

Центральноукраїнський національний технічний університет
Факультет будівництва, транспорту та енергетики
Кафедра «Електротехнічні системи та енергетичний менеджмент»

“Допущено до захисту”
Зав. кафедри ЕТС та ЕМ
канд. техн. наук, професор
_____ Петро ПЛІШКОВ
“__” _____ 2023 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ

ВИЩОЇ ОСВІТИ

на тему:

«Розроблення електротехнічної системи електроспоживання ТОВ "ЗАВОДУ- ФІРМИ "Ось"»

Виконав здобувач вищої освіти
IV курсу, групи ЕЕ–20-ЗСК,
ОПП «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»

_____ Антон Христенко
«__» _____ 2023 р.

Керівник роботи
доцент, канд. техн. наук
_____ Іван Савеленко
«__» _____ 2023 р.
Рецензент _____

м. Кропивницький

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет будівництва, транспорту та енергетики

Кафедра електротехнічних систем та енергетичного менеджменту

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Галузь знань 14 «Електрична інженерія»

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітньо-професійна програма «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри ЕТС та ЕМ

Петро ПЛЄШКОВ

« » 2023 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

Христенка Антона вікторовича

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи Розроблення електротехнічної системи електроспоживання ТОВ "ЗАВОДУ- ФІРМИ "Ось"

Development of the electro-technical system of electricity consumption of "FACTORY-FIRM "Os" LLC

2. Керівник роботи Савеленко Іван Володимирович, канд. техн. наук, доцент
(прізвище, ім'я, по-батькові, науковий ступінь, вчене звання)

3. Строк подання роботи до захисту 01.06.2023 р.

4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи. Метою роботи є розроблення електротехнічної системи електроспоживання ТОВ «Ось». Для досягнення поставленої мети роботи необхідно вирішити наступні завдання: 1. Провести розрахунок електричних навантажень. 2. Провести розрахунок теплових навантажень. 3. Провести розрахунок картограми електричних та теплових навантажень. 4. Провести розрахунки з вибору джерела теплопостачання та гідравлічний розрахунок системи теплопостачання. 5. Здійснити техніко-економічне обґрунтування вибору схем електропостачання. 6. Провести розрахунок режимів реактивної потужності системи електропостачання. 7. Здійснити вибір кількості та потужності трансформаторів підприємства. 8. Провести розрахунок струмів коротких замкнень та здійснити вибір високовольтного обладнання. 9. Провести розрахунок спеціального розділу роботи.

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
<i>Спеціальний розділ</i>			

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
<i>1</i>	<i>Розрахунок електричних навантажень до 1 кВ</i>	<i>10.04-12.04</i>	
<i>2</i>	<i>Розрахунок електричних навантажень</i>	<i>13.04-23.04</i>	
<i>3</i>	<i>Картограма електричних навантажень</i>	<i>24.04-26.04</i>	
<i>4</i>	<i>Техніко-економічне обґрунтування вибору схем електропостачання</i>	<i>2.05-5.05</i>	
<i>5</i>	<i>Режими реактивної потужності системи електропостачання</i>	<i>6.05-9.05</i>	
<i>6</i>	<i>Вибір кількості та потужності трансформаторів підприємства</i>	<i>10.05-13.05</i>	
<i>7</i>	<i>Розрахунок струмів коротких замкнень та вибір високовольтного обладнання</i>	<i>14.05-16.05</i>	
<i>8</i>	<i>Спеціальний розділ</i>	<i>17.05-28.05</i>	
<i>9</i>	<i>Оформлення презентаційної частини БКР</i>	<i>29.05-30.05</i>	
<i>10</i>	<i>Оформлення пояснювальної записки БКР</i>	<i>31.05-1.06</i>	
<i>11</i>	<i>Оформлення пояснювальної записки БКР</i>	<i>31.05-1.06</i>	

Дата видачі завдання

«___» _____ 2023 р.

Підпис керівника

Іван САВЕЛЕНКО

Завдання прийнято до виконання

«___» _____ 2023 р.

Підпис здобувача

Антон ХРИСТЕНКО

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: 75 с.; 13 рис.; 32 табл.; 8 джерел

Христенко А. В. Розроблення електротехнічної системи електроспоживання ТОВ "ЗАВОДУ- ФІРМИ "Ось". – Рукопис.

Бакалаврська робота за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», ОПП «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». – Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, 2023 рік.

У даній бакалаврській роботі проведено проектування сучасної електротехнічної системи промислового підприємства ТОВ "ЗАВОД- ФІРМИ "Ось". Робота включає розрахунки електричних навантажень, визначення режимів реактивної потужності, струмів коротких замикань, вибір схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання, а також вибір високовольтного обладнання системи електропостачання та розробку спеціального розділу.

Спеціальний розділ роботи присвячено питанню енергозбереження в силовому електроприводі системи електропостачання.

Ключові слова: електричні навантаження, електрична потужність, робочі та аварійні струми, електропривід, енергозбереження

ABSTRACT

Qualification work: 75 p.; 13 Fig.; 32 tables; 8 sources

KHRYSTENKO A. V. Development of the electro-technical system of electricity consumption of "FACTORY-FIRM "Os" LLC. – Manuscript.

Bachelor's thesis on specialty 141 "Electric power engineering, electrical engineering and electromechanics", OPP "Electric power engineering, electrical engineering and electromechanics". – Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, 2023.

In this bachelor's work, the design of the modern electrical engineering system of the industrial enterprise ZAVOD-FIRMY "Os" LLC was carried out. The work includes calculations of electrical loads, determination of reactive power modes, short-circuit currents, selection of external and internal power supply schemes, as well as selection of high-voltage equipment of the power supply system and development of a special section.

A special section of the work is devoted to the issue of energy saving in the power electric drive of the power supply system.

Keywords: electrical loads, electrical power, operating and emergency currents, electric drive, energy saving

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1. КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ.....	10
2. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ.....	11
2.1 РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПОТУЖНОСТІ В МЕРЕЖІ ДО 1000В.....	11
2.2 РОЗРАХУНОК ОСВІТЛЮВАЛЬНОЇ ПОТУЖНОСТІ ПІДПРИЄМСТВА.....	20
2.3 РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПОТУЖНОСТІ В МЕРЕЖІ ВИЩЕ 1 кВ.....	20
3. ГРАФІКИ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ПІДПРИЄМСТВА.....	28
4. КАРТОГРАМА ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ.....	36
5. ВИБІР НАПРУГИ І ЕЛЕКТРИЧНИХ СХЕМ ЗОВНІШНЬОГО ТА ВНУТРІШНЬОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВА	39
5.1. РОЗРАХУНОК ЗОВНІШНЬОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ.	41
5.2. ВИБІР НАПРУГ ТА СХЕМ ВНУТРІШНЬОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ.	42
6. РЕЖИМИ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ.	49
6.1. РОЗРАХУНОК БАЛАНСУ ТА ВИБІР КОМПЕНСУЮЧИХ ПРИСТРОЇВ В ЦЕХОВИХ МЕРЕЖАХ	49
6.2. ВИБІР КІЛЬКОСТІ, ПОТУЖНОСТІ ТА МІСЦЯ РОЗТАШУВАННЯ КОМПЕНСУЮЧИХ ПРИСТРОЇВ.	53
7. ВИБІР КІЛЬКОСТІ ТА ПОТУЖНОСТІ ТРАНСФОРМАТОРІВ ПІДПРИЄМСТВА	59
7.1. ВИБІР КІЛЬКОСТІ ТА ПОТУЖНОСТІ ТРАНСФОРМАТОРІВ ГОЛОВНИХ ЗОВНІШНІХ ПІДСТАНЦІЙ	59
7.2 ВИБІР КІЛЬКОСТІ ТА ПОТУЖНОСТІ ТРАНСФОРМАТОРІВ ЦЕХОВИХ ПІДСТАНЦІЙ. ..	59

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ОСВІТИ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розробив		Христенко А.			Розроблення електротехнічної системи електроспоживання ТОВ "ЗАВОДУ- ФІРМИ "Ось"	Літера	Аркуш
Перевірів		Савеленко І. В.					
Н. Контр.						6	81
Затв.		Плещиков П. Г.				ЦНТУ ЕЕ-20-ЗСК	

8 РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКИХ ЗАМКНЕНЬ ДЛЯ ВИБОРУ ВИСОКОВОЛЬТНОГО ОБЛАДНАННЯ	61
8.1. Розрахунок струмів короткого замикання.	61
8.2. Вибір високовольтного обладнання	65
9. АНАЛІЗ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ НА ПІДПРИЄМСТВІ ЗАСОБАМИ ПРОМИСЛОВОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА	70
9.1. Аналіз підходів до енергозбереження в електроприводах	70
9.2. Енергозбереження в двигунах на режимах частих пусків.	74
9.3. Економія енергії за рахунок обмеження часу холостого ходу двигунів	77
9.4. Економія енергії при заміні малозавантажених двигунів.	77
ВИСНОВКИ	80
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	81

						Арк.
Вим	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		7

ВСТУП

У сучасному промисловому секторі електротехнічні системи є невід'ємною складовою частиною будь-якого підприємства, зокрема ТОВ "ЗАВОД- ФІРМИ "Ось". Розроблення ефективної електротехнічної системи електроспоживання є важливим завданням, оскільки це дозволяє забезпечити безперебійне енергопостачання, знизити витрати на споживання електроенергії і збільшити загальну продуктивність заводу.

На ТОВ "ЗАВОД- ФІРМИ "Ось" використовують значну кількість електроенергії для роботи різноманітних обладнання, такого як верстати, пневматичні і гідравлічні системи, конвеєрні лінії, освітлення та термічні системи. Від правильного проектування електротехнічної системи залежить якість та ефективність її роботи.

Під час розроблення електротехнічної системи враховуються такі фактори, як потужність обладнання, споживання електроенергії, дотримання норм і стандартів безпеки, резервування та автоматизація системи. Правильне визначення цих факторів допомагає ефективно розподілити електроенергію, уникнути перевантажень і забезпечити стабільну роботу всього обладнання.

