 0,4}} = 15 \text{ мм}.$$

Кут, що характеризує частку освітлювального навантаження в загальному електронавантаженні цеху гексанової екстракції:

$$\alpha = \frac{P_{\text{освл}} \cdot 360^\circ}{\pi \cdot R_1^2} = \frac{6,22 \cdot 360^2}{3,14 \cdot 15^2} = 12^\circ.$$

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		35

Для інших підрозділів заводу розрахунок проводиться аналогічно і наведено в таблиці 4.1.

Визначимо координати розміщення центру електричних навантажень (ЦЕН) на генплані заводу:

$$X_0 = \frac{\sum_{i=1}^n P_{pi} \cdot x_i}{\sum_{i=1}^n P_{pi}} = \frac{892625}{1509} = 520 \text{ м};$$

$$Y_0 = \frac{\sum_{i=1}^n P_{pi} \cdot y_i}{\sum_{i=1}^n P_{pi}} = \frac{257128}{1509} = 150 \text{ м}.$$

Місцезнаходження розподільчого пункту виконується зі зміщенням відносно ЦЕН в напрямку джерела живлення для виключення зворотного потоку енергії, що може впливати на збільшення довжини кабельних мереж та додаткові втрати енергії.

Картограма електричних навантажень зображена на генплані в презентаційних матеріалах.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		36

5. Вибір напруги і електричних схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання підприємства

Раціональне проектування системи зовнішнього електропостачання промислового підприємства значною мірою залежить від обґрунтованого вибору рівня напруги та схеми живлення. Ці параметри мають ключовий вплив на техніко-економічну ефективність системи та її надійність у подальшій експлуатації.

На вибір напруги та конфігурації електропостачання впливає низка факторів, серед яких основними є:

- величина розрахункового електричного навантаження підприємства;
- рівень напруги потенційних джерел живлення;
- відстань між точкою живлення та споживачем;
- вимоги до надійності електропостачання тощо.

Процедура вибору напруги системи зовнішнього електропостачання полягає у визначенні стандартного рівня напруги, який забезпечує виконання усіх технічних умов при мінімальних витратах. Як правило, на стадії техніко-економічного обґрунтування розглядається не більше двох-трьох варіантів, обумовлених фактичними рівнями напруги в найближчих точках можливого приєднання до енергосистеми.

Для попереднього аналізу доцільно використовувати номограми, які дають змогу оперативно оцінити допустимість певного варіанту без проведення складних розрахунків. Це значно скорочує час на розгляд неефективних рішень.

Остаточний вибір оптимальної схеми електропостачання здійснюється шляхом порівняння приведених витрат для кожного з альтернативних варіантів.

Загальні витрати розраховуються за формулою:

$$Z_i = E_H \cdot K_i + C_i + C_{emp.i} + Y_i$$

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		37

де:

- E_H — нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень, 1/рік;
- K_i — загальні капітальні витрати на реалізацію варіанту, тис. грн;
- C_i — річні експлуатаційні витрати на передачу та розподіл електроенергії, тис. грн/рік;
- $C_{втр.i}$ — витрати на покриття втрат електроенергії, тис. грн/рік;
- U_i — прогнозований економічний збиток у разі перерви в електропостачанні, тис. грн/рік.

Застосування комплексного підходу до вибору зовнішнього електропостачання забезпечує оптимальний баланс між технічною доцільністю, енергетичною ефективністю та економічною вигідністю реалізації проекту.

5.1. Вибір напруги та схеми зовнішнього електропостачання

Живлення заводу доцільно здійснювати від підстанції 150/35/10 кВ «Сільмаш», яка розташована на відстані близько 0,3 км. У зв'язку з малою протяжністю лінії електропередачі, доцільно провести техніко-економічне порівняння двох можливих варіантів електропостачання: на рівні напруги 35 кВ та 10 кВ.

У рамках першого варіанту передбачається подача електроенергії за допомогою дволанцюгової повітряної лінії напругою 35 кВ, яка підключається до розподільчого пристрою РУ-35 кВ існуючої підстанції. Безпосередньо на території заводу при цьому передбачається будівництво головної знижувальної підстанції (ГЗП) напругою 35/10 кВ (див. рисунок 5.1).

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата					38

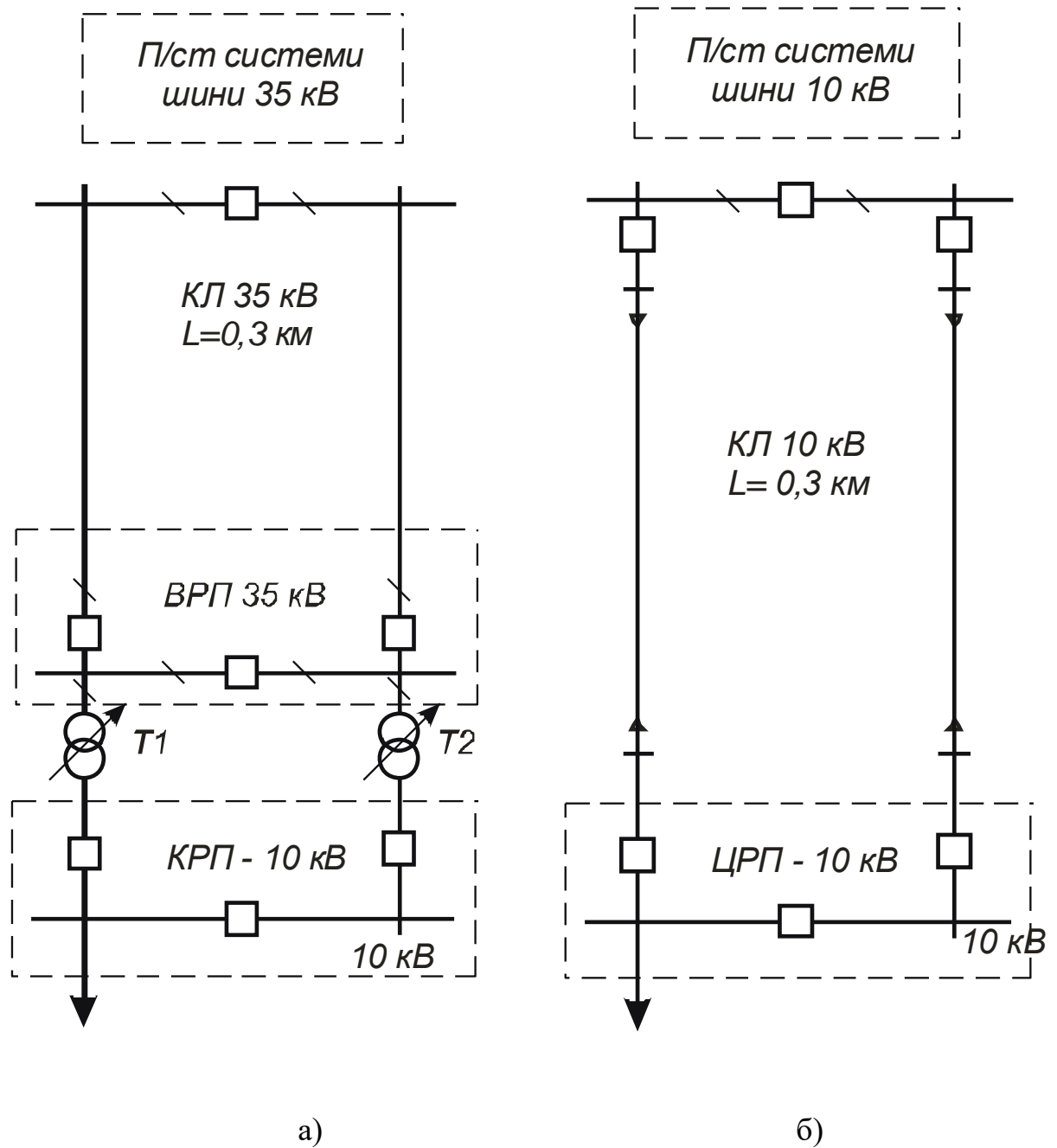


Рис. 5.1. Схеми порівняння варіантів електропостачання

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата

Варіант 1. Електропостачання здійснюється дволанцюговою ПЛ номінальною напругою 35 кВ (рис. 5.1 а).

Вибір перерізу проводу

Розрахунковий струм лінії (на один ланцюг), A :

$$I_{\max} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot n \cdot U_{ном}} = \frac{2073}{\sqrt{3} \cdot 2 \cdot 35} = 17,10$$

Розрахункове струмове навантаження лінії, A :

$$I_p = \alpha_i \alpha_T I_5 = 1,05 \cdot 1 \cdot 17,1 = 17,95$$

Вибір перерізу проводу проводимо по економічним струмовим інтервалам. Обираємо провід марки АС 35/6,2, (опори залізобетонні).

Паспортні дані проводу АС 35/6,2:

$$I_{доп} = 175 \text{ А}$$

$$\Delta P_{1км} = 140 \text{ кВт/км}$$

$$K = 62,64 \text{ тис.грн.}$$

Перевірка проводів номінальною напругою 35 кВ за умовою корони не проводиться.

Перевірка проводів за умовою перегріву в аварійному режимі:

$$I_{ав} = 2I_p = 2 \cdot 17,95 = 35,9 \text{ А} < I_{доп} = 175 \text{ А}$$

Провід марки АС 35/6,2 задовольняє умовам перевірки.

Коефіцієнт завантаження лінії в нормальному режимі:

$$K_3 = \frac{I_p}{I_{доп}} = \frac{17,95}{175} = 0,1$$

Вибір трансформаторів ГЗП

Розрахункова потужність трансформатора, MVA :

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		40

$$S_{P.T.} = \frac{S_{\max} \cdot K_{1.2}}{1.4(n-1)} = \frac{2,073 \cdot 0,75}{1,4 \cdot (2-1)} = 1,11$$

Приймаємо до встановлення два трансформатори ТМН-1600/35

Коефіцієнт завантаження трансформаторів:

$$K_3 = \frac{S_{\max}}{n \cdot S_{\text{ном}}} = \frac{2,073}{2 \cdot 1,6} = 0,648$$

Технічні дані трансформатора:

$S_{\text{ном}} = 1600$ кВА	$\Delta P_{\text{х.х.}} = 3,65$ кВт
$U_{\text{вн}} = 35$ кВ	$\Delta P_{\text{к.з.}} = 16,5$ кВт
$U_{\text{нн}} = 11$ кВ	$U_{\text{к, \%}} = 6,5$ %

Розрахунок втрат електроенергії

Втрати потужності в лінії:

$$\Delta P_l = \Delta P_{1\text{км}} l_{\Sigma} K_3^2 = 140 \cdot 0,6 \cdot 0,01 = 0,84 \text{ кВт}$$

Втрати електроенергії в лінії:

$$\Delta W_l = \Delta P_l \tau = 0,84 \cdot 3904,24 = 3279,56 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

Втрати електроенергії в трансформаторах:

$$\begin{aligned} \Delta W &= n(\Delta P_x t + \Delta P_k K_3^2 \tau) = 2 \cdot (3,65 \cdot 8760 + 16,5 \cdot 0,42 \cdot 3904,24) = \\ &= 118017,09 \text{ кВт}\cdot\text{год.} \end{aligned}$$