Розроблення електротехнічної системи електроспоживання ТОВ "ЗАВОД- ФІРМИ "Ось" також включає в себе використання новітніх технологій, які сприяють підвищенню продуктивності і енергоефективності. Наприклад, впровадження систем автоматизації та керування дозволяє забезпечити оптимальне регулювання електричних параметрів, моніторинг споживання електроенергії та виявлення можливих несправностей.

Окрім цього, при проектуванні електротехнічної системи електроспоживання ТОВ "ЗАВОД- ФІРМИ "Ось" повинні враховуватися екологічні аспекти. Застосування енергоефективного обладнання, відновлюваних джерел енергії, а також систем енергозбереження, що сприяє

						Арк.
Вим	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		8

зниженню викидів шкідливих речовин у навколишнє середовище та покращенню екологічного стану.

Необхідно зазначити, що розроблення електротехнічної системи електроспоживання заводу вимагає врахування індивідуальних потреб підприємства. Кожен промисловий об'єкт має свої особливості, розмір і характер виробництва, що впливають на вимоги до електричної мережі. Ретельне дослідження та аналіз потреб дозволяє розробити оптимальну систему, яка відповідає усім вимогам та забезпечує ефективну роботу ТОВ "ЗАВОД- ФІРМИ "Ось".

Основна мета розроблення електротехнічної системи електроспоживання ТОВ "ЗАВОД- ФІРМИ "Ось" полягає у забезпеченні безперебійного постачання електроенергії до всіх необхідних точок споживання, зниженні витрат на електроенергію та забезпеченні безпеки працівників.

В даному дипломному проєкті розроблена електротехнічна система електроспоживання ТОВ "ЗАВОД- ФІРМИ "Ось" з впровадженням заходів з електрозбереження в силовому електроприводі.

						Арк.
Вим	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		9

1. КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

ТОВ «Завод-фірма «Ось» - підприємство відноситься до підприємств машинобудівної галузі започаткувало свою діяльність у 1992 році.

Підприємство спеціалізується на виготовленні вантажних причепів для легкових автомобілів, які призначені для перевезення різних типів вантажів по всіх видах доріг, де допускається експлуатація автотранспорту. В даний час компанія пропонує 30 різних модифікацій автопричепів. Основними тягачами для цих причепів є легкові автомобілі малого і середнього класів, а також мікроавтобуси.

ТОВ "Завод-фірма "Ось" є єдиним підприємством в Україні, яке виготовляє повний комплект бджолообладнання.

У машинобудівній галузі, де постійно впроваджуються нові методи обробки матеріалів та нове обладнання, середня потужність приводів металообробних станків коливається від 0,5 до 10 кВт. Більшість станків оснащені тиристорним електроприводом, тому вони є споживачами змінного струму. Зазвичай використовується напруга змінного струму 380 В з номінальною частотою 50 Гц. Більшість станків відноситься до споживачів II категорії з приводу безперебійного живлення.

Для електропостачання заводу може використовуватися ЦРП № 7 ПРАТ "КОЕК", яка знаходиться на відстані 1,5 км від заводу.

У цехах, де займаються металоконструкціями, використовується дугове зварювання. Потужність однопостових зварювальних трансформаторів для ручного зварювання коливається від 9 до 32 кВт. Для пресування профілів використовуються преси потужністю від 14 до 55 кВА.

									Арк.
Вим	Арк.	№ документа	Підпис	Дата					10

2. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Електричні навантаження становлять основні вихідні дані для розв'язання складного комплексу технічних та економічних питань, що виникають при проектуванні електропостачання підприємства.

Визначення електричних навантажень є першим етапом у проектуванні будь-якої системи електропостачання і здійснюється з метою вибору та перевірки струмовідводячих елементів і трансформаторів з погляду нагріву, розрахунку відхилень та коливань напруги, вибору компенсуючих установок, захисних пристроїв тощо.

Від належної оцінки очікуваних електричних навантажень залежить раціональність вибору схеми і всіх компонентів системи електропостачання, а також її техніко-економічні показники.

2.1 Розрахунок електричної потужності в мережі до 1000В

При встановленні електричних навантажень у мережах з напругою до 1000 В рекомендується використовувати такий порядок розрахунку:

- а) Сумування кількості силових електроприймачів і їх номінальних потужностей за розрахунковим вузлом;
- б) Сумування середніх активних і реактивних навантажень робочих електроприймачів;
- в) Визначення групового коефіцієнта використання та середньозваженого коефіцієнта потужності;
- г) Визначення ефективної кількості електроприймачів у вузлі;
- д) Визначення коефіцієнта максимуму та максимального електричного навантаження силових електроприймачів за допомогою кривих або таблиць;

						Арк.
Вим	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		11

е) Визначення сумарної номінальної потужності і середнього навантаження вузла, якщо в ньому є приймачі з постійним графіком роботи;

ж) Розрахунок силового навантаження вузла шляхом сумування розрахункових навантажень електроприймачів зі змінним графіком та середніх навантажень електроприймачів з постійним графіком.

Розрахункове активне навантаження групи електроприймачів (ЕП) або вузла навантаження визначається за таким виразом:

$$P_p = P_{cm} \cdot K_m, \quad (2.1)$$

де P_{cm} - середнє активне навантаження за завантаженою зміну;

K_m - коефіцієнт максимуму.

Коефіцієнт K_m знаходиться залежить від коефіцієнта використання та числа ефективних ЕП розрахункового вузла.

Коефіцієнт використання визначається:

$$K_{и} = \frac{\sum_1^n P_{cm}}{\sum_1 P_n}, \quad (2.2)$$

де P_{cm} P_n - відповідно середнє навантаження та усталена потужність ЕП розрахункового вузла;

n - кількість груп електроприймачів з різними режимами роботи, що входять до складу навантажень розрахункового вузла.

Ефективне число ЕП:

$$m = \frac{P_{n.max}}{P_{n.min}}, \quad (2.3)$$

де $P_{n.max}$ $P_{n.min}$ - максимальна та мінімальна потужність ЕП.

						Арк.
						12
Вим	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

При $m > 3$ $K_H > 0,2$ значення значення ефективного числа електроприймачів:

$$n_e = \frac{2 \cdot \sum P_H}{P_{H, \max}} . \quad (2.4)$$

Розрахункове реактивне значення потужності групи електроприймачів чи вузла навантаження обчислюється за допомогою наступного виразу:

$$Q_p = Q_{cm}, \quad (2.5)$$

при числі n_e більше 10;

$$Q_p = 1,1 \cdot Q_{cm}, \quad (2.6)$$

при числі n_e менше або рівному 10,

де Q_{cm} - реактивне навантаження усереднене в найбільш завантажену зміну:

$$Q_{cm} = P_{cm} \cdot \operatorname{tg} \varphi . \quad (2.7)$$

Розрахунковий максимум споживання:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} . \quad (2.8)$$

У розрахунку навантажень ЕП з тривалим режимом роботи, де коефіцієнт використан. (K_H) більше 0,6, а коефіцієнт включення (K_B) дорівнює 1, значення коефіцієнта максимуму (K_M) приймається рівним одиниці.

Такі ЕП включають, наприклад, електродвигуни різних вентиляторів, шарових млинів, димососів, насосів для водопостачання, компресорів тощо. У

						Арк.
Вим	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		13

системі електропостачання вони утворюють цілу групу електрообладнання з рівномірним графіком навантаження.

При наявності обладнання з повторно-короткочасним режимом, потужність цих ЕП визначається згідно наступних формул:

$$P_H = P_{\text{пасп}} \sqrt{\frac{ПВ\%}{100}}, \quad (2.9)$$

$$S_H = S_{\text{пасп}} \sqrt{\frac{ПВ\%}{100}}, \quad (2.10)$$

де $P_{\text{пасп}}$, $S_{\text{пасп}}$ - паспортна потужність, кВт або кВА;

ПВ% - тривалість включення обладнання протягом зміни, %.

В якості, прикладу виконаємо розрахунок електричних навантажень пресового цеху.

Середнє навантаження та усталена потужність групи ЕП з однаковим режимом роботи для насосів:

$$P_{\text{ср}} = P_{\text{сум}} * K_{\text{И}} = 44 * 0,7 = 31,1 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{ср}} = P_{\text{ср}} * \text{tg}\varphi = 31 * 0,75 = 27,5 \text{ кВар}.$$

Для всіх споживачів середньозмінне навантаження:

$$P_{\text{см}} = \sum P_{\text{ср}i} = 480,0 + 51,1 + 40 + 1,01 + 158 + 77,03 + 21,4 + 20,5 + 22,3 + \\ + 38,1 + 31,2 = 937,02 \text{ кВт}$$

Аналогічно:

$$Q_{\text{см}} = 924,3 \text{ кВар}$$

						Арк.
Вим	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		14

Ефективне число ЕП:

$$n_e = \frac{2 \cdot \sum P_n}{P_{n.\max}} = \frac{2 \cdot 1654}{200} = 56 \text{ одиниць.}$$

Коефіцієнт розподілу потужності m:

$$m = \frac{P_{n.\max}}{P_{n.\min}} = \frac{200}{36} = 5,6.$$

Розрахункова активна та реактивна потужність у вузлі:

$$P_p = P_{cm} \cdot K_M = 937 \cdot 1,231 = 1153 \text{ кВт,}$$

$$Q_p = Q_{cm} = 924 \text{ кВар (у разі } n_e > 10).$$

Розрахункове значення максимальної потужності:

$$Sp = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{1153^2 + 924^2} = 1478 \text{ кВ}\cdot\text{А.}$$

Розрахунок потужності обладнання в мережі до 1000 В приведені в таблиці

2.1.

						Арк.
Вим	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		15

Таблиця 2.1. Розрахунок електричної потужності вузлів навантаження в мережі 0,4 кВ															
№	Назва вузлів навантаження та груп електроприймачів	Кількість ел. споживачів	Встановлена потужність, кВт		m	K _в	cosφ	tgφ	Середнє навантаження за зміну		n _{еф}	K _м	Розрахункова потужність		
			Одного	Сумарна					P _{ср}	Q _{ср}			P _p	Q _p	S _p
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	ТОВ завод-фірма "Ось"														
	Механічний цех														
	Металоріжучі станки	21	1,2 - 7	121,8	6	0,2	1	0,329	24,36	8,01					
	Ковальські машини	10	14,0 - 21	70	2	0,6	0,8	0,75	42,00	31,50					
	Компресори	2	1,5 - 20	37	13	0,7	0,7	1,169	25,90	30,28					
	Шліфувальні станки	4	5,0 - 25	80	5	0,2	0,5	1,732	12,00	20,78					
	Нагрівальні печі	6	5,0 - 20	90	4	0,7	0,9	0,484	63,00	30,51					
	насоси	9	5,0 - 25	180	5	0,7	0,8	0,75	126,00	94,50					
	вентилятори	10	0,5 - 10	95	20	0,7	0,8	0,75	66,50	49,88					
	Всього по цеху	62	0,5 - 25	673,8	50	0,5	0,8	0,738	359,76	265,46	54	1,1	405,9	265,46	485,04
	Гальванічний цех														
	Катодні ванни	3	5,0 - 30	75	6	0,5	1	0,203	37,50	7,61					
	Електролізні ванни	4	2,0 - 12	40	6	0,5	1	0,203	20,00	4,06					
	Ванни електропокриття	2	5,0 - 40	70	8	0,5	1	0,251	35,00	8,77					
	Кран з ПВ%= 50	4	10,0 - 10	28,3	1	0,3	0,6	1,333	7,07	9,43					
	Насоси	6	5,5 - 15	57	3	0,7	0,8	0,75	37,05	27,79					
	Вентилятори	6	5,5 - 16	63	3	0,7	0,8	0,75	40,95	30,71					
	Всього по дільниці	25	0,5 - 10	333	20	0,7	0,8	0,75	137	88	25	1,1	152,2	88,38	175,99
	Ковальський цех														
	Вентилятори	8	0,8 - 10	73,6	13	0,7	0,8	0,75	47,84	35,88					
	Транспортери	4	3,0 - 10	28	3	0,5	0,7	1,169	14,00	16,37					
	Ковальські машини	21	6,0 - 20	294	3	0,4	0,7	1,169	117,60	137,49					
	Штампи	8	10,0 - 40	240	4	0,3	0,7	1,169	72,00	84,18					
	Всього по цеху	41	0,8 - 40	635,6	50	0,4	0,7	1,089	251,44	273,91	32	1,2	312,6	273,91	415,61

продовження таблиці 2.1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	<i>Зварювально-складальний цех</i>														
	Автоматична поточна лінія	3	50,0 - 100	150	2	0,7	0,6	1,333	105,00	140,00					
	Багатофункціональні автомати	22	7,0 - 21	308	3	0,3	0,5	1,732	77,00	133,37					
	Металоріжучі станки	25	1,2 - 7	145	6	0,2	0,9	0,484	34,80	16,85					
	Зварювальні трансформатори	20	10,0 - 20	200	2	0,4	0,5	1,732	70,00	121,24					
	Компресори	14	1,5 - 20	259	13	0,7	0,8	0,75	168,35	126,26					
	Вентилятори	12	0,8 - 10	110,4	13	0,7	0,8	0,75	71,76	53,82					
	Всього по цеху	96	0,8 - 100	1172,4	125	0,4	0,7	1,123	526,91	591,55	23	1,3	662,7	591,55	888,29
	<i>Адмінбудівля</i>														
	Оргтехніка	16	0,5 - 2	24	4	0,1	0,4	2,291	2,88	6,60					
	Побутові електроприлади	21	0,1 - 2	39,9	20	0,2	0,5	1,732	7,98	13,82					
	Кондиціонери	16	1,5 - 3	16	2	0,7	0,8	0,75	10,40	7,80					
	Насоси	2	1,1 - 2	1,8	2	0,7	0,8	0,882	1,17	1,03					
	Вентилятори	4	0,5 - 3	10	6	0,6	0,8	0,75	6,00	4,50					
	Всього по адмінбудівлі	59	0,1 - 3	91,7	30	0,3	0,6	1,187	28,43	33,75	59	1,2	34,5	33,75	48,25
	<i>Цех бджолоінвентарю</i>														
	Деревообробні станки	20	1,2 - 35	676	29	0,1	0,5	1,985	81,12	160,98					
	Преси	5	10,0 - 14	20	1	0,4	0,7	1,169	7,00	8,18					
	Плоско-шліфувальні станки	4	5,0 - 15	40	3	0,2	0,5	1,732	8,00	13,86					
	Сушильні камери	8	2,0 - 6	32	3	0,7	1	0,329	22,40	7,36					
	Вентилятори	10	0,5 - 10	95	20	0,6	0,8	0,882	57,00	50,27					
	Всього по цеху	47	0,5 - 35	863	70	0,2	0,6	1,371	175,52	240,66	47	1,3	233,1	240,66	335,05
	<i>Допоміжний цех</i>														
	Зварювальні трансформатори	8	12,0 - 20	64	2	0,4	0,5	1,732	22,40	38,80					
	Сушильні печі	6	4,5 - 15	63	3	0,7	1	0,329	44,10	14,49					
	Вентилятори	4	0,5 - 3	10	6	0,6	0,8	0,75	6,00	4,50					
	Всього по цеху	18	0,5 - 20	137	40	0,5	0,8	0,797	72,50	57,79	14	1,3	92,9	57,79	109,42
	<i>Деревообробний цех</i>														

продовження таблиці 2.1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	Сушильні печі	2	4,5 - 20	31	4	0,7	1	0,329	21,70	7,13					
	Строгальні станки	4	1,2 - 10	35,2	8	0,1	0,5	1,985	4,22	8,38					
	Токарні станки	4	5,0 - 15	40	3	0,5	0,7	1,169	20,00	23,38					
	Шліфувальні станки	6	6,0 - 12	36	2	0,7	0,8	0,75	25,20	18,90					
	Преси	4	5,5 - 10	18	2	0,7	0,8	0,75	11,70	8,78					
	Вентилятори	6	2,0 - 10	48	5	0,6	0,8	0,75	28,80	21,60					
	Всього по цеху	26	1,2 - 20	208,2	17	0,5	0,8	0,79	111,62	88,17	21	1,2	136,0	88,17	162,06
	<i>Насосна</i>	49	0,5 - 15	230,0	30	0,6	0,7	1,02	126,50	129,06	31	1,2	147,8	129,06	196,19
	<i>Малярне відділення</i>														
	Насоси	10	0,5 - 5	45	10	0,6	0,8	0,75	27,00	20,25					
	Компресори	4	0,5 - 2	4	3	0,7	0,8	0,75	2,60	1,95					
	Краскопульти	6	0,5 - 2	9	4	0,4	0,6	1,333	3,60	4,80					
	Вентилятори	3	0,5 - 5	13,5	10	0,6	0,8	0,75	27,00	20,25					
	Всього по малярному відділ.	23	0,5 - 5	71,5	10	0,7	0,8	0,75	60,2	47,25	23	1,1	67,4	47,25	82,31
	<i>Гараж</i>	10	0,1 - 4	39	40	0,6	0,7	1,02	23,40	23,87					
	Вентилятори	3	3,0 - 5	8	2	0,6	0,8	0,75	4,80	3,60					
	Кран ПВ%= ³	25	0,5 - 9	9,0	18	0,5	0,7	1,169	4,50	5,26					
	Компресори	4	0,5 - 2	4	3	0,7	0,8	0,75	2,60	1,95					
	Металоріжучі станки	2	2,5 - 14	23	6	0,2	1	0,329	4,60	1,51					
	Всього по гаражу	21	2,0 - 24	83	12	0,7	0,8	0,75	39,9	36,20	7	1,2	49,6	39,82	63,64
	<i>Цех бджолоінвентарю №2</i>														
	Деревообробні станки	10	1,2 - 35	338	29	0,1	0,5	1,985	40,56	80,49					
	Преси	5	10,0 - 14	20	1	0,4	0,7	1,169	7,00	8,18					
	Плоско-шліфувальні станки	4	5,0 - 15	40	3	0,2	0,5	1,732	8,00	13,86					
	Сушильні камери	8	2,0 - 6	32	3	0,7	1	0,329	22,40	7,36					
	Вентилятори	10	0,5 - 10	95	20	0,6	0,8	0,882	57,00	50,27					
	Всього по цеху	37	0,5 - 35	525	70	0,3	0,6	1,187	134,96	160,16	30	1,4	183,5	160,16	243,57
	<i>Цех бджолоінвентарю №3</i>														
	Сушильні печі	2	4,5 - 10	11	2	0,7	1	0,329	7,70	2,53					

продовження таблиці 2.1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	Строгальні станки	4	1,2 - 7	23,2	6	0,1	0,5	1,985	2,78	5,52					
	Токарні станки	4	5,0 - 7	8	1	0,5	0,7	1,169	4,00	4,68					
	Вентилятори	6	2,0 - 10	48	5	0,6	0,8	0,75	28,80	21,60					
	Всього по цеху	16	1,2 - 10	90,2	8	0,5	0,8	0,793	43,28	34,33	16	1,3	56,1	34,33	65,74
	Склад готової продукції														
	Вентилятори	3	3,0 - 10	13	3	0,7	0,8	0,75	9,10	6,83					
	Кран з ПВ%= 25	2	2,0 - 10	10,0	5	0,4	0,7	1,169	4,00	4,68					
	Всього по складу	5	2,0 - 10	23	5	0,7	0,8	0,75	13,1	11,50	5	1,3	17,1	12,65	21,27
	Магазин	15	0,1 - 3	3,1	30	0,6	0,7	1,018	1,71	1,74	2	2,1	3,6	1,91	4,06
	<i>Механоскладальний цех</i>														
	Металоріжучі станки	21	1,2 - 7	121,8	6	0,2	1	0,329	24,36	8,01					
	Ковальські машини	10	14,0 - 21	70	2	0,6	0,8	0,75	42,00	31,50					
	Шліфувальні станки	4	5,0 - 25	80	5	0,2	0,5	1,732	12,00	20,78					
	насоси	9	5,0 - 25	180	5	0,7	0,8	0,75	126,00	94,50					
	вентилятори	10	0,5 - 10	95	20	0,7	0,8	0,75	66,50	49,88					
	Разом по цеху	54	0,5 - 25	546,8	50	0,5	0,8	0,756	270,86	204,67	44	1,2	313,9	204,67	374,77
	Склади														
	Вентилятори	3	3,0 - 10	13	3	0,7	0,8	0,75	9,10	6,83					
	Кран з ПВ%= 25	2	2,0 - 10	10,0	5	0,4	0,7	1,169	4,00	4,68					
	Разом по складу	5	2,0 - 10	23	5	0,7	0,8	0,878	13,1	11,50	5	1,3	17,1	12,65	21,27
	Разом по 0,4 кВ.	599	0,1 - 100	5710,58	1000	0,7	0,72	0,961	2366,42	2276,08	114	1,0	2481,45	2276,08	3367,22

2.2 Розрахунок освітлювальної потужності підприємства

Розрахунок освітлювальної потужності визначаємо за питомою потужністю на 1 кв м площі виробничого приміщення.