Сумарні втрати електроенергії:

$$\Delta W_{\Sigma} = \Delta W_l + \Delta W_m = 3279,56 + 118017,09 = 121296,65 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

Вартість втрат електроенергії:

										Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата						41

$$C_{\text{втр}} = \Delta W_{\Sigma} C_0 = 121296,65 \cdot 7,79 \cdot 0,001 = 944,9 \text{ тис.грн.}$$

Розрахунок капітальних вкладень

Таблиця 5.1. Розрахунок капітальних вкладень

№ вар.	Назва елемента схеми	Одиниця	Кількість	Вартість	Всього
1	ЛЕП 35 кВ на з/б опорах	км	0,3	62,64	18,792
	ВРП 35 кВ	шт.	1	155	155
	2 x ТМН-1600/35	шт.	2	600	1200
<i>Всього</i>					1373,79

Розрахунок поточних витрат

Таблиця 5.2. Розрахунок поточних витрат

№ вар.	Назва елемента схеми	K_j , тис.грн.	P_{aj} , %	C_{aj} , тис.грн.	$P_{эj}$, %	$C_{эj}$, тис.грн.	C_j , тис.грн.
1	ЛЕП 35 кВ на з/б опорах	18,79	5	0,94	5	0,94	1,88
	ВРП 35 кВ	155	15	23,25	5	7,75	31
	2 x ТМН-1600/35	1200	15	180	5	60	240
<i>Всього</i>							272,88

Зведені витрати для варіанту 1, тис.грн./рік:

$$Z_i = E_n K_i + C_i + C_{\text{втр.}i} + Y_i = 0,12 \cdot 1373,79 + 272,88 + 944,9 + 0,58 = 1383,21$$

Таблиця 5.3. Техніко-економічні показники варіантів

Показники	Варіанти	
	1	2
Капітальні вкладення	1373,79	296,9
Поточні витрати	272,88	52,09
Вартість втрат електроенергії	944,9	29,02
Збиток	0,58	0,15
<i>Зведені витрати</i>	<i>1383,21</i>	<i>116,89</i>

В результаті проведеного розрахунку виявилось, що приведені затрати на другий варіант системи електропостачання (КЛ 10 кВ) значно менші, тому обираємо його для подальшого проектування.

Варіант 2. Електропостачання здійснюється кабельними лініями номінальною напругою 10 кВ (рис. 5.1.б).

Вибір перерізу проводу

Розрахунковий струм, А:

$$I_{\max} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{2073}{\sqrt{3} \cdot 10} = 119,68$$

Площа перерізу кабельної лінії визначається за економічною щільністю струму (при $T_{\max} = 5436$ год. $j_{\text{ек}} = 1,1$ А/мм²), мм²:

$$F_{\text{ек}} = \frac{I_p}{j_{\text{ек}}} = \frac{119,68}{1,2} = 99,73$$

Обираємо до встановлення 2 КЛ марки АСБ (3 х 120).

Паспортні дані КЛ АСБ (3 х 120):

$$I_{\text{доп}} = 240 \text{ А}$$

$$\Delta P_{1\text{км}} = 18 \text{ кВт/км}$$

$$K = 100 \text{ тис.грн.}$$

Перевірка вибраних КЛ за умовою нагріву в нормальному режимі:

$$I_p = 59,84 \text{ А} \leq K_n I_{\text{доп}} = 0,92 \cdot 240 = 220,8 \text{ А}$$

Перевірка вибраних КЛ за умовою нагріву в аварійному режимі:

$$I_{p.\text{ав}} = 2I_p = 2 \cdot 59,84 = 119,68 \text{ А} \leq K_{\text{ан}} K'_n I_{\text{доп}} = 1,25 \cdot 1 \cdot 240 = 300 \text{ А}$$

КЛ марки АСБ (3 х 120) задовольняє умовам перевірки.

Коефіцієнт завантаження кабельної лінії в нормальному режимі:

$$K_z = \frac{I_p}{I_{\text{доп}}} = \frac{59,84}{240} = 0,25$$

Розрахунок втрат електроенергії

Втрати потужності в кабельній лінії:

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		43

$$\Delta P_{кл} = \Delta P_{1км} l_{\Sigma} K_3^2 = 18 \cdot 0,6 \cdot 0,0625 = 0,68 \text{ кВт}$$

Втрати електроенергії в кабельній лінії:

$$\Delta W_{л} = \Delta P_{л} \tau = 0,68 \cdot 3904,24 = 2654,88 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

Вартість втрат електроенергії:

$$C_{втр} = \Delta W_{\Sigma} C_0 = 2654,88 \cdot 10,932 \cdot 0,001 = 29,02 \text{ тис.грн.}$$

Розрахунок капітальних вкладень

Таблиця 5.3. Розрахунок капітальних вкладень

№ вар.	Назва елемента схеми	Одиниця	Кількість	Вартість	Всього
2	КЛ 10 кВ	км	0,6	100	60
	Траншея	км.	0,3	43	12,9
	Шафи КРП серії КУ-10	шт.	2	112	224
<i>Всього</i>					296,9

Розрахунок поточних витрат

Таблиця 5.4. Розрахунок поточних витрат

№ вар	Назва елемента схеми	K_j , тис.грн.	P_{aj} , %	C_{aj} , тис.грн.	P_{oj} , %	C_{aj} , тис.грн.	C_j , тис.грн.
2	КЛ 10 кВ	60	5	3	5	3	6
	Траншея	12,9	5	0,645	5	0,645	1,29
	Шафи КРП серії КУ-10	224	15	33,6	5	11,2	44,8
<i>Всього</i>							52,09

Зведені витрати для варіанту 2, тис.грн./рік:

$$Z_i = E_n K_i + C_i + C_{втр.i} + Y_i = 0,12 \cdot 296,9 + 52,09 + 29,02 + 0,15 = 116,89$$

							Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата			44

5.2. Вибір напруг і схем внутрішнього електропостачання

Для внутрішньозаводських розподільчих мереж промислових підприємств доцільно використовувати напругу 10 кВ, що відповідає вимогам ефективного та надійного розподілу електроенергії в межах об'єкта.

Вибір схеми розподілу електроенергії здійснюється з урахуванням таких факторів, як конфігурація території підприємства, щільність і характер електричних навантажень, вимоги до надійності живлення. У практиці промислового електропостачання застосовують радіальні, магістральні та комбіновані (змішані) схеми, які можуть реалізовуватись в одноступінчастому або двоступінчастому варіантах.

Основним принципом побудови системи є забезпечення постійного навантаження на всі її елементи, що дозволяє уникнути неефективного використання обладнання. Для споживачів I та II категорій за надійністю живлення обов'язковим є застосування секціонування шин на всіх рівнях системи електропостачання з метою підвищення оперативної гнучкості та резервування.

Радіальна схема є доцільною у випадках, коли великі споживачі (такі як насосні станції, компресорні чи перетворювальні установки) розташовані у різних напрямках від центру живлення, що забезпечує незалежність їхнього електропостачання.

Магістральні схеми рекомендується застосовувати при такому розташуванні трансформаторних підстанцій, яке дозволяє прямолінійне прокладання ліній електропередачі, в усіх інших випадках, коли їх використання обґрунтоване з техніко-економічної точки зору.

З огляду на характер навантажень та територіальну структуру підприємства, для внутрішньозаводської системи електропостачання доцільно обрати напругу 10 кВ, а для цехових мереж – 380/220 В. Як базову організаційну схему електропостачання заводу рекомендовано впровадити радіальну.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		45

6. Режим реактивної потужності системи електропостачання

Значна частка промислових електроприймачів у процесі експлуатації споживає з мережі не лише активну, але й реактивну потужність. Передача реактивної потужності через лінії електропередачі та трансформатори є економічно неефективною, оскільки негативно впливає як на енергетичні показники, так і на якість електропостачання.

З метою підвищення ефективності функціонування системи електропостачання, при її проектуванні доцільно передбачати заходи компенсації реактивної потужності. Вибір і розміщення компенсуючих пристроїв (КП) повинні здійснюватися одночасно з вибором інших елементів системи, з урахуванням зниження навантаження на мережу завдяки зменшенню струмів, що протікають по її елементах.

На першому рівні – в межах електричної мережі енергосистеми – визначається економічно доцільне значення реактивної потужності, яке допускається до передачі підприємству, а також розраховується необхідна сумарна потужність КП, що має бути встановлена у системі електропостачання споживача.

На другому рівні – безпосередньо в мережі підприємства, включаючи шини трансформаторних підстанцій 0,4 кВ – виконується розрахунок оптимального розміщення КП на шинах цехових трансформаторних підстанцій і розподільчих пристроїв.

Компенсуючі пристрої можуть бути встановлені як у мережах напругою 0,4 кВ, так і у мережах 10 кВ. Оптимальний розподіл потужності КП між мережами низької та високої напруги визначається з урахуванням питомої вартості пристроїв, витрат на встановлення комутаційного обладнання та додаткових силових трансформаторів, а також економічної оцінки втрат електроенергії.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		46

6.1. Розрахунок балансу реактивної потужності та вибір компенсуючих пристроїв у високовольтних та низьковольтних мережах

Проведемо розрахунок балансу активної та реактивної потужності.

Сумарне низьковольтне електричне навантаження:

$$P_n = \sum P_{ТП} = 1509,6 \text{ кВт} \quad Q_n = \sum Q_{ТП} = 1270 \text{ кВАр}$$

Сумарні втрати в цехових ТП:

$$\Delta P_m = \sum \Delta P_{ТП} = 16,4 \text{ кВт} \quad \Delta Q_m = \sum \Delta Q_{ТП} = 133,4 \text{ кВАр}$$

Сумарне високовольтне навантаження:

$$P_\epsilon = \sum P_{ВН} = \text{ кВт} \quad Q_\epsilon = \sum Q_{ВН} = \text{ кВАр}$$

Сумарне споживання активної та реактивної потужностей:

$$P_p = P_n + \Delta P_m + P_\epsilon = 1509,6 + 16,4 + 0 = 1526 \text{ кВт}$$
$$Q_p = Q_n + \Delta Q_m + Q_\epsilon = 1270 + 133,4 + 0 = 1403,4 \text{ кВАр}$$

Реактивна потужність, яка споживається від системи:

$$Q_e = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi_c = 1526 \cdot 0,15 = 228,9 \text{ кВАр}$$

Потужність компенсуючих пристроїв:

$$Q_{КП} = Q_p - Q_e = 1403,4 - 228,9 = 1174,5 \text{ кВАр}$$

Мінімальна кількість трансформаторів:

$$N_0 = \frac{P_n}{\beta \cdot S_{ном}} = \frac{1509,6}{0,7 \cdot 630} = 3,42 \approx 4 \text{ шт.}$$

Надалі будуть розглядатися варіанти компенсації при кількості транс-

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		47

форматорів $N = N_0$, $N = N_0 + 1$, $N = N_0 + 2$.

Варіант 1. $N = N_0 = 4$ шт.

Реактивна потужність, яка може бути передана із мережі 10 кВ в мережу 0,4 кВ:

$$Q_1 = \sqrt{(N \cdot \beta \cdot S_{ном})^2 - (P_n + \Delta P_m)^2} = \sqrt{(4 \cdot 0,7 \cdot 630)^2 - 1526^2} \approx 884,88 \text{ кВАр}$$

Потужність КП, що встановлюються в мережі до 1000 В Q_{KH} , визначається із умови балансу реактивної потужності на шинах ТП:

$$Q_{KH} = (Q_n + \Delta Q_m) - Q_1 = 1403,4 - 884,88 = 518,52 \text{ кВАр}$$

Потужність КП, що встановлюються в мережі 10 кВ, Q_{KB} , визначається із умови балансу реактивної потужності на шинах 10 кВ:

$$Q_{KB} = Q_{КП} - Q_{KH} = 1174,5 - 518,52 = 655,98 \text{ кВАр}$$

Розрахунок варіантів $N = N_0 + 1$, $N = N_0 + 2$ виконується аналогічно.

Результати розрахунку зведено в таблицю 6.1.

Таблиця 6.1. Розрахунок потужності компенсуючих пристроїв

№ варіанту	Кількість тр-торів	Q_1 , кВАр	Q_{KH} , кВАр	Q_{KB} , кВАр
1	4	884,88	518,52	655,98
2	5	1591,65	0	1174,5
3	6	2161,63	0	1174,5

6.2. Вибір кількості, потужності та місця розташування компенсуючих пристроїв

Після впровадження компенсуючих пристроїв здійснюється перерахунок втрат потужності в трансформаторах з урахуванням фактичного коефіцієнта завантаження. Одночасно уточнюється розрахунковий коефіцієнт потужності на шинах 10 кВ, після чого вносяться відповідні корективи до балансу електричних навантажень. Уточнені результати розрахунків наведено в таблицях 6.2.1–6.2.3.

Система електропостачання підприємства, як правило, характеризується нерівномірним добовим графіком споживання реактивної потужності. Для забезпечення максимально ефективного режиму її роботи доцільним є впровадження системи регулювання потужності компенсуючих пристроїв. Таке регулювання здійснюється ступенево — шляхом почергового вмикання або вимикання секційних блоків батарей.

В якості керуючих параметрів регулювання можуть використовуватись: напруга, струм, споживана потужність або добовий час. З огляду на сталість технологічного процесу на підприємстві та незначну варіативність добових графіків навантаження, доцільно застосувати регулювання за часовим принципом. Це дозволяє точно визначити моменти ввімкнення та вимкнення батарей, що забезпечує простоту реалізації та високу ефективність управління.

Для реалізації такого підходу використовуються електронні пристрої автоматичного регулювання. Управління реактивною потужністю на підприємстві здійснюється за багатоступеневим добовим графіком, що дозволяє оптимізувати рівні напруги в мережі, знизити втрати потужності та підвищити загальну енергоефективність системи електропостачання.

										Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата						49

Таблиця 6.2.1. Вибір типу та потужності БК при кількості трансформаторів $N = 4$ шт.

№ КТП	К-сть т-рів	$P_p, \text{кВт}$	$Q_p, \text{кВАр}$	$Q_{np}, \text{кВАр}$	$Q_{кп}, \text{кВАр}$	Кількість та потужність БК, шт. · кВАр	Сума $Q_{БК}, \text{кВАр}$	$Q_{кп} - Q_{БК}, \text{кВАр}$	K_3	$S_p, \text{кВА}$
1	1	314,795	196,039	308,84	0	2 · 100;	200	-200	0,5	314,82
2	2	724,162	657,856	503,5	154,356	2 · 133;	266	-111,644	0,65	823,384
3	1	470,77	325,545	0	325,545	2 · 200;	400	-74,4546	0,76	476,621

Сумарна потужність БК на стороні 0,4 кВ складає 866 кВАр.

Кількість та потужність БК на стороні 10 кВ: 2 · 150; сумарна потужність БК 10 кВ складає 300 кВАр.

Таблиця 6.2.2. Вибір типу та потужності БК при кількості трансформаторів $N = 5$ шт.

№ КТП	К-сть т-рів	$P_p, \text{кВт}$	$Q_p, \text{кВАр}$	$Q_{np}, \text{кВАр}$	$Q_{кп}, \text{кВАр}$	Кількість та потужність БК, шт. · кВАр	Сума $Q_{БК}, \text{кВАр}$	$Q_{кп} - Q_{БК}, \text{кВАр}$	K_3	$S_p, \text{кВА}$
1	1	314,795	196,039	308,84	0	2 · 100;	200	-200	0,5	314,82
2	2	724,162	657,856	503,5	154,356	2 · 133;	266	-111,644	0,65	823,384
3	2	470,77	325,545	745,86	0		0	0	0,45	572,367

Сумарна потужність БК на стороні 0,4 кВ складає 466 кВАр.

Кількість та потужність БК на стороні 10 кВ: 5 · 150; сумарна потужність БК 10 кВ складає 750 кВАр.

Таблиця 6.2.3. Вибір типу та потужності БК при кількості трансформаторів N = 6 шт.

№ КТП	К-сть т-рів	$P_p, \text{кВт}$	$Q_p, \text{кВАр}$	$Q_{np}, \text{кВАр}$	$Q_{кп}, \text{кВАр}$	Кількість та потужність БК, шт.·кВАр	Сума $Q_{БК}, \text{кВАр}$	$Q_{кп}^-$ $Q_{БК}, \text{кВАр}$	K_3	$S_p, \text{кВА}$
1	1	314,795	196,039	308,84	0	2·100;	200	-200	0,5	314,82
2	3	724,162	657,856	1107,21	0	2·133;	266	-266	0,44	823,384
3	2	470,77	325,545	745,86	0		0	0	0,45	572,367

Сумарна потужність БК на стороні 0,4 кВ складає 466 кВАр.

Кількість та потужність БК на стороні 10 кВ: 2·150; сумарна потужність БК 10 кВ складає 300 кВАр.

Варіант 1. N = 4 шт.

Втрати активної потужності в КП:

$$\Delta P_{KH} = P_{ПИТ}^{KH} \cdot Q_{KH} = 0,0045 \cdot 866 = 3,9 \text{ кВт}$$

$$\Delta P_{KB} = P_{ПИТ}^{KB} \cdot Q_{KB} = 0,003 \cdot 300 = 0,9 \text{ кВт}$$

Втрати активної потужності при передачі через трансформатори реактивної потужності:

$$\Delta P_{ПИТ} = \frac{P_{HH}^2 + Q_1^2}{U_H^2} R_T \cdot 10^{-3} = \frac{1509,6^2 + 884,88^2}{10^2} \cdot 0,41 \cdot 0,001 = 12,55 \text{ кВт}$$

де

$$R_{екв} = \frac{\Delta P_K \cdot U_{ном}^2}{N \cdot S_{ном}^2} \cdot 10^3 = \frac{6,5 \cdot 10^2}{4 \cdot 630} \cdot 1000 = 0,41 \text{ Ом}$$

Вартість КП на стороні 0,4 кВ:

$$K_{KH} = \sum_{i=1}^n N_{KH i} \cdot K_{KH i} =$$
$$= 2 \cdot 3,67 + 2 \cdot 4,1 + 2 \cdot 5,32 = 26,18 \text{ тис.грн.}$$

Вартість КП на стороні 10 кВ:

$$K_{KB} = \sum_{i=1}^n N_{KB i} \cdot K_{KB i} = 2 \cdot 3,35 = 6,7 \text{ тис.грн.}$$

Вартість КТП:

$$K_{КТП} = N_{КТП (2)} \cdot K_{КТП (2)} + N_{КТП (1)} \cdot K_{КТП (1)} =$$
$$= 1 \cdot 638 + 2 \cdot 337,5 = 1313 \text{ тис.грн.}$$

Розрахункові витрати на компенсацію реактивної потужності:

					Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата	52

$$\begin{aligned}
 Z &= E_H (K_{KH} + K_{KB} + K_{КТП}) + C_0 \tau (\Delta P_{KH} + \Delta P_{KB} + \Delta P_{ТП}) = \\
 &= 0,12 \cdot (26,18 + 6,7 + 1313) + 10,39 \cdot 3695 \cdot (3,9 + 0,9 + 12,55) \cdot 10^{-3} = \\
 &= 827,59 \text{ тис.грн.}
 \end{aligned}$$

Розрахунок двох інших варіантів проводиться аналогічно. Результати результати розрахунку приведені в таблиці 6.3.

Таблиця 6.3. Розрахункові витрати на компенсацію реактивної потужності

№ вар.	$Q_{KH},$ кВАр	$\Delta P_{KH},$ кВт	$Q_{KB},$ кВАр	$\Delta P_{KB},$ кВт	$N_{TP},$ шт.	$R_{екв},$ Ом	$S_{пр},$ кВА	$\Delta P_{TP},$ кВт	$K_{KH},$ тис. грн.	$K_{KB},$ тис. грн.	$K_{КТП},$ тис. грн.	$Z,$ тис. грн.
1	866	3,9	300	0,9	4	0,41	1749,83	12,55	26,18	6,7	1313	827,59
2	466	2,1	750	2,25	5	0,33	2193,68	15,88	15,54	16,75	1613,5	974,15
3	466	2,1	300	0,9	6	0,27	2636,58	18,77	15,54	6,7	1951	1072,6

7. Розрахунок струмів коротких замкнень та вибір високовольтного обладнання і високовольтних мереж системи електропостачання

7.1. Розрахунок струмів короткого замикання

Для розрахунку струмів короткого замикання складається розрахункова схема в однолінійному зображенні. В неї вводяться всі джерела, які приймають участь в живленні місця КЗ, та всі елементи системи електропостачання, що розташовані між ними та місцем КЗ.

За розрахунковою схемою складається схема заміщення, де всі елементи замінюються опорами та ЕРС. Потім схема заміщення перетворюється і спрощується в еквівалентну схему.

У відповідності зі схемою заміщення, приведеною до найпростішого вигляду з результируючою ЕРС та результируючим опором, початкове значення періодичної складової струму КЗ визначається за формулою:

$$I_{n0} = I'' = \frac{E_{\Sigma}''}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_{рез}^2 + X_{рез}^2}}, \quad (8.1)$$

де E_{Σ}'' – результируюча надперехідна ЕРС, кВ;

$X_{рез}$ – результируючий опір, приведений до тієї ступені, де розраховується струм КЗ, Ом.

Ударний струм КЗ визначається за виразом:

$$i_{y0} = \sqrt{2} \cdot K_{y0} \cdot I'', \quad (8.2)$$

де $K_{y0} = 1 + e^{-0,01/Ta}$ – ударний коефіцієнт

де Ta – стала часу затухання аперіодичної складової струму КЗ, с:

$$Ta = \frac{X_{рез}}{\omega R_{рез}},$$

де $X_{рез}$ $R_{рез}$ - відповідно результируючі індуктивний і активний опори кола КЗ.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		54

Принципова схема живлення заводу приведена на рисунку 7.1. Як видно з рисунка 7.1.