Потужність освітлювальних ЕП, кВт;

$$P_y = p_0 \cdot F \cdot 10^{-3}, \quad (2.11)$$

де p_0 - питома потужність лампи; кВт;

F – розрахункова площа цеху або приміщення, м².

Розрахункове навантаження освітлювальних електроприймачів кВт;

$$P_p = P_y \cdot K_1 \quad (2.12)$$

де K_1 - коефіцієнт різних типів ПРА .

Реактивна потужність світильника або лампи:

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (2.13)$$

де $\operatorname{tg} \varphi$ - коефіцієнт реактивної потужності джерела світла. Результати зводимо в таблицю 2.2.

2.3 Розрахунок електричної потужності в мережі вище 1 кВ

При аналізі навантаження у мережі з напругою понад 1000 В, важно спочатку визначити кількість трансформаторних підстанцій (ТП), потужність трансформаторів та їх розташування на території підприємства. Для цього використовують картограму навантаження, яка допомагає визначити кількість ТП, їх чисельність, потужність і місця розташування. За допомогою картограми

						Арк.
Вим	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		20

навантаження також визначають схеми живлення цехів. Якщо установка окремих ТП вважається неефективною, то можна використати живлення від ТП сусідніх цехів за допомогою напруги 0,4 кВ. При цьому важливо, щоб відхилення напруги на точках підключення електроприймачів не перевищували нормативних значень. Це цехи з розрахунковими навантаженнями не більше 250-300 кВА, при цьому вони повинні бути розташовані на відстані не більше 50-80 м від ТП сусідніх цехів.

Згідно довідникової літератури номінальні параметри трансформатора ТМ-630/10/0,4:

$$S_n=630 \text{ кВ}\cdot\text{А} \quad \Delta P_{xx}=1,42 \text{ кВт} \quad I_{xx}=2\%$$

$$U_n=10 \text{ кВ} \quad \Delta P_{K3}=7,6 \text{ кВт} \quad U_{K3}=5,5\%$$

Розрахунок оформлено у вигляді таблиці 2.3.

Визначаються втрати трансформаторах для групи ТП.

$$\Delta P = n \cdot (\Delta P_x + \Delta P_{K3} \cdot K_3^2), \quad (2.14)$$

$$\Delta Q = n \cdot \left(\frac{I_{xx}}{100} \cdot S_n + \frac{U_{K3}}{100} \cdot S_n \cdot K_3^2 \right), \quad (2.15)$$

де n- кількість тран-рів; $\Delta P_{xx}, \Delta P_{K3}$ - втрати відповідно XX, КЗ кВт; I_{xx} - струм х.х, %; U_{K3} - напруга КЗ, %; K_3 - коефіцієнт, що характеризує завантаження трансформатора.

						Арк.
Вим	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		21

Таблиця 2.2 Освітлювальна потужність електричних навантажень напругою 0,4 кВ

№	Найменування	F, м ²	p ₀ , Вт/м ²	P _в , кВт	K _с	tgφ	P _р , кВт	Q _р , кВар	S _р , кВА
1	Зварювальний цех	255	14	3,6	0,8	1,73	2,86	5	6
2	Ковальський цех	325	14	4,6	0,8	1,73	3,64	6	7
3	Гальванічний цех	25,2	12	0,3	0,9	1,73	0,27	0	1
4	Механічний цех	191,2	12	2,3	0,8	1,73	1,84	3	4
5	Адмінбудівля	129,6	18	2,3	0,95	1,73	2,22	4	4
6	Цех бджолоінвентарю	96	12	1,2	0,9	1,73	1,04	2	2
7	Цех бджолоінвентарю №2	72	12	0,9	0,9	1,73	0,78	1	2
8	Виставковий зал	31,2	16	0,5	0,8	1,73	0,40	1	1
9	Склади	174	6	1,0	0,85	0,48	0,89	0	1
10	Цех бджолоінвентарю №3	72	10	0,7	0,8	1,73	0,58	1	1
11	Склад готової продукції	58,8	6	0,4	0,8	1,73	0,28	0	1
12	Допоміжний цех	54	10	0,5	0,85	1,73	0,46	1	1
13	Деревообробний цех	46	14	0,6	0,85	1,73	0,55	1	1
14	Малярне відділення	74,4	12	0,9	0,9	1,73	0,80	1	2
15	Насосна	21,6	8	0,2	0,9	1,73	0,16	0	0
16	Гараж	135	8	1,1	0,8	1,73	0,86	1	2
17	Механоскладальний цех	136	10	1,4	2,8	1,73	3,81	7	8
18	Магазин	22	14	0,3	3,8	1,73	1,17	2	2
	Територія заводу	8901	0,2	1,8	0,5	1,73	0,48	1	1
	Всього						23,1	39	45

Таблиця 2.3. Розрахунок потужності силового обладнання в мережі 10 кВ

[illegible]

Вим.	Арк.	№ документа	продовження таблиці 2.3.															
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Підпис	Дата			ТПН№2														
				<u>Зварювальний цех №3</u>														

Вим.																
Арк.																
№ документа																
Підпис																
Дата																
продовження таблиці 2.3.																
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
	<u>Магазин</u>															
	силова	15,0	0,1 - 3,0	3,1	30,0	0,6	0,7	1,0	1,7	1,7	2,0	2,1	3,6	1,9	4,1	
	освітлювальна												1,2	2,0	2,3	
	<u>Виставковий зал</u>															
	силова															
	освітлювальна												0,4	0,7	0,8	
	<u>Цех бджолоінвентарю №2</u>															
	силова	37,0	0,5 - 35,0	525,0	70,0	0,3	0,6	1,2	135,0	160,2	30,0	1,4	183,5	160,2	243,6	
	освітлювальна												0,6	1,0	1,2	
	Разом по ТП№4															
	силова	99,0	0,1 - 35	1391,1	350	0,2	0,6	1,3	312,2	402,6	79,0	1,2	383,9	402,6	556,3	
	освітлювальна												3,2	5,5		
	Разом												387,1	408,1	562,4	
	БСК															
	З урахуванням БСК												387,1	408,1		
	Втрати в трансформаторі S _{тр} = 630	1,0											4,2	33,9		
	Разом на шинах 10 кВ ТП№4												391	442	590	
	ТП№5															
	<u>Механоскладальний цех</u>															
	силова	54,0	0,5 - 25,0	546,8	50,0	0,5	0,8	0,8	270,9	204,7	44,0	1,2	313,9	204,7	374,8	
	освітлювальна												3,8	6,6	7,6	
	<u>Склади</u>															
	силова	5,0	2,0 - 10,0	23,0	5,0	0,7	0,8	0,9	13,1	11,5	5,0	1,3	17,1	12,7	21,3	
	освітлювальна												0,9	0,4	1,0	
	<u>Цех бджолоінвентарю №3</u>															
	силова	16,0	1,2 - 10,0	90,2	8,0	0,5	0,8	0,8	43,3	34,3	16,0	1,3	56,1	34,3	65,7	
	освітлювальна												0,6	1,0	1,2	
	<u>Склад готової продукції</u>															
	силова	5,0	2,0 - 10,0	23,0	5,0	0,7	0,8	0,8	13,1	11,5	5,0	1,3	17,1	12,7	21,3	
	освітлювальна												0,3	0,5	0,6	
	Разом по ТП№5															
	силова	80,0	0,5 - 25	683,0	50	0,5	0,8	0,8	340,3	262,0	55,0	1,1	387,8	262,0	468,0	
	освітлювальна												5,6	8,5		
	Разом												393,3	270,5	477,4	

[illegible]

3. ГРАФІКИ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ПІДПРИЄМСТВА

На основі вимірів, проведених на підприємстві, складаються графіки навантаження на добу для зимового і літнього періоду.

Щорічний графік будується на основі цих добових графіків. Добовий графік дозволяє визначити навантажувальну здатність трансформаторів, а також максимальне та мінімальне навантаження, які потрібні для розрахунку рівнів напруги в мережі.

Річні витрати енергії (активної та реактивної) в умовах проектування визначаються :

$$W_{\Gamma} = \sum P_i T_i , \quad (3.1)$$

$$Q_{\Gamma} = \sum Q_i T_i , \quad (3.2)$$

Річний графік за тривалістю будується за активною та реактивною потужностями.

Час використання максимуму навантаження:

$$T_{\max} = \frac{\sqrt{W_{\Gamma}^2 + Q_{\Gamma}^2}}{P_p} , \quad (3.3)$$

$$\tau = (0,124 + \frac{T_{\max}}{10^4})^2 \cdot 8760 \quad (3.4)$$

Побудова графіків виконана в прикладному пакеті MS Office Excel за допомогою програми Графік.xls. Результати наведені нижче в таблицях 3.1-3.2. та рис. 3.1-3.5.

						Арк.
Вим	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		27

Програма для побудови графіків електричних навантажень

$$\begin{aligned} P_p &= 2535,30 & \text{кВт} \\ Q_p &= 2557,40 & \text{кВар} \\ S_p &= 3601,12 & \text{кВА} \end{aligned}$$

Кількість днів робочих:

зимою 147 днів

літом 105 днів

Кількість днів вихідних:

зимою 65 днів

літом 48 днів

Виконати розрахунок ?