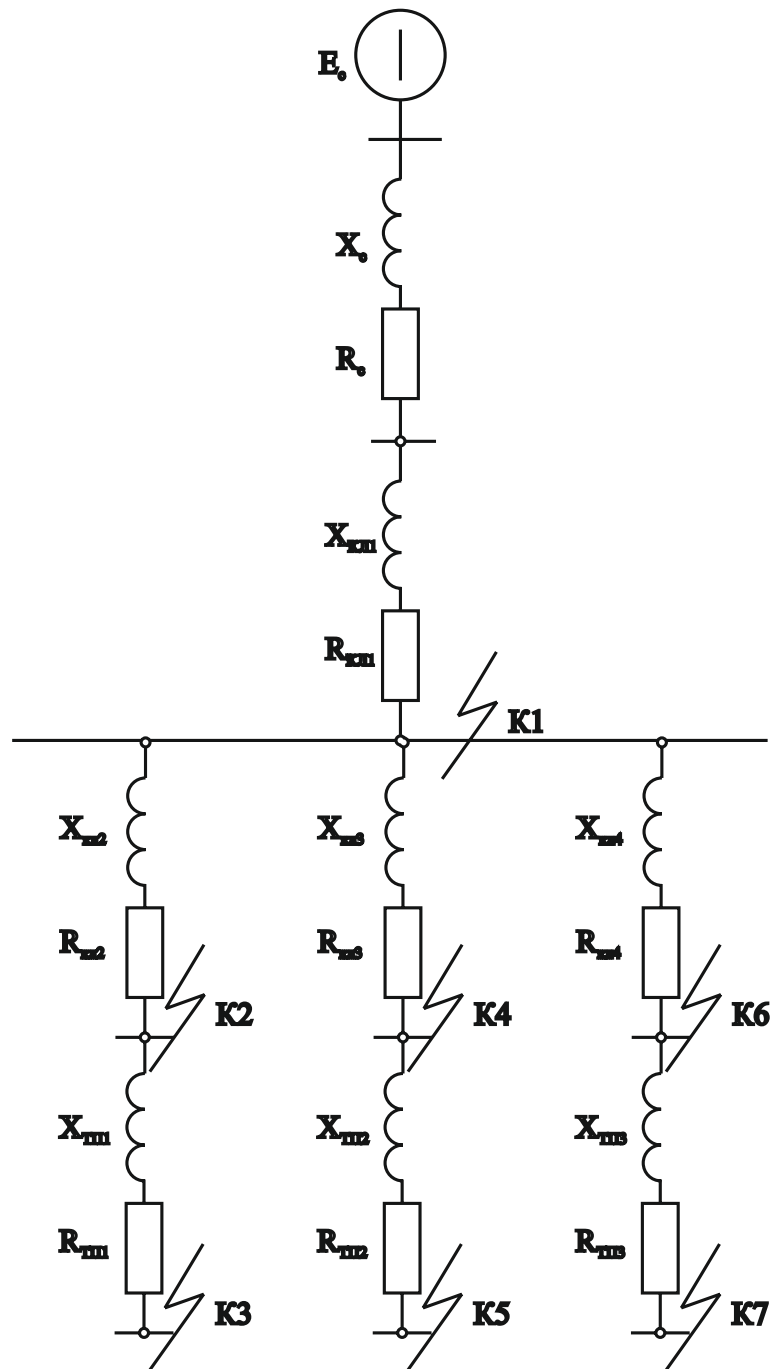


Рис. 7.1. Схема для розрахунку струмів короткого замикання

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата

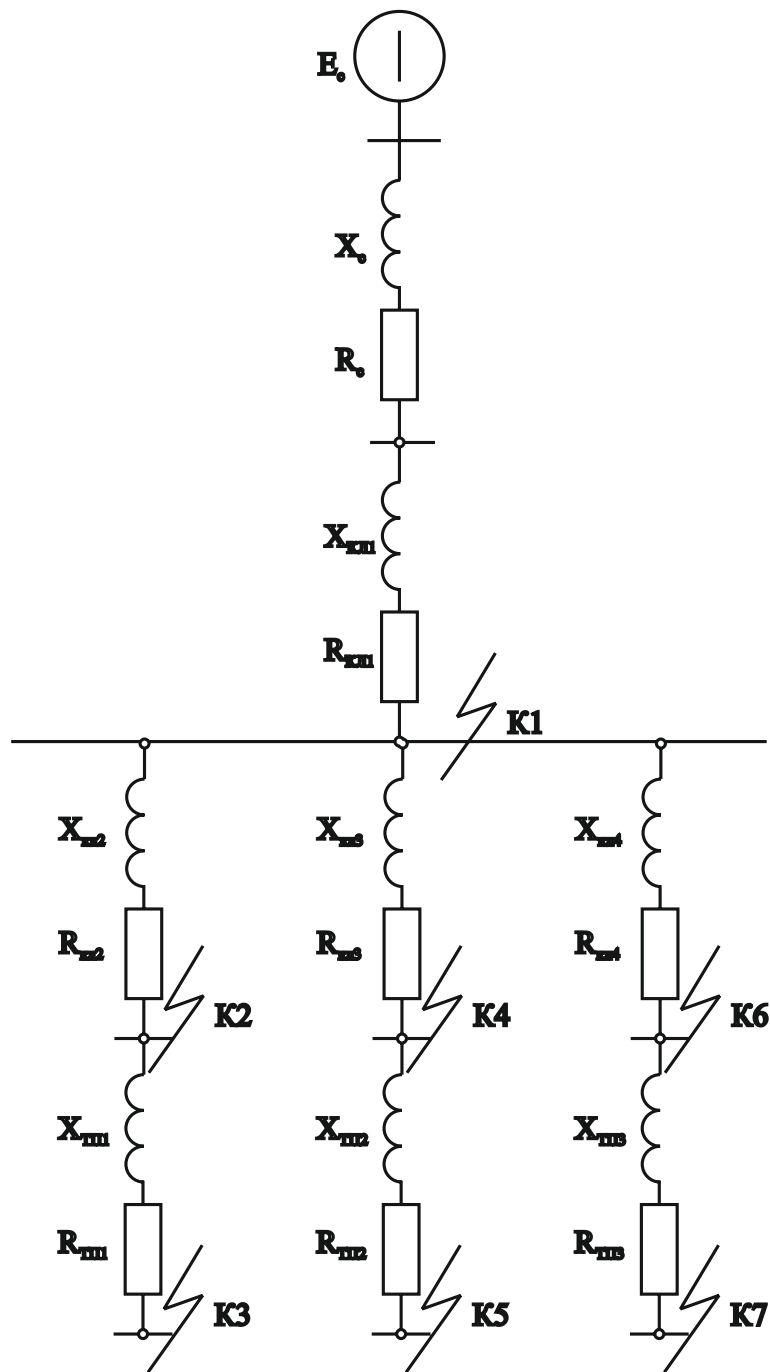


Рис. 8.2. Схема заміщення для розрахунку струмів $K3$

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата

7.2. Вибір кабелів напругою 10 кВ для високовольтної мережі заводу

Проведемо розрахунок опорів елементів схеми заміщення (див рис. 7.1)

Система:

$$X_c = \frac{U_c^2}{S_{к.з.}} = \frac{10,5^2}{150} = 0,735 \text{ Ом}$$

$$R_c = \frac{R_c}{25} = \frac{0,735}{25} = 0,029 \text{ Ом}$$

Кабельна лінія 1 x АСБ (3 x 95):

$$R_{кл} = \frac{r_0 \cdot l}{n_{кл}} = \frac{0,326 \cdot 0,3}{1} = 0,0978 \text{ Ом}$$

$$X_{кл} = \frac{x_0 \cdot l}{n_{кл}} = \frac{0,083 \cdot 0,3}{1} = 0,02 \text{ Ом}$$

Результуючий опір до точки К₁:

$$X_{K1} = X_c + X_{кл} = 0,735 + 0,02 = 0,755 \text{ Ом}$$

$$R_{K1} = R_c + R_{кл} = 0,029 + 0,0978 = 0,127 \text{ Ом}$$

$$Z_{K1} = \sqrt{R_{K1}^2 + X_{K1}^2} = \sqrt{0,127^2 + 0,755^2} = 0,766 \text{ Ом}$$

Надперехідний струм в точці К₁ (від системи):

$$I''_{K1(c)} = \frac{U_{ср.ном.}}{\sqrt{3}Z_{K1}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 0,766} = 7,91 \text{ кА}$$

Стала часу в точці К₁:

$$T_{a1} = \frac{X_{K1}}{\omega R_{K1}} = \frac{0,755}{314 \cdot 0,127} = 0,0189 \text{ с}$$

Ударний струм в точці К₁:

$$k_{y\partial 1} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{a1}}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,0189}} = 1,589$$

Ударний струм в точці К₁ від системи:

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		57

$$i_{y\partial 1(c)} = \sqrt{2}k_{y\partial} I_{K1(c)}'' = \sqrt{2} \cdot 1,589 \cdot 7,91 = 17,78 \text{ кА}$$

Для подальшого розрахунку струмів к.з. необхідно вибрати кабелі до підстанцій та високовольтного навантаження.

Розрахунковий струм кабельної лінії:

$$I_p = \frac{S_p}{n\sqrt{3}U_{cp.ном}} = \frac{319,1}{1 \cdot 1,73 \cdot 10,5} = 17,55 \text{ А}$$

Площа поперечного перерізу кабельної лінії:

$$F_{ек} = \frac{I_p}{j_{ек}} = \frac{17,55}{1,4} = 12,54 \text{ мм}^2$$

Тепловий імпульс від струму к.з.:

$$B_{\kappa} = I_{K1}''^2 (t_{p.з.min} + T_a) = 7,91^2 (1,365 + 0,0189) = 86,59 \text{ кА}^2\text{с}$$

Мінімальний переріз кабельної лінії за умовою термічної стійкості:

$$F_{min} = \frac{1}{C} \sqrt{B_{\kappa}} = \frac{1}{94} \sqrt{86,59} \cdot 10^3 = 98,99 \text{ мм}^2$$

Обираємо кабель марки ААШв - (3 х 70).

Технічні дані кабелю:

$$r_0 = 0,443 \text{ Ом/км}$$

$$x_0 = 0,086 \text{ Ом/км}$$

$$I_{дон} = 165 \text{ А}$$

Опір кабельної лінії:

$$R_{кл} = r_0 \cdot l_{кл} = 0,443 \cdot 0,08 = 0,035 \text{ Ом}$$

$$X_{кл} = x_0 \cdot l_{кл} = 0,086 \cdot 0,08 = 0,007 \text{ Ом}$$

Параметри інших кабельних ліній 10 кВ приведені в таблиці 7.1.