Ok

Робочі дні:

Зимові Річна витрата активної електричної енергії, кВт*год:

$$W_{зр} = 3682168$$

Річна витрата реактивної електричної енергії, кВт*год:

$$V_{зр} = 4473660$$

Літні Річна витрата активної електричної енергії, кВт*год:

$$W_{лр} = 2235602$$

Річна витрата реактивної електричної енергії, кВт*год:

$$V_{лр} = 2716151$$

Вихідні дні:

Зимові Річна витрата активної електричної енергії, кВт*год:

$$W_{зв} = 459777$$

Річна витрата реактивної електричної енергії, кВт*год:

$$V_{зв} = 854427$$

Літні Річна витрата активної електричної енергії, кВт*год:

$$W_{лв} = 288598$$

Річна витрата реактивної електричної енергії, кВт*год:

$$V_{лв} = 536317$$

Загальна річна витрата активної електричної енергії, кВт*год:

$$W_{лр} = W_{зр} + W_{лр} + W_{зв} + W_{лв} = 6666145,42$$

Загальна річна витрата реактивної електричної енергії, кВт*год:

$$V_{лв} = V_{зр} + V_{лр} + V_{зв} + V_{лв} = 8580555,234$$

Час використання максимального навантаження, год:

$$T_m = 3017,3$$

Час максимальних втрат, год:

$$\tau_m = 1587,7$$

Виводити на друк ?

Ok

									Арк.
Вим	Арк.	№ документа	Підпис	Дата					28

Таблиця 3.1. Спожита активна потужність

Години	Робочий період		Вихідний період	
	Зима	Літо	Зима	Літо
1	405,6	344,8	405,6	344,8
2	405,6	344,8	405,6	344,8
3	405,6	344,8	405,6	344,8
4	405,6	344,8	405,6	344,8
5	405,6	344,8	405,6	344,8
6	633,8	538,8	228,2	194,0
7	1445,1	1228,4	228,2	194,0
8	1166,2	991,3	228,2	194,0
9	2028,2	1724,0	228,2	194,0
10	2535,3	2155,0	228,2	194,0
11	1090,2	926,7	228,2	194,0
12	659,2	560,3	228,2	194,0
13	583,1	495,7	228,2	194,0
14	2155,0	1831,8	228,2	194,0
15	2408,5	2047,3	228,2	194,0
16	2002,9	1702,5	228,2	194,0
19	1090,2	926,7	228,2	194,0
18	1495,8	1271,5	228,2	194,0
19	1090,2	926,7	228,2	194,0
20	1115,5	948,2	228,2	194,0
21	380,3	323,3	405,6	344,8
22	380,3	323,3	405,6	344,8
23	380,3	323,3	405,6	344,8
24	380,3	323,3	405,6	344,8
Wi	25048,8	21291,4	7073,5	6012,5

					Арк.
Вим	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	
					29

Таблиця 3.2. Спожита реактивна потужність без КП

Години	Робочий період		Вихідний період	
	Зима	Літо	Зима	Літо
1	664,9	565,2	664,9	565,2
2	664,9	565,2	664,9	565,2
3	664,9	565,2	664,9	565,2
4	664,9	565,2	664,9	565,2
5	664,9	565,2	664,9	565,2
6	2020,3	1717,3	409,2	347,8
7	2148,2	1826,0	409,2	347,8
8	2429,5	2065,1	409,2	347,8
9	2557,4	2173,8	409,2	347,8
10	2276,1	1934,7	409,2	347,8
11	2276,1	1934,7	409,2	347,8
12	818,4	695,6	409,2	347,8
13	1355,4	1152,1	409,2	347,8
14	1355,4	1152,1	409,2	347,8
15	1611,2	1369,5	409,2	347,8
16	1739,0	1478,2	409,2	347,8
19	818,4	695,6	664,9	565,2
18	818,4	695,6	664,9	565,2
19	946,2	804,3	664,9	565,2
20	664,9	565,2	664,9	565,2
21	818,4	695,6	664,9	565,2
22	818,4	695,6	664,9	565,2
23	818,4	695,6	664,9	565,2
24	818,4	695,6	664,9	565,2
<i>Vi</i>	30433,1	25868,1	13145,0	11173,3

Вим	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

Арк.

30

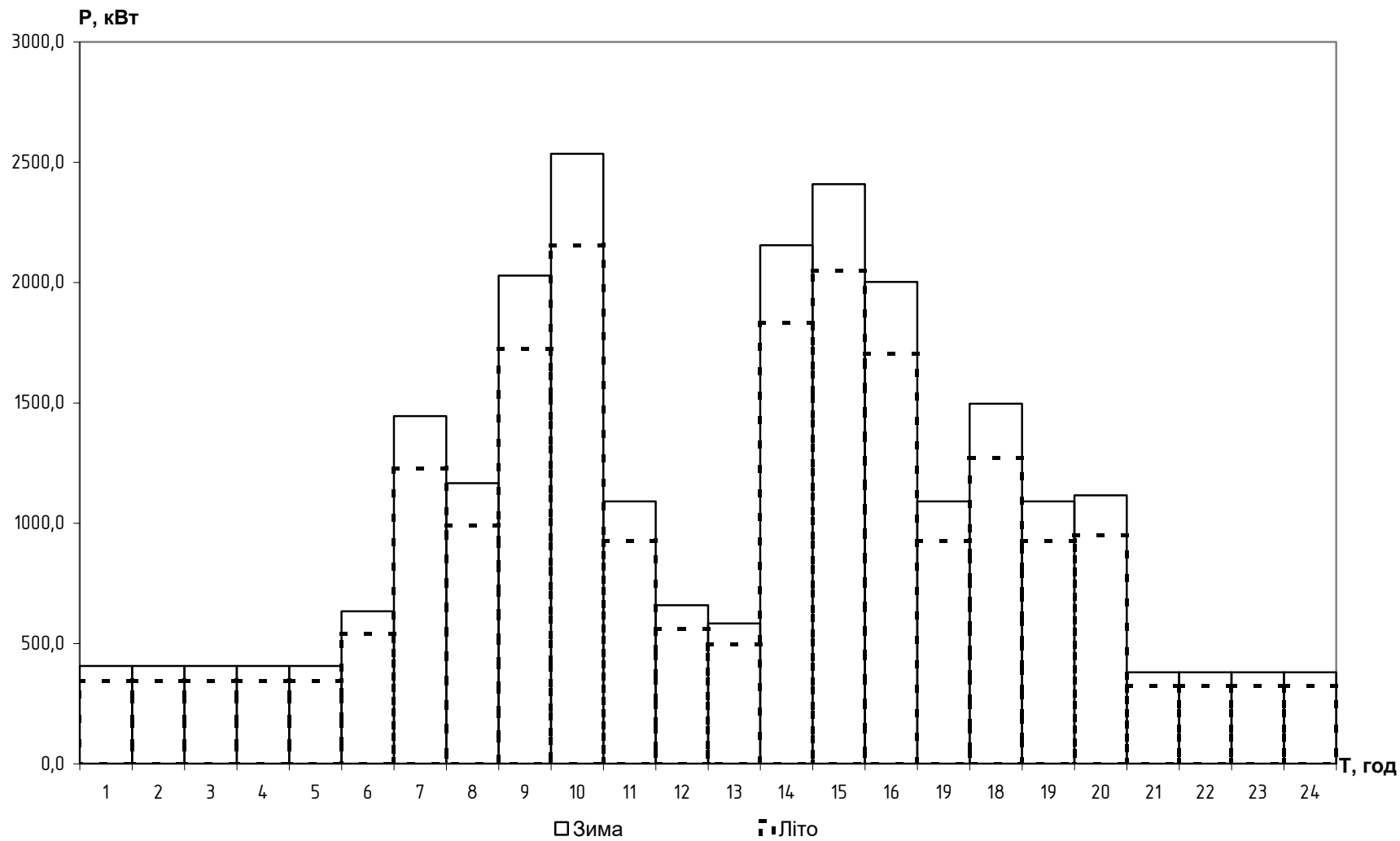


Рис. 3.1 Споживання активної потужності в робочий день

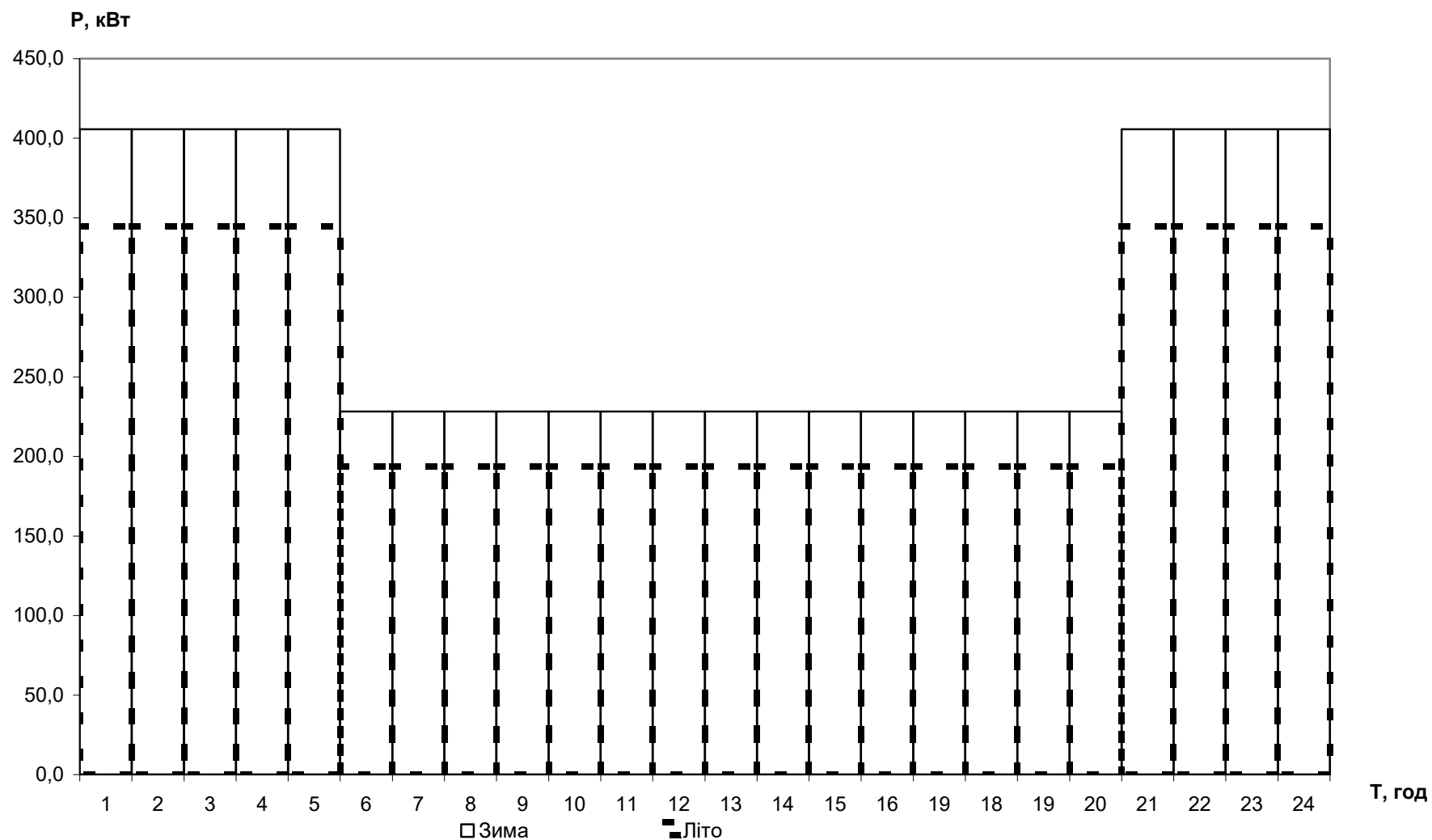


Рис. 3.2 Споживання активної потужності у вихідний день

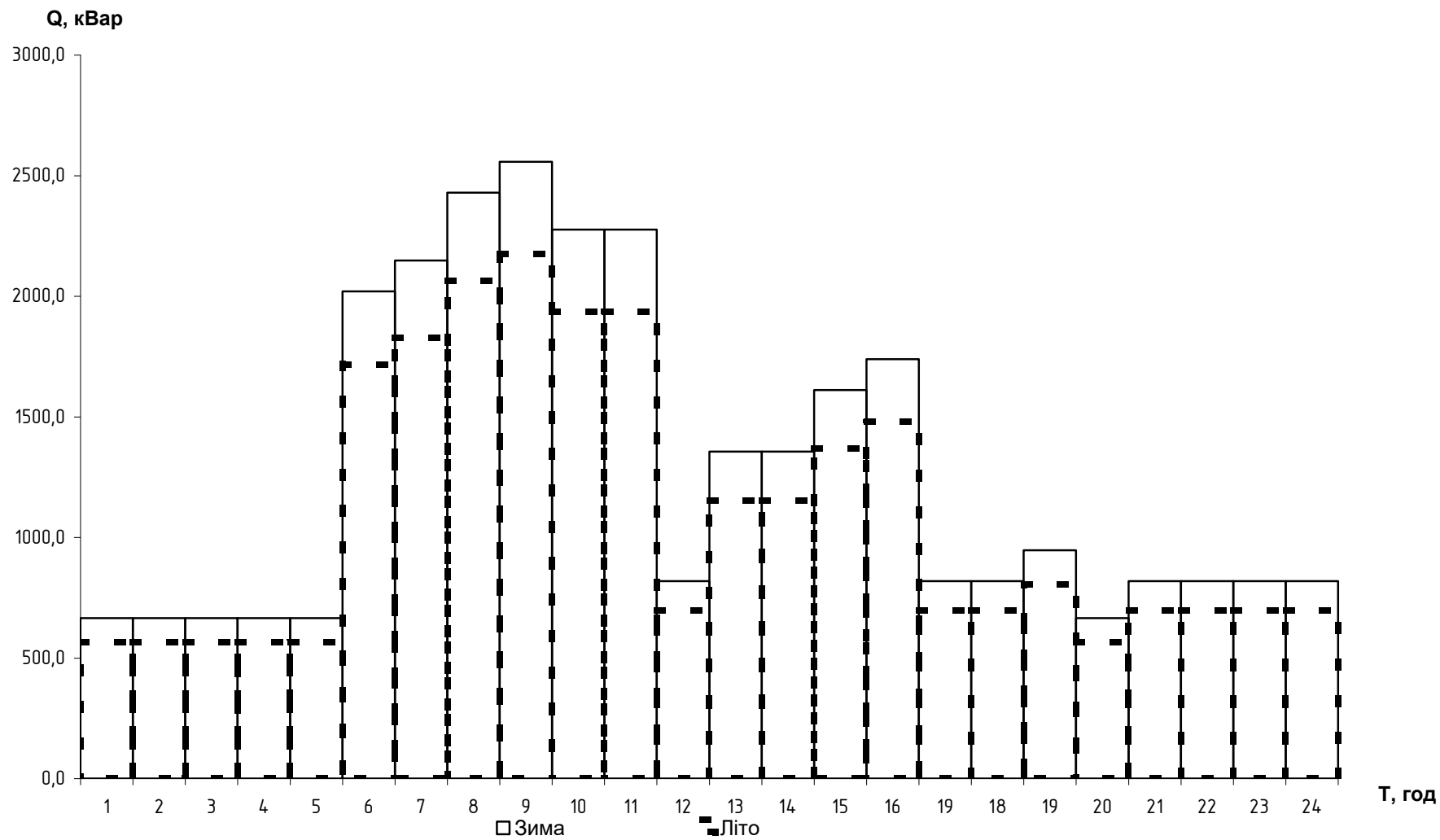


Рис. 3.3 Споживання реактивної потужності в робочий день

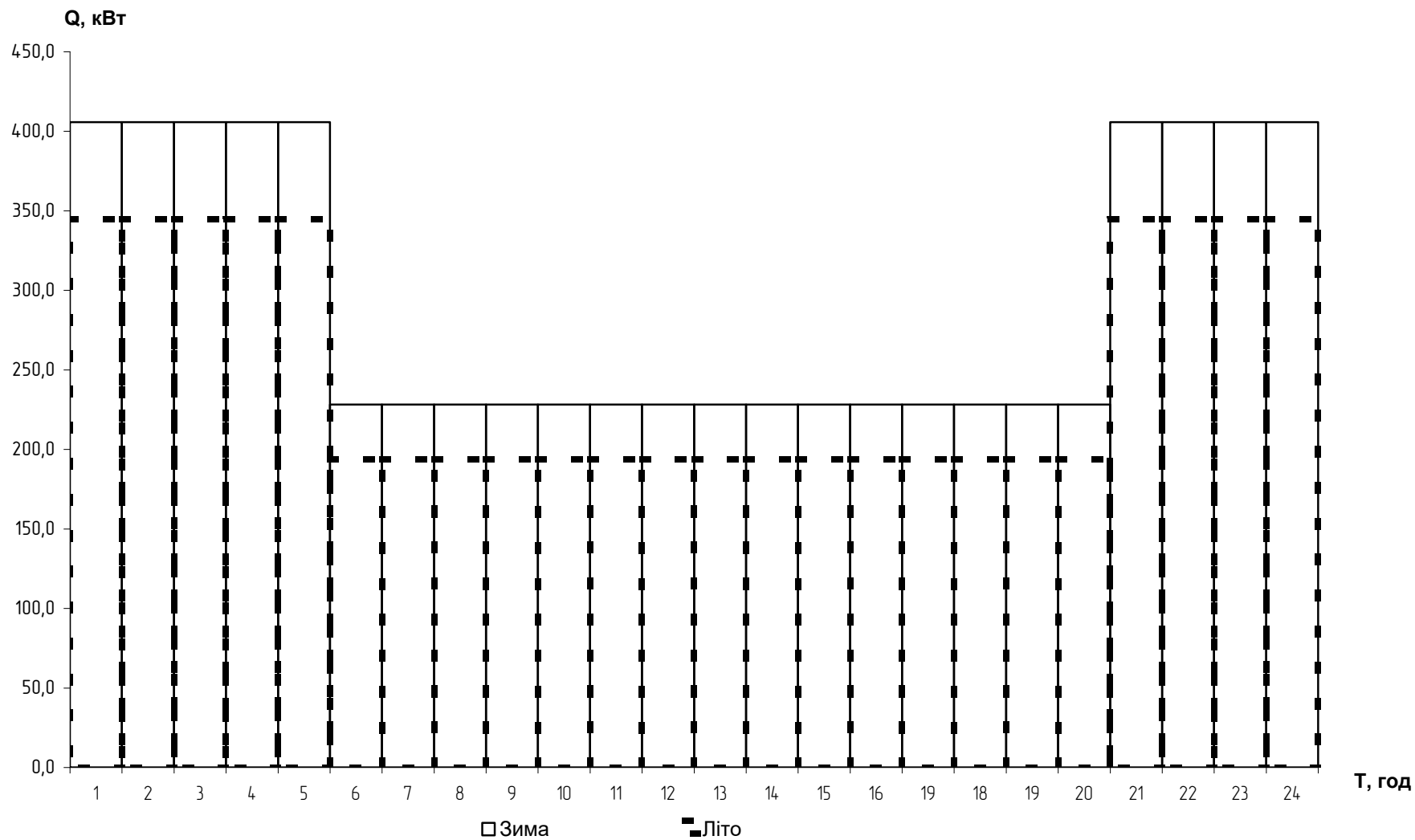


Рис. 3.4 Споживання реактивної потужності у вихідний день

Вим.		
Арк.		
№ документа		
Підпис		
Дата		
Арк.	35	

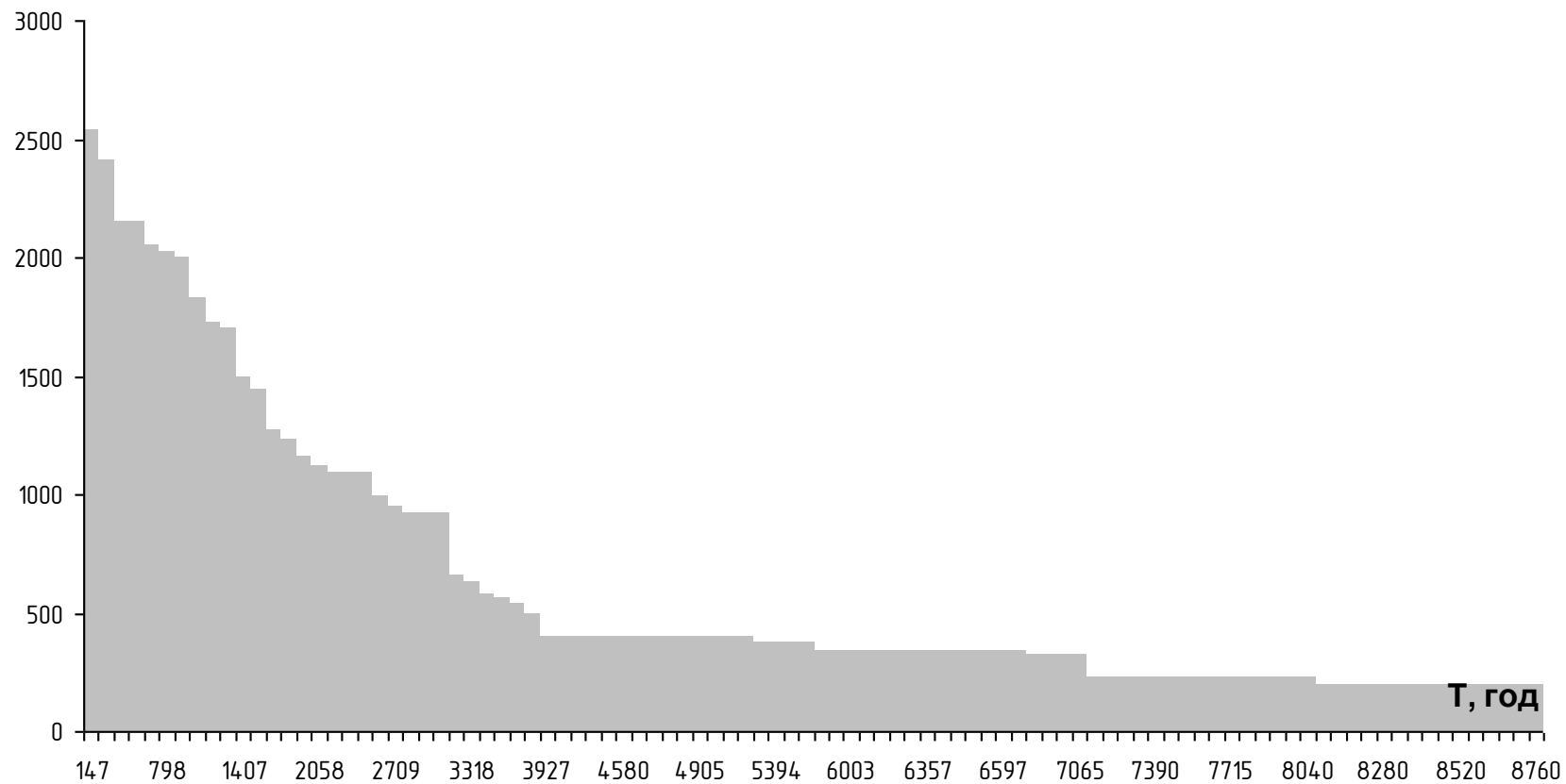


Рис. 3.5 Річний графік навантаження за тривалістю

4. КАРТОГРАМА ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Для визначення оптимального розташування центральних електростанцій заводу (ЦЕН) та трансформаторних підстанцій (ТП) на генеральному плані промислового підприємства використовується картограма електричних навантажень. Картограма навантажень підприємства представляє собою кола на генеральному плані, площа яких, відповідно до обраного масштабу, відображає розрахункові навантаження цехів.

Для побудови картограми навантажень цехів та всього підприємства в цілому, для кожного цеху визначаються радіуси кіл (R_i) та відповідні їм площі (πR_i^2). У вибраному масштабі, площа цих кол може бути пропорційною повному навантаженню цеху (P_i) в кіловольт-амперах:

$$P_i = \pi R_i^2 m, \quad (4.1)$$

Для механічного цеху (КТПЗ):

$$R_i = \sqrt{\frac{P_i}{\pi m}} = \sqrt{\frac{407,7}{3,14 \cdot 0,02}} = 80,56 \text{ мм} \quad (4.2)$$

де m - масштаб до кола механічного цеху, кВт/мм².

На картограмі окрім силового навантаження наноситься освітлювальне, у вигляді сектора з центральним кутом α .

Центральний кут α , що характеризує освітлюване навантаження:

$$\alpha_i = \frac{P_{i.осв} \cdot 360}{\pi \cdot R_i^2} = \frac{1,84 \cdot 360}{3,14 \cdot 80,56^2} = 1,62 \quad (4.3)$$

Координати їх центра ел. навантажень (X, Y) для підприємства:

						Арк.
Вим	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		36

$$X_0 = \frac{\sum_{i=1}^n X_i P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} = \frac{473655}{2504,5} = 203,5 \text{ м} \quad (4.4)$$

$$Y_0 = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} = \frac{641899}{2504,5} = 275,8 \text{ м}, \quad (4.5)$$

де X_i та Y_i , - геометричні координати центрів будівель цехів на генплані
Для всіх цехів розрахунок зведено в таблиці 4.1.

						Арк.
Вим	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		37

Таблиця 4.1. Дані для побудови картограми електричних навантажень та розрахунку умовного центру електричних навантажень

по плану	Найменування	$P_{р\text{сил}},$ кВт	$P_{р\text{осв}},$ кВт	$P_r,$ кВт	m	$R, \text{мм}$	α	$x, \text{м}$	$y, \text{м}$	$P^*x,$ кВт м	$P^*y,$ кВт м
1	Механічний цех	663	2,9	666	0,02	103	2	188	254	125119	169044
2	Дільниця покриття	313	3,6	316	0,02	71	4	120	122	37945	38577
3	Ковальсько-складальний цех	152	0,3	152	0,02	49	1	264	268	40251	40861
4	Зварювально-складальний цех №3	406	1,8	408	0,02	81	2	246	280	100314	114179