Результуючий опір до точки К₂:

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата					58

$$X_{K2} = X_{K1} + X_{кл} = 0,755 + 0,007 = 0,762 \text{ Ом}$$

$$R_{K2} = R_{K1} + R_{кл} = 0,127 + 0,035 = 0,162 \text{ Ом}$$

$$Z_{K2} = \sqrt{R_{K2}^2 + X_{K2}^2} = \sqrt{0,162^2 + 0,762^2} = 0,779 \text{ Ом}$$

Надперехідний струм в точці K₂:

$$I''_{K2} = \frac{U_{cp.ном.}}{\sqrt{3}Z_{K2}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 0,779} = 7,78 \text{ кА}$$

Стала часу в точці K₂:

$$T_{a2} = \frac{X_{K2}}{\omega R_{K2}} = \frac{0,762}{314 \cdot 0,162} = 0,015 \text{ с}$$

Ударний струм в точці K₂:

$$k_{y\delta 2} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{a2}}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,015}} = 1,513$$

Ударний струм в точці K₂:

$$i_{y\delta 2} = \sqrt{2}k_{y\delta}I''_{K2} = \sqrt{2} \cdot 1,513 \cdot 7,78 = 16,65 \text{ кА}$$

Опір цехового трансформатора (ТМ-630/10/0,4):

$$R_{mp} = \frac{\Delta P_{\kappa} U_{cp.ном.}^2}{S_{ном.}^2} = \frac{6,5 \cdot 10,5^2}{630^2} \cdot 10^3 = 1,806 \text{ Ом}$$

$$X_{mp} = \frac{U_{\kappa, \%} U_{cp.ном.}^2}{S_{ном.}} = \frac{5,5 \cdot 10,5^2}{630} \cdot 10 = 9,625 \text{ Ом}$$

Результуючий опір до точки K₃ (приведений до сторони 0,4 кВ):

$$X_{K3} = (X_{K2} + X_{mp}) \left(\frac{U_{нн}}{U_{вн}} \right)^2 = (0,762 + 9,625) \left(\frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 0,0151 \text{ Ом}$$

$$R_{K3} = (R_{K2} + R_{mp}) \left(\frac{U_{нн}}{U_{вн}} \right)^2 = (0,162 + 1,806) \left(\frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 0,0029 \text{ Ом}$$

$$Z_{K3} = \sqrt{R_{K3}^2 + X_{K3}^2} = \sqrt{0,0029^2 + 0,0151^2} = 0,0154 \text{ Ом}$$

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		59

Надперехідний струм в точці К₃:

$$I''_{K3} = \frac{U_{ср.ном.}}{\sqrt{3}Z_{K3}} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 0,0154} = 15 \text{ кА}$$

Стала часу в точці К₃:

$$T_{a3} = \frac{X_{K3}}{\omega R_{K3}} = \frac{0,0151}{314 \cdot 0,0029} = 0,0166 \text{ с}$$

Ударний струм в точці К₃:

$$k_{y\partial 3} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{a3}}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,0166}} = 1,547$$

Ударний струм в точці К₃:

$$i_{y\partial 3} = \sqrt{2}k_{y\partial}I''_{K3} = \sqrt{2} \cdot 1,547 \cdot 15 = 32,82 \text{ кА}$$

Струми к.з. в інших точках СЕП розраховуються аналогічно. Результати розрахунку приведені в таблиці 7.2.

Таблиця 7.1. Параметри кабельних ліній 10 кВ

№ КЛ	l, км	r ₀ , Ом/км	x ₀ , Ом/км	R, Ом	X, Ом
0	0,300	0,326	0,083	0,098	0,025
1	0,080	0,443	0,086	0,035	0,007
2	0,100	0,443	0,086	0,044	0,009
3	0,050	0,443	0,086	0,022	0,004
4	0,000	0,443	0,086	0,000	0,000
5	0,000	0,443	0,086	0,000	0,000
6	0,000	0,443	0,086	0,000	0,000

Проведемо вибір КЛ 10 кВ від шин 10 кВ підстанції до ЦРП-ТП1

Розрахунковий струм:

$$I_p = \frac{S_p}{n\sqrt{3}U_{ср.ном}} = \frac{319,1}{1 \cdot 1,72 \cdot 10,5} = 17,55 \text{ А}$$

Площа поперечного перерізу КЛ-1 (при $T_{max} = 3904$ год. $j_{ек} = 1,4$ А/мм²)

$$F_{ек} = \frac{I_p}{j_{ек}} = \frac{17,55}{1,4} = 12,54 \text{ мм}^2$$

Приймаємо до встановлення КЛ марки ААШв - 1 х (3 х 70) з доп. струмом $I_{доп} = 165$ А.

Перевірка кабеля за допустимим струмовим навантаженням:

$$I_p = 17,55 \text{ А} \leq K_n \cdot I_{доп} = 1 \cdot 165 = 165 \text{ А}$$

Перевірка кабеля за умовою роботи в аварійному режимі:

$$I_{ав} = - \text{ А} \leq K_{ан} \cdot K_n' \cdot I_{доп} = - \cdot - \cdot 165 = - \text{ А}$$

Тепловий імпульс:

$$B_k = I_{K1}^2 (t_{п.з.мин} + T_a) = 7,91^2 (1,365 + 0,0189) = 86,59 \text{ кА}^2\text{с}$$

Мінімальна площа поперечного перерізу КЛ за умовою термічної стійкості:

$$F_{min} = \frac{1}{C} \sqrt{B_k} = \frac{1}{94} \sqrt{86,59 \cdot 10^3} = 98,99 \text{ мм}^2$$

Результати вибору інших КЛ 10 кВ приведені в таблиці 7.3.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		62

Таблиця 7.3. Вибір кабельних ліній 10 кВ

№ КЛ	$n, шт$	$S_p, МВА$	$I_p, А$	$I_{p.ав.}, А$	$F_{ек}, мм^2$	$B_k, кА^2 с$	$F_{min}, мм^2$	Марка кабеля	$I_{дон}, А$	K_n	$K_n I_{дон}, А$	$K_{ан}$	K'_n	$K_{ан} K'_n I_{дон}, А$
1	1	319,1	17,55	-	12,54	86,59	98,99	1 х ААШВ-10(3х70)	165	1	165	-	-	-
2	2	863	23,73	47,46	16,95	86,59	98,99	2 х ААШВ-10(3х70)	165	0,9	148,5	1,35	1	222,75
3	1	503,8	27,7	-	19,79	86,59	98,99	1 х ААШВ-10(3х70)	165	1	165	-	-	-

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата
-----	------	----------	---------	------

7.3. Вибір електричних апаратів високої напруги

Таблиця 7.3.1. Вибір вимикачів на вводі напругою 10 кВ

Параметр вимикача	Умова вибору	Розрахунок
Номінальна напруга, кВ	$U_{уст} \leq U_{ном}$	$10 \leq 10$
Довготривалий струм, кА	$I_{роб.форс} \leq I_{ном}$	$92,38 \leq 630$
Відключаюча здатність: - симетричний струм: - аперіодична складова: - повний струм:	$I_{n\tau} \leq I_{відкл.ном}$ $i_{a\tau} \leq \sqrt{2}\beta_n I_{відкл.ном}$ $\sqrt{2}I_{n\tau} + i_{a\tau} \leq$ $\leq \sqrt{2}I_{ном.відкл} (1 + \beta_n)$	$7,9 \leq 20$ $0 \leq 11,31$ $1,41 \cdot 7,9 + 0 <$ $< 1,41 \cdot 20 \cdot (1 + 0,4)$ $11,17 \leq 39,6$
Динамічна стійкість: - симетричний струм: - ударний струм:	$I'' \leq I_{дин.ст}$ $i_y \leq 1,8\sqrt{2}I_{дин.ст}$	$7,9 \leq 52$ $17,8 \leq 132,37$
Термічна стійкість	$B_k \leq I_{ТН}^2 t_{ТН}$	$78,69 \leq 1200$

Найменший час від початку к.з. до моменту розходження дугогасячих контактів:

$$\tau = t_{pz.min} + t_{c.в} = 0,5 + 0,042 = 0,542 \text{ с}$$

Аперіодична складова струму к.з. для моменту розходження контактів:

$$i_{a\tau} = \sqrt{2}I'' e^{\frac{-\tau}{T_a}} = 1,41 \cdot 7,9 \cdot e^{\frac{-0,542}{0,0189}} = 0 \text{ кА}$$

Тепловий імпульс від струму к.з.:

$$B_k = I''^2 (t_{c.в.} + t_{pz.max} + T_a) = 7,9^2 (0,042 + 1,2 + 0,0189) = 78,69 \text{ кА}^2 \text{ с}$$

Обираємо для встановлення вакуумний вимикач типу ВР1-10-20/630 У2.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		64

Таблиця 7.3.2. Вибір секційного вимикача напругою 10 кВ

Параметр вимикача	Умова вибору	Розрахунок
Номінальна напруга, кВ	$U_{уст} \leq U_{ном}$	$10 \leq 10$
Довготривалий струм, кА	$I_{роб.форс} \leq I_{ном}$	$46,19 \leq 630$
Відключаюча здатність: - симетричний струм: - аперіодична складова: - повний струм:	$I_{n\tau} \leq I_{відкл.ном}$ $i_{a\tau} \leq \sqrt{2}\beta_n I_{відкл.ном}$ $\sqrt{2}I_{n\tau} + i_{a\tau} \leq$ $\leq \sqrt{2}I_{ном.відкл} (1 + \beta_n)$	$7,9 \leq 20$ $0 \leq 11,31$ $1,41 \cdot 7,9 + 0 <$ $< 1,41 \cdot 20 \cdot (1 + 0,4)$ $11,17 \leq 39,6$
Динамічна стійкість: - симетричний струм: - ударний струм:	$I'' \leq I_{дин.ст}$ $i_y \leq 1,8\sqrt{2}I_{дин.ст}$	$7,9 \leq 52$ $17,8 \leq 132,37$
Термічна стійкість	$B_\kappa \leq I_{TH}^2 t_{TH}$	$91,17 \leq 1200$

Найменший час від початку к.з. до моменту розходження дугогасячих контактів:

$$\tau = t_{pz.min} + t_{c.в} = 0,7 + 0,042 = 0,742 \text{ с}$$

Аперіодична складова струму к.з. для моменту розходження контактів:

$$i_{a\tau} = \sqrt{2}I'' e^{\frac{-\tau}{T_a}} = 1,41 \cdot 7,9 \cdot e^{\frac{-0,742}{0,0189}} = 0 \text{ кА}$$

Тепловий імпульс від струму к.з.:

$$B_\kappa = I''^2 (t_{c.в} + t_{pz.max} + T_a) = 7,9^2 (0,042 + 1,4 + 0,0189) = 91,17 \text{ кА}^2\text{с}$$

Обираємо для встановлення вакуумний вимикач типу ВР1-10-20/630 У2.

					Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата	65

Таблиця 7.3.3. Вибір вимикача напругою 10 кВ на відхідних КЛ до ТП

Параметр вимикача	Умова вибору	Розрахунок
Номінальна напруга, кВ	$U_{уст} \leq U_{ном}$	$10 \leq 10$
Довготривалий струм, кА	$I_{роб.форс} \leq I_{ном}$	$29,09 \leq 630$
Відключаюча здатність: - симетричний струм: - аперіодична складова: - повний струм:	$I_{нт} \leq I_{відкл.ном}$ $i_{a\tau} \leq \sqrt{2}\beta_n I_{відкл.ном}$ $\sqrt{2}I_{нт} + i_{a\tau} \leq$ $\leq \sqrt{2}I_{ном.відкл} (1 + \beta_n)$	$7,9 \leq 20$ $0 \leq 11,31$ $1,41 \cdot 7,9 + 0 <$ $< 1,41 \cdot 20 \cdot (1 + 0,4)$ $11,17 \leq 39,6$
Динамічна стійкість: - симетричний струм: - ударний струм:	$I'' \leq I_{дин.ст}$ $i_y \leq 1,8\sqrt{2}I_{дин.ст}$	$7,9 \leq 52$ $17,8 \leq 132,37$
Термічна стійкість	$B_k \leq I_{ТН}^2 t_{ТН}$	$78,69 \leq 1200$

Найменший час від початку к.з. до моменту розходження дугогасячих контактів:

$$\tau = t_{pz.min} + t_{c.в} = 0,9 + 0,042 = 0,942 \text{ с}$$

Аперіодична складова струму к.з. для моменту розходження контактів:

$$i_{a\tau} = \sqrt{2}I'' e^{\frac{-\tau}{T_a}} = 1,41 \cdot 7,9 \cdot e^{\frac{-0,942}{0,0189}} = 0 \text{ кА}$$

Тепловий імпульс від струму к.з.:

$$B_k = I''^2 (t_{c.в.} + t_{pz.max} + T_a) = 7,9^2 (0,042 + 1,2 + 0,0189) = 78,69 \text{ кА}^2\text{с}$$

Обираємо для встановлення вакуумний вимикач типу ВР1-10-20/630 У2.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		66

7.4. Вибір потужності та схем живлення трансформаторів власних потреб

Система власних потреб (ВП) підстанції є важливою складовою, оскільки її безперебійне функціонування забезпечує надійність роботи усєї підстанції та, як наслідок, стабільність електропостачання споживачів. Надійність і безперервність живлення ВП визначає ефективність роботи систем керування, захисту, автоматики та допоміжного обладнання.