5	Адмінбудівля	34	2,2	37	0,02	24	22	316	282	11598	10350
6	Цех бджолоінвентарю	233	1,0	234	0,02	61	2	342	220	80082	51515
7	Допоміжний цех	183	0,8	184	0,02	54	2	348	136	64128	25062
8	Деревообробний цех		0,4	0	0,02	3	360	346	94	138	38
9	Насосна	17	0,9	18	0,02	17	18	210	40	3777	719
10	Малярне відділення	56	0,6	57	0,02	30	4	280	10	15858	566
11	Гараж	50	0,3	50	0,02	28	2	156	60	7789	2996
13	Склади	93	0,5	93	0,02	39	2	20	140	1867	13072
14	Виставковий зал	136	0,5	137	0,02	47	1	38	144	5188	19659
	Разом по заводу									575185	592991

$X_0 = 204 \text{ м}$

$Y_0 = 276 \text{ м}$

5. ВИБІР НАПРУГИ І ЕЛЕКТРИЧНИХ СХЕМ ЗОВНІШНЬОГО ТА ВНУТРІШНЬОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВА

Оптимальний вибір напруги та схеми зовнішнього електропостачання є важливим етапом для раціональної побудови системи електропостачання промислового підприємства.

Для вибору напруги та схеми зовнішнього електропостачання враховується багато факторів. Серед них основні міркування включають:

- розрахункове навантаження підприємства;
- наявність доступних джерел живлення з різними напругами;
- відстань між джерелом живлення та споживачем;
- необхідний рівень надійності електропостачання та інші фактори.

Вибір напруги системи зовнішнього електропостачання полягає у визначенні стандартного значення, яке задовольняє всім технічним вимогам та є найбільш економічним. При виконанні курсового проекту зазвичай розглядаються два або три можливих варіанти в залежності від умов приєднання до енергосистеми у найближчих можливих точках. На початковій стадії орієнтовних розрахунків можна використовувати номограми для визначення оптимальних значень напруги. Використання номограм дозволяє попередньо оцінити можливі варіанти та у деяких випадках виключити деякі з них без необхідності проведення детальних розрахунків.

Остаточне проектне рішення здійснюється шляхом порівняння загальних витрат для кожного варіанту.

Зведені витрати по і-му варіанту:

$$Z_i = E_n K_i + C_i + C_{\text{втр.і}} + Y_i, \quad (5.1)$$

де E_n - коефіцієнт ефективності капітальних вкладень, 1/рік; K_i - капітальні вкладення, тис. грн.; C_i - поточні витрати електроенергії, тис. грн./рік; $C_{\text{втр.і}}$ -

						Арк.
Вим	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		39

вартість втрат електроенергії, тис. грн. /рік; Y_i - збиток від перерви в електропостачанні, тис. грн/рік.

Розрахунок капітальних витрат проводиться шляхом сумування витрат по окремим елементам схеми. Якщо в розглянутих варіантах схеми мають однакові елементи, то при порівнянні витрат ці елементи не враховуються.

Поточні витрати (C_i) складаються з двох складових: витрат на амортизацію (C_{ai}) та витрат на експлуатацію (C_{ei}).

$$C_i = C_{ai} + C_{ei} . \quad (5.2)$$

Вартість втрат електроенергії за виразом:

$$C_{втр} = c_0 \Delta W , \quad (5.3)$$

де C_0 - вартість втрат, грн;

ΔW - втрати енергії на елементах схеми, кВт·год.