Склад електроприймачів ВП залежить від типу підстанції, встановленої трансформаторної потужності, наявності синхронних компенсаторів, а також від конструктивних і технологічних особливостей встановленого обладнання.

До основних електроспоживачів системи ВП відносяться: електродвигуни систем обдуву силових трансформаторів і синхронних компенсаторів; кола оперативного струму; підігрівачі вимикачів, від'єднувачів, короткозамикачів, шаф комплектних розподільчих пристроїв із вбудованими апаратами й контрольно-вимірювальними приладами; системи робочого та аварійного освітлення, опалення, пожежогасіння; засоби релейного захисту, автоматики, зв'язку і телемеханіки.

На підстанціях, обладнаних повітряними вимикачами, до складу ВП додатково входять компресорні установки. У випадках застосування систем з постійним оперативним струмом використовуються також зарядні й підзарядні пристрої.

Найвищий пріоритет у забезпеченні надійності живлення мають такі споживачі ВП, як: кола оперативного струму, системи релейного захисту, зв'язку, телемеханіки, охолодження трансформаторів, протипожежного захисту, а також компресорні установки.

Електропостачання споживачів ВП зазвичай здійснюється через знижувальні трансформатори з номінальною вторинною напругою 380/220 В.

										Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата						67

Таблиця 7.4. Вибір трансформаторів власних потреб (ЦРП)

№ n/n	Споживачі	$P_{ном}$, кВт	n , шт.	$P_{сум}$, кВт	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	$P_{уст}$, кВт	$Q_{уст}$, кВАр
1.	Пристрої підігріву комірок КРП	0,6	10	6	0,97	0,25	6	2
2.	Опалення і освітлення приміщення оперативного персоналу	6	3	18	0,97	0,25	18	5
3.	Зовнішнє освітлення	4,5	4	18	0,97	0,25	18	5
4.	Споживання оперативними колами	4,5	4	18	0,97	0,25	18	5
<i>Всього</i>							60	17

Навантаження ТВП:

$$S_{уст} = \sqrt{P_{уст}^2 + Q_{уст}^2} = \sqrt{60^2 + 17^2} = 62,36 \text{ кВА}$$

Розрахункова потужність ТВП:

$$S_p = K_c S_{уст} = 0,8 \cdot 62,36 = 49,89 \text{ кВА}$$

Обираємо до встановлення 2 трансформатори типу ТМ-40/10.

Коефіцієнт завантаження ТВП:

$$K_з = \frac{S_p}{n \cdot S_{ном}} = \frac{49,89}{2 \cdot 40} = 0,62$$

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата					68

8. Розробка системи автоматизованого контролю на ЗАТ «Протеїн-продакшин»

Зростання вартості енергоресурсів упродовж останніх років призвело до суттєвого перегляду підходів до організації енергообліку на промислових підприємствах. Споживачі дедалі частіше усвідомлюють необхідність переходу від розрахунків за умовними нормативами, договірними величинами або застарілими малоточними приладами до сучасного, високоточного приладового обліку. Підприємства активно реформують застарілі системи енергообліку, адаптуючи їх до актуальних вимог ринку та нормативів.

Ринкова економіка енергоресурсів формує нові вимоги: точний і достовірний облік стає першим і найважливішим кроком до енергоощадності та мінімізації фінансових втрат. Саме тому сучасна система торгівлі енергоресурсами ґрунтується на використанні автоматизованих засобів вимірювання та обліку, які практично повністю виключають участь людини на етапах вимірювання, збору та обробки інформації. Це забезпечує оперативний, надійний і адаптивний облік, здатний працювати в умовах різноманітних тарифних систем як з боку постачальника, так і споживача.

У зв'язку з цим як енергопостачальні організації, так і споживачі впроваджують на своїх об'єктах автоматизовані системи контролю та обліку енергоресурсів (АСКОЕ або АСКУЕ). Завдяки впровадженню АСКУЕ промислове підприємство отримує можливість повного контролю над процесом енергоспоживання, а також може оперативно переходити до оптимальних тарифних моделей, зменшуючи витрати на енергоресурси.

Сьогодні ключовим напрямом у сфері енергообліку є впровадження сучасних автоматизованих систем. Світова практика доводить, що альтернативи принципу «все має бути враховано — за все слід платити» не існує.

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата					69

8.1. Структура АСКУЕ

Вирішення задач ефективного енергообліку на підприємстві потребує впровадження автоматизованої системи контролю та обліку енергоресурсів (АСКУЕ). Типова структура такої системи включає чотири взаємопов'язані рівні:

Перший рівень — первинні вимірювальні прилади (ПВП) з телеметричними або цифровими виходами. Вони здійснюють безперервний або квазіперервний (з малим інтервалом усереднення) контроль параметрів енергоспоживання: споживання електроенергії, потужність, тиск, температура, кількість енергоносіїв та теплоти — у конкретних точках обліку (наприклад, фідерах, трубопроводах тощо).

Другий рівень — пристрої збору та підготовки даних (ПЗПД). Це спеціалізовані вимірювальні комплекси або багатофункціональні програмовані перетворювачі з вбудованим програмним забезпеченням. Вони забезпечують безперервний добовий збір, попередню обробку, зберігання та передачу даних від ПВП до вищих рівнів системи згідно з заданим циклом.

Третій рівень — персональні комп'ютери (ПК) або сервери локальних центрів збору даних, оснащені спеціалізованим програмним забезпеченням АСКУЕ. Вони виконують обробку інформації, отриманої з ПЗПД, зведення даних по окремих точках обліку, виробничих підрозділах або об'єктах підприємства. Також забезпечується зручне візуальне відображення інформації для аналізу та оперативного прийняття рішень енергетичними службами та керівництвом.

Четвертий рівень — центральний сервер підприємства або енергосистеми, на якому реалізовано розширене програмне забезпечення АСКУЕ. Він здійснює інтеграцію інформації з ПК або серверів нижчого рівня, поглиблену агрегацію даних за об'єктами, формування звітності, підтримку договірних

									Арк.
									70
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата					

відносин щодо постачання енергоресурсів, а також автоматичне формування платіжних документів.

Усі рівні АСКУЕ об'єднані між собою каналами зв'язку. На рівнях ПВП та ПЗПД зазвичай використовуються стандартні інтерфейси типу RS-485 або PLC. Передача даних між ПЗПД і центрами збору вищих рівнів здійснюється через локальні обчислювальні мережі, виділені або комутовані канали зв'язку.

Автоматизована система комерційного обліку електроенергії (АСКУЕ), впроваджена на ЗАТ «Протеїн Продакшн», є багаторівневою розподіленою системою збору, обліку та контролю активної й реактивної електроенергії та потужності. Вона також виконує функції моніторингу та керування енергоспоживанням підприємства, забезпечуючи надійність, точність та оперативність енергетичного управління.

8.2. Основні функції системи АСКУЕ

Автоматизована система контролю та обліку електроенергії (АСКУЕ) є сучасною інформаційно-вимірювальною системою, яка включає в себе такі основні компоненти:

- Первинні вимірювальні перетворювачі — стандартні трансформатори струму і напруги, які серійно виготовляються;
- Лічильники електроенергії, включаючи багатофункціональні мікропроцесорні пристрої;
- Пристрої збору та передачі даних (ПЗПД), зокрема модулі ІТЕКСОММ та контролери вимірювально-інформаційного комплексу ІТЕК-210;
- Персональні комп'ютери типу ІВМ РС для обробки, збереження та візуалізації даних;
- Спеціалізоване програмне забезпечення.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		71

У якості базової інтегрованої платформи обліку й моніторингу електроспоживання прийнято систему ІТЕК-410. Вона призначена для створення автоматизованих систем обліку електроенергії (АСУЕ) в комбінації з такими технічними засобами:

- трифазними індукційними або електронними лічильниками з імпульсним виходом;
- каналами зв'язку;
- персональними комп'ютерами;
- модемами (за необхідності);
- іншими модулями ІТЕК-410.

Система ІТЕК-410 отримує дані від лічильників типу NIK 2301 через цифровий протокол RS-485. Оскільки система розгорнута в межах підприємства, модеми не використовуються; для узгодження інтерфейсів застосовуються перетворювачі RS-232/RS-485. Передача інформації між лічильниками комерційного обліку і контролерами відбувається за допомогою послідовного протоколу RS-232. Канали керування системою ІТЕК-410 дозволяють здійснювати управління навантаженням відповідно до заявленої потужності.

Програмний модуль ІТЕК-410 інтегрований із ЕОМ, забезпечуючи запис усієї отриманої з первинних пристроїв інформації у базу даних. Ця інформація використовується як для внутрішнього технічного аналізу, так і для комерційного обліку. Зв'язок із сервером енергопостачальної організації здійснюється через виділений телефонний канал із використанням модемного обладнання.

ПЗПД типу ItekBrd16 здійснює підрахунок імпульсів від лічильників активної та реактивної електроенергії. Зібрана інформація передається в цифровому вигляді через інтерфейс RS-485 у контролери збору, де архівується з інтервалом 1 хвилина або 30 хвилин. Система функціонує в режимі реального часу з постійною самодіагностикою компонентів. Єдиний системний час підтримується модулем ItekTIME.

Основні функції системи:

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		72

- Збір даних з лічильників з імпульсним та цифровим виходом;
- Формування архівів: хвилинних, півгодинних, добових, подій і середніх значень потужності;
- Синхронізація системного часу всіх елементів по сигналам точного часу;
- Паралельний збір даних з усіх підстанційних контролерів;
- Групування вимірювальних каналів (ВК) за обліковими зонами;
- Розрахунок енергоспоживання по групах ВК та збереження даних на SQL-серверах (зберігання комерційних даних не менше трьох років);
- Розрахунок балансу електроенергії та потужності в режимі онлайн;
- Багатокористувацький доступ до даних за технологіями COM/DCOM та OPC;
- Виведення інформації у вигляді таблиць, графіків, мнемосхем, звітів (MS Excel);
- Облік активної та реактивної електроенергії (включно з погодинними тарифами);
- Багаторівневий захист інформації та реєстрація спроб несанкціонованого доступу;
- Забезпечення роботи при короткочасних перебоях живлення шляхом автоматичного переходу на резервні джерела;
- Збереження даних при аваріях у мережі, збоях каналів зв'язку або відмовах обладнання;
- Ведення баз даних технічних та програмних засобів АСКУЕ;
- Повна діагностика функціонування системи.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		73

Основні технічні характеристики

Межі відносної похибки вимірювальних каналів, що допускається, по активній і реактивній енергії і потужності визначаються умовами експлуатації і похибкою що входять в них пристроїв. Див. табл. 8.1.

Таблиця 8.1 Відносні похибки вимірювальних каналів

№ п/п	Клас ліч-ка	Клас ТТ	Клас ТН	Межа відносної похибки ВК по енергії в нормальних умовах застосування	Межа відносної похибки ВК по енергії в робочих умовах застосування	Межа відносної похибки ВК по потужності в нормальних умовах застосування	Межа відносної похибки ВК по потужності в робочих умовах застосування
КО	0.5S	0.5	0.5	0,40	0,42	0,45	0,47
ТО	1	0.5	0,5	1.24	1.30	1.40	1,45

Таблиця 8.2. Комплектність приладів для організації обліку

Найменування і позначення (тип)	Клас точності %	К-ть
Електролічильник типу SL7000	0,5	2
Електролічильник САЗУ	0.5	4
Електролічильник СР4У	1,0	6
Трансформатор струму ТЛК	0,5	26
Трансформатор напруги НАМИ-10	0,5	2

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		74

8.4. Основні задачі АСКУЕ на підприємстві

Контроль і облік постачання та споживання енергоресурсів, незалежно від технічних засобів їх реалізації має на меті:

1. Забезпечення коректних розрахунків за енергоресурси відповідно до фактичного обсягу їх постачання або споживання.
2. Мінімізація як виробничих, так і невиробничих витрат на енергоресурси.

Зниження витрат на енергоносії може досягатися різними шляхами — як без зменшення обсягів їх споживання (наприклад, за рахунок оптимізації режимів роботи), так і за рахунок прямого скорочення споживання.

Створення автоматизованої системи контролю та обліку енергоресурсів (АСКУЕ) є ефективним інструментом для досягнення постійної економії як енергоресурсів, так і фінансових ресурсів підприємства. Вартість впровадження системи зазвичай невелика порівняно з її економічним ефектом, який може сягати 15–30% від річного енергоспоживання. Окупність проекту зазвичай настає вже протягом 2–3 кварталів.

АСКУЕ виступає не лише засобом точного обліку для розрахунків із постачальниками, а й інструментом сталого зниження енерговитрат та зменшення їх частки у собівартості продукції.

Із зростанням рівня автоматизації виробництва та зменшенням впливу людського фактора на керування енергоспоживанням, АСКУЕ може інтегруватися безпосередньо в систему управління підприємством. У такому випадку вплив на енергоспоживання здійснюватиметься через автоматичні регулятори навантаження, а не через диспетчера або інженера-енергетика.

До моменту, коли виробничими процесами ще переважно керують люди, АСКУЕ зберігає своє значення передусім як засіб виявлення енергетичних втрат і неефективного використання ресурсів.

									Арк.
									75
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата					

8.5. Обґрунтування систем комерційного та технічного обліку і контролю системи електроспоживання

Розрахунковий (комерційний) облік електроенергії — це облік виробленої або відпущеної споживачам електричної енергії, який слугує підставою для здійснення грошових розрахунків. Прилади, що використовуються для цього типу обліку, називаються розрахунковими лічильниками.

Технічний облік електроенергії — це облік, який здійснюється з метою контролю за споживанням електроенергії всередині електростанцій, підстанцій, на підприємствах, а також у приміщеннях, квартирах тощо. Для цього використовуються лічильники технічного обліку.

Вибір комплексних систем обліку та контролю електроспоживання, багатофункціональних лічильників.

Для забезпечення комерційного обліку електроенергії передбачається встановлення багатофункціональних лічильників типу SL7000.

Мікропроцесорні лічильники серії SL7000 (та їх аналоги) призначені для обліку активної та реактивної енергії в мережах змінного струму, а також для використання в складі автоматизованих систем контролю та обліку електроенергії (АСКУЕ). Вони дозволяють передавати як виміряні, так і розраховані параметри на диспетчерські пункти для подальшого контролю, обліку та розподілу енергії.

З огляду на те, що в межах даної роботи необхідно здійснювати комерційний облік активної та реактивної електроенергії в одному напрямку, а також реєструвати максимальні навантаження при класі точності 0,5 в трипровідній мережі з трансформаторним включенням і з можливістю зменшення графіка навантаження, оптимальним є використання лічильника SL7000.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		76

Для ведення технічного обліку застосовуються електронні лічильники активної та реактивної потужності типів Nik 2301 та Nik 2302.

Комплексна система обліку й контролю електроспоживання на підприємстві реалізується за допомогою інформаційного електровимірювального пристрою ІТЕК-410.

Система ІТЕК-410 розроблена для побудови автоматизованих систем контролю та обліку електроенергії (АСУЕ) у поєднанні з трифазними лічильниками електроенергії, оснащеними імпульсними або цифровими виходами.

Комплекс ІТЕК-410 приймає дані від електронних лічильників через інтерфейс RS-232 та телемеханічні канали. Оскільки система встановлена на території заводу, використання інтерфейсних перетворювачів RS232/RS485 не є необхідним. Передача інформації від лічильників комерційного обліку здійснюється цифровими каналами з використанням послідовного протоколу RS-232. Канали керування системи ІТЕК-410 також залучаються для регулювання навантажень у відповідності до заданої потужності.

Комплекс пов'язаний з ЕОМ (електронно-обчислювальною машиною), а всі дані, отримані від первинних вимірювальних приладів, автоматично зберігаються в базі даних. Ця інформація використовується як для комерційних розрахунків, так і для технічного аналізу споживання електроенергії підприємством.

8.6. Вибір електричних схем лічильників та вибір трансформаторів струму та трансформаторів напруги

Трансформатори струму підключаються до електричної мережі послідовно. До їх вторинної обмотки також послідовно приєднуються амперметри, струмові обмотки вимірювальних приладів та реле. Провідники

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		77

первинної обмотки підбираються відповідно до струму в первинному колі, а ізоляція — згідно з рівнем робочої напруги.

Вимірювальні трансформатори встановлюють як у закритих, так і у відкритих розподільчих пристроях. З'єднання з вимірювальними приладами, розташованими на щитах і пультах керування, здійснюється за допомогою контрольних кабелів.

Трансформатори струму нульової послідовності монтують безпосередньо на силових кабелях та включають у схему релейного захисту.

Вторинні кола трансформаторів обов'язково заземлюються — це забезпечує захист вимірювальних приладів у разі пошкодження ізоляції трансформаторів струму або напруги.

У мережах напругою 35 кВ та 10 кВ усі лічильники підключаються через трансформатори струму та напруги до трифазної трипровідної системи. У цехових мережах із напругою 0,38 кВ струмові обмотки лічильників технічного обліку також приєднуються через трансформатори струму, тоді як обмотки напруги підключаються безпосередньо до мережі.

Схема підключення лічильників типу SL7000 у трифазну трипровідну систему через трансформатори струму та напруги наведена на рисунку 8.1.

На вводі 10 кВ приймемо до установки трансформатори струму типу ТПЛ-10-100УЗ. Перелік приладів на вводі 10 кВ приведений в таблиці 8.3.

Таблиця 8.3 Перелік вимірювальних приладів на вводі від трансформатора ГЗП до КРП 10 кВ.

Найменування приладу	Тип приладу	Навантаження фази, В·А		
		Фаза А	Фаза В	Фаза С
Амперметр	Е 377	0,1	—	—
Ватметр	Д-335	0,5	—	0,5
Варметр	Д-335	0,5	—	0,5
Всього		1,1	—	1,0

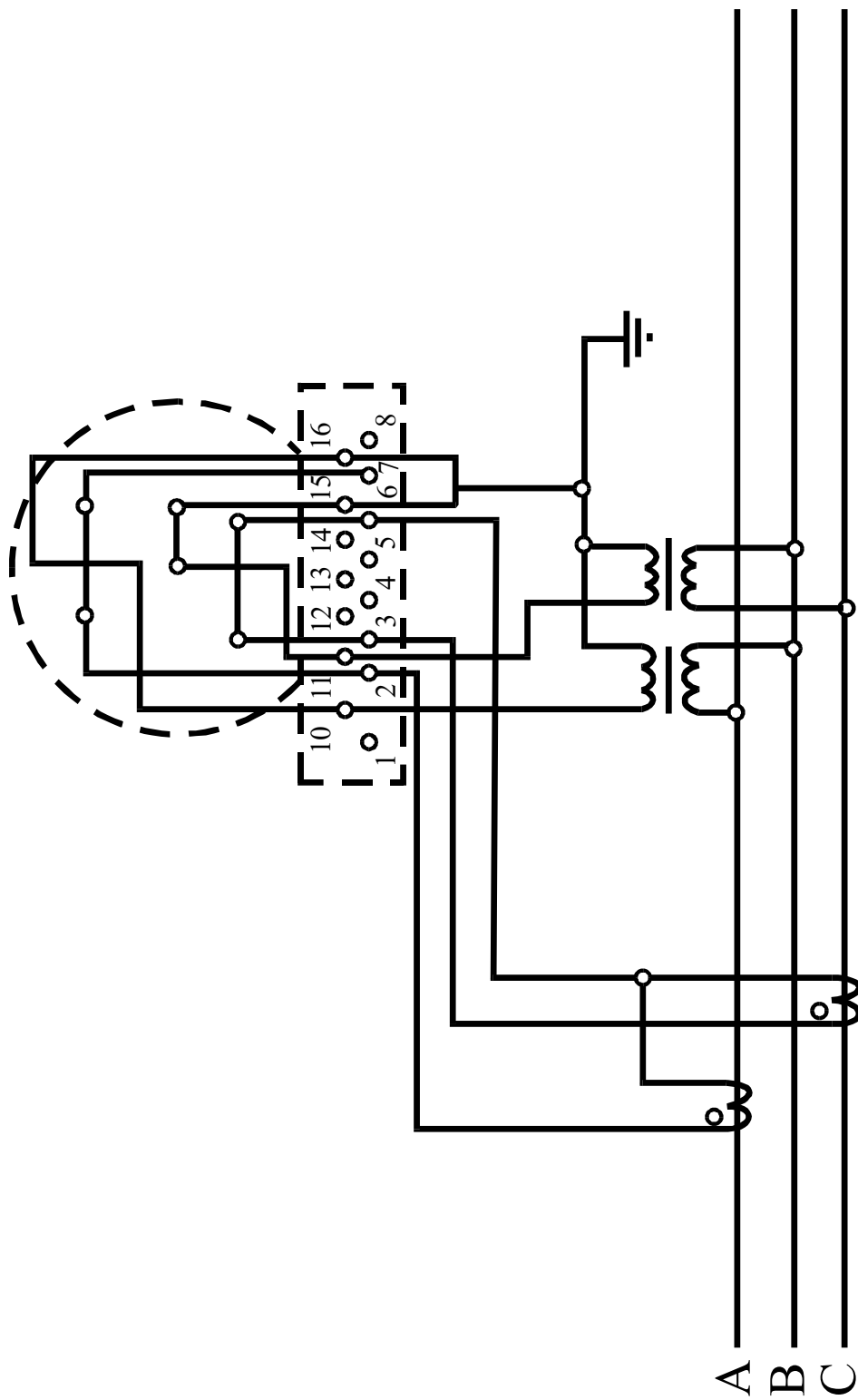


Рис. 8.1. Схема підключення лічильника типу „SL7000” в трьохфазну трьохпроводну мережу через трансформатори струму та напруги

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата

Найбільш завантажена фаза А.

Загальний опір приладів:

$$Z_{прил} = S_{прил} / I_{2ном}^2 = 1,1 / 5^2 = 0,04 \text{ Ом.}$$

Вторинне навантаження ТС в класі точності 0,5 складає 0,4 Ом, номінальний вторинний струм $I_{2ном} = 5 \text{ А}$.

Опір з'єднувальних проводів:

$$R_{пр} = Z_{2ном} - R_{прил} - R_{к} = 0,4 - 0,044 - 0,1 = 0,26 \text{ Ом}$$

Тоді переріз з'єднувальних проводів:

$$F = (\rho \cdot l_{розр}) / R_{пр} = (0,0283 \cdot \sqrt{3} \cdot 6) / 0,256 = 1,15 \text{ мм}^2$$

де $\rho = 0,028 \text{ Ом/м}$ – питомий опір алюмінію.

Приймаємо контрольний кабель АКВГ з жилами перерізом $2,5 \text{ мм}^2$

Тоді опір проводів складатиме:

$$R_{пр} = (\rho \cdot l_{розр}) / F = (0,028 \cdot \sqrt{3} \cdot 6) / 2,5 = 0,12 \text{ Ом}$$

Вторинне навантаження ТС:

$$Z_2 = Z_{прил} + R_{пр} + R_{к} = 0,04 + 0,12 + 0,1 = 0,26 \text{ Ом}$$

Перевірка ТС на правильність вибору приведена в таблиці 8.4.

Таблиця 8.4 Перевірка ТС за умовами вибору на вводі від трансформатора ГЗП до КРП 10 кВ.

Умова вибору	Розрахункові дані	Каталожні дані ТС типу ТПЛ-10-100У3
$U_{уст} \leq U_{ном}$	$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
$I_{роб.форс} \leq I_{ном}$	$I_{роб.форс} = 95,38 \text{ А}$	$I_{ном} = 100 \text{ А}$
$i_{уд} \leq i_{дин}$	$i_{уд} = 17,8 \text{ кА}$	$i_{дин.см} = 74,5 \text{ кА}$
$B_{к} \leq I_{ТН}^2 \cdot t_{ТН}$	$B_{к} = 78,7 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{ТН}^2 \cdot t_{ТН} = 78,7^2 \cdot 3 = 118581 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$
$Z_2 \leq Z_{2ном}$	$Z_2 = 0,26 \text{ Ом}$	$Z_{2ном} = 0,4 \text{ Ом}$

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		80

На відхідних лініях 10 кВ до ТП прийемо до установки трансформатори струму типу ТПЛ-10-100УЗ. Перелік приладів на відхідних лініях 10 кВ приведений в таблиці 8.5.

Таблиця 8.5 Перелік вимірювальних приладів на відхідній від КРУ 10 кВ лінії.

Найменування приладу	Тип приладу	Навантаження фази, В·А		
		Фаза А	Фаза В	Фаза С
Амперметр	Е 377	0,1	–	–
Лічильник активної енергії	Nik 2301	2,5	–	2,5
Лічильник реактивної енергії	Nik 2302	2,5	–	2,5
Всього		5,1	–	5,0

Найбільш завантажена фаза А.

Загальний опір приєднаних приладів:

$$Z_{прил} = S_{прил} / I_{2ном}^2 = 5,1/5^2 = 0,204 \text{ Ом.}$$

Вторинне навантаження ТС в класі точності 0,5 складає 0,4 Ом, номінальний вторинний струм $I_{2ном}=5\text{А}$.

Опір з'єднувальних проводів:

$$R_{пр} = Z_{2ном} - R_{прил} - R_{к} = 0,4 - 0,204 - 0,1 = 0,09 \text{ Ом}$$

Тоді переріз з'єднувальних проводів:

$$F = (\rho \cdot l_{розр}) / R_{пр} = (0,0283 \cdot \sqrt{3} \cdot 6) / 0,09 = 3,05 \text{ мм}^2$$

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата					81

де $\rho = 0,028 \text{ Ом/м}$ – питомий опір алюмінію.

Приймаємо контрольний кабель АКВГ з жилами перерізом 4 мм^2

Тоді опір проводів складатиме:

$$R_{np} = (\rho \cdot l_{розр})/F = (0,028 \cdot \sqrt{3} \cdot 6)/4 = 0,073 \text{ Ом}$$

Вторинне навантаження ТС:

$$Z_2 = Z_{прил} + R_{np} + R_k = 0,204 + 0,073 + 0,1 = 0,377 \text{ Ом}$$

Перевірка ТС на відхідній лінії до ТПЗ за умовами вибору приведена в таблиці 8.6.

Таблиця 8.6 Перевірка ТС за умовами вибору на відхідній лінії 10 кВ від КРП.

Умова вибору	Розрахункові дані	Каталожні дані ТС типу ТПЛ-10-50У3
$U_{уст} \leq U_{ном}$	$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
$I_{роб.форс} \leq I_{ном}$	$I_{роб.форс} = 46,19 \text{ А}$	$I_{ном} = 50 \text{ А}$
$i_{y\delta} \leq i_{дин}$	$i_{y\delta} = 17,8 \text{ кА}$	$i_{дин.см} = 74,5 \text{ кА}$
$B_k \leq I^2_{ТН} \cdot t_{ТН}$	$B_k = 91,17 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I^2_{ТН} \cdot t_{ТН} = 91,17^2 \cdot 3 = 24,8 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$
$Z_2 \leq Z_{2ном}$	$Z_2 = 0,377 \text{ Ом}$	$Z_{2ном} = 0,4 \text{ Ом}$

Вибір трансформаторів напруги (ТН).

Розрахуємо потужність приладів обліку та контролю, які необхідно встановити на одній секції шин 10 кВ КРП.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		82

Таблиця 8.7. Розрахунок вторинного навантаження трансформатора напруги секції шин 10 кВ.

Прилад	Тип приладу	Кількість	Загальна потужність			
			P, кВт	Σ P, кВт	Q, кВар	Σ Q, вар
Збірні шини 10 кВ:						
Вольтметр для вимірювання міжфазних напруг	Е 377	1	2	2		
Вольтметр для вимірювання фазних напруг	Е 377	1	2	2		
Ватметр	Д-335	1	0,5	0,5	2,2	2,2
Варметр	Д-335	1	0,5	0,5	2,2	2,16
Приєднані лінії 10 кВ :						
Цифровий електронний лічильник	SL7000	2	2,8	5,6	1,17	2,35
Лічильник активної енергії	НІК-2301	4	2,5	10	3,7	24,6
Лічильник реактивної енергії	НІК-2302	6	2,5	15	5,7	34,6
Всього				35,6		66,3

Вторинне навантаження трансформатора напруги:

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{(\Sigma P_{\text{прил}})^2 + (\Sigma Q_{\text{прил}})^2} = \sqrt{35,6^2 + 66,3^2} = 76,4$$

Вибираємо трансформатор напруги типу НАМИ-10 з потужністю $S_{2\text{ном}} = 120 \text{ В} \cdot \text{А}$ в класі точності 0,5.

$$S_2 = 76,36 \text{ ВА} \geq S_{\text{ном.тр-ра}} 120 \text{ ВА}$$

Як показує розрахунок вторинне навантаження менше номінального, отже трансформатор буде працювати в обраному класі точності.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		83

9. Загальні висновки

У даній кваліфікаційній роботі розроблено систему електропостачання ТОВ «Протеїн-Продакшн» (м. Кропивницький). У межах проєкту виконано розрахунок електричних навантажень, передбачено встановлення трансформаторів ЦРП-10 кВ на території підприємства, обрано сучасне електротехнічне обладнання та компенсувальні пристрої на стороні 10 кВ.

Проєктування нової системи електропостачання здійснювалося з урахуванням вимог надійності, енергоефективності, зручності в експлуатації, безпеки, можливості подальшого розширення, а також забезпечення належної якості електричної енергії.

Схема електропостачання розроблялася з урахуванням просторового розташування джерел живлення та споживачів електроенергії згідно з наявною інфраструктурою. Проведено техніко-економічні розрахунки потужностей цехових трансформаторних підстанцій, визначено їх кількість і розміщення з урахуванням характеру навантаження.

Для живлення цехових ТП застосовано радіальну схему електропостачання, яка забезпечує підвищену надійність роботи системи. Розглянуто та вирішено питання компенсації реактивної потужності, виконано розрахунок струмів короткого замикання. За результатами розрахунків обґрунтовано доцільність встановлення компенсувальних пристроїв на рівнях 0,4 кВ та 10 кВ.

Для ефективного керування компенсацією реактивної потужності використано мікропроцесорний регулятор, налаштований на підтримку максимального коефіцієнта потужності на шинах 10 кВ. Відповідно до отриманих даних обрано високовольтне обладнання, прокладено кабельні лінії до цехових ТП. З урахуванням струмів КЗ здійснено вибір і перевірку обладнання головної понизувальної підстанції (ГПП), зокрема вакуумних вимикачів типу ВР на номінальний струм 630 А.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		84

10.Список літератури

1. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ): офіц. вид. – К.: Мінпаливенерго України, 2010. – 720 с.
2. ДСТУ EN 50160:2014. Характеристики напруги в системах електропостачання загального призначення. – К.: ДП «УкрНДНЦ», 2015. – 25 с.
3. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів (ПТЕ-ЕС). – К.: Міністерство енергетики та вугільної промисловості України, 2014. – 120 с.
4. Болюх Ю.Є. Основи проектування електропостачання промислових підприємств: навч. посіб. – К.: Ліра-К, 2012. – 360 с.
5. Дьяков С.В., Зорін В.І., Стадник Л.М. Електропостачання промислових підприємств: підручник. – К.: Вища шк., 2011. – 396 с.
6. Савченко М.Ф., Стеценко А.М. Системи електропостачання: навч. посіб. – К.: Видавництво НТУУ "КПІ", 2016. – 320 с.
7. Головка В.В. Автоматизовані системи контролю та обліку електроенергії: навч. посіб. – Х.: ХНУРЕ, 2019. – 212 с.
8. Технічний паспорт мікропроцесорного регулятора реактивної потужності RPC-10. – Х.: ТОВ «Електроприлад», 2021. – 15 с.
9. Методические указания по выполнению курсового проекта по курсу «Электроснабжение промышленных предприятий» - Кировоград: КДТУ, 2003.
10. Плешков П.Г. Орлович А.Ю., Котиш А.І. Електропостачання промислових підприємств: Навчальний посібник для курсового та дипломного проектування. – Кіровоград: РВЛ КНТУ, 2007. – 386 с.

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата					86