Втрати енергії в лініях:

$$\Delta W = \Delta P_{1\text{км}} l_{\Sigma} K_z^2 \tau , \quad (5.4)$$

де $\Delta P_{1\text{км}}$ - питомі втрати потужності в лінії на 1 км довжини, кВт;

l_{Σ} - узагальнена довжина ланцюгів лінії, км;

K_z - коефіцієнт завантаження лінії;

τ - час максимальних втрат.

Втрати енергії в трансформаторі:

$$\Delta W = \Delta P_x t + \Delta P_k K_z^2 \tau , \quad (5.5)$$

де t - години роботи трансформатора впродовж року.

						Арк.
						40
Вим	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

5.1. Розрахунок зовнішнього електропостачання

З метою порівняння схем зовнішнього електропостачання обрано лише варіант живлення напругою 10 кВ, оскільки електропостачання можливе тільки від ЦРП 7. Отже, розрахунок зовнішнього електропостачання не виконується, а проводиться порівняння варіантів внутрішнього електропостачання.

Розподільні пункти (РП) встановлюються для живлення потужних високовольтних споживачів або у випадку, коли кількість приєднань перевищує п'ять і відстань до об'єкту перевищує один кілометр. З урахуванням відстані 1500 метрів до заводу та наявності 7 трансформаторів на заводі, обирається варіант живлення з напругою 10 кВ та встановленням РП на території заводу для подальшого проектування.

5.2. Вибір напруг та схем внутрішнього електропостачання

В цехових розподільчих мережах для живлення силових і освітлювальних електроприймачів використовуємо напругу 380/220 В. Для внутрішніх розподільчих мереж використовуємо напругу 10 кВ.

Розподілення електроенергії на промисловому підприємстві виконується за радіальною, магістральною чи змішаною схемою в залежності від територіального розміщення навантажень, споживаємої потужності, надійності електропостачання.

При побудові схем електропостачання споживачів I та II категорій необхідно застосовувати секціонування шин у всіх ланцюгах системи електропостачання.

Радіальна схема розподілення енергії доцільна головним чином там, де є великі навантаження (насосні, компресорні, перетворюючі установки), розміщених в різних напрямках від центра живлення.

Магістральні схеми живлення використовуються:

						Арк.
Вим	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		41

а) при розміщенні підстанцій, що зобумовлює прямолінійне проходження магістралі;

б) для групи технологічно пов'язаних агрегатів, якщо при зупинці одного з них необхідне відключення всієї групи;

в) у всіх інших випадках, коли вони мають техніко-економічні переваження порівнянно з другими схемами.

Магістральні схеми з двома та більше паралельними магістралями можна використовувати для живлення споживачів будь-якої категорії.

Трансформатори напругою до 10 кВ, котрі приєднуються до однієї магістралі, необхідно приймати від трьох до п'ятих при потужності транс-ра більше 1000 кВА.

Виконаємо порівняння внутрішніх варіантів електропостачання використовуючи магістральну та радіальну схеми. В зв'язку з тим що розподіл розрахункового навантаження невизначений, для розрахунку використовуємо номінальні параметри трансформаторів, що встановлені на ТП. На рис. 5.1 приведена магістральна схема живлення заводу.

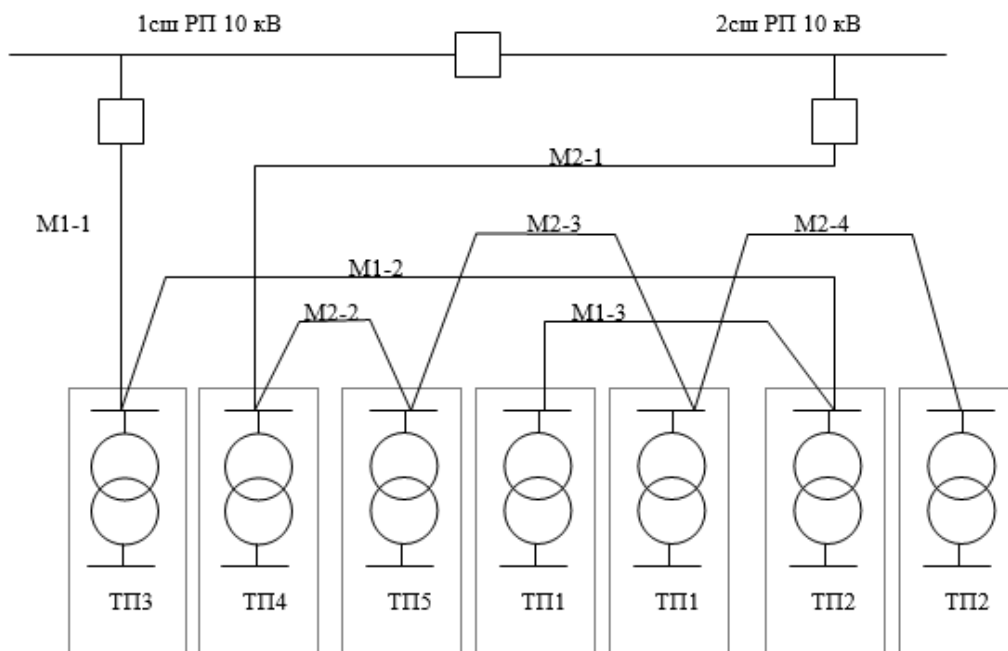


Рис. 5.1 Магістральна схема електропостачання

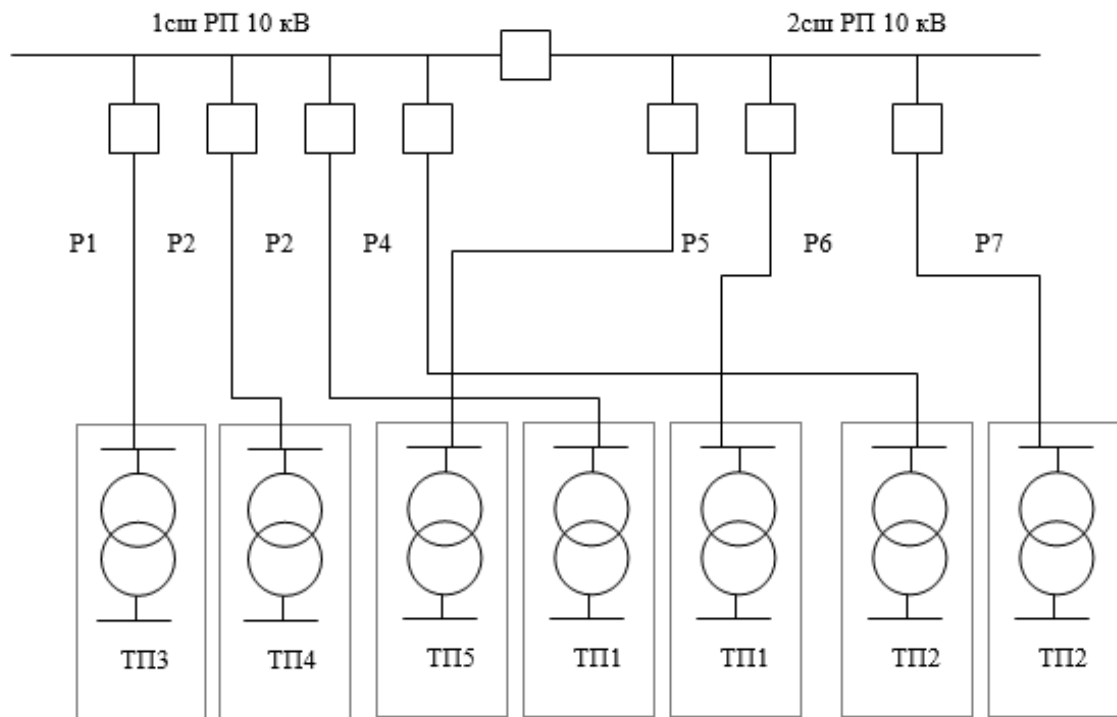


Рис. 5.2 Радіальна схема електропостачання

Приведемо розрахунок радіальної лінії Р1 до ТП3. Розрахунок для інших ліній зводимо таблиць 5.1-5.7.

Живлення здійснюється лініями 10 кВ від шин РП напругою $U_n = 10$ кВ; довжиною $l = 0,025$ км.

$$I_p = \frac{S_p}{N\sqrt{3}U_n} = \frac{563,7}{1 \cdot 1,7 \cdot 10} = 32,6 \text{ А};$$

Площа перерізу кабельної лінії:

$$F_{ек} = I_p / j_{ек} = 32,58 / 1,4 = 23,27 \text{ мм}^2$$

де $j_{ек} = 1,4 \text{ А/мм}^2$ – економічна щільність струму.

Приймаємо кабель марки ААШв – 10 (3 х 25), з перерізом кабелю 25 мм².

Допустимий тривалий струм даного кабеля $I_{дон} = 90 \text{ А}$, втрати потужності на 1 км $P_{1км} = 5 \text{ кВт/км}$, вартість $K_0 = 25 \text{ тис.грн/км}$.

Допустимий довготривалий струм навантаження з урахуванням кількості кабелів, що працюють в одній траншеї:

						Арк.
Вим	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		43

$$I_{\text{доп}}' = I_{\text{доп}} * K_n = 90 * 1 = 90 \text{ А};$$

де K_n – поправочний коефіцієнт на кількість працюючих кабелів в одній траншеї (табл. 1.3.26. [9]), для $n_{\text{кл}} = 1$ $K_n = 1$

Коефіцієнт попереднього завантаження кабеля

$$K_3 = I_p / (n * I_{\text{доп}}') = 32,6 / (1 * 90) = 0,36$$

При виході зі строю однієї лінії, інша забезпечить живлення навантаження

$$I_{\text{авар}}' = n * I_{\text{доп}}' * K_{a.n} = 1 * 90 * 1,4 = 121,5 > I_{p.\text{ав}} = 32,6 \text{ А}$$

Отже живлення забезпечуватиметься нормально.

Втрати потужності та енергії в лінії:

$$\Delta \mathcal{E}_l = \Delta P_l * \tau_m = 0,016 * 1587 = 26,01 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

$$\Delta P_l = \Delta P_{l_{\text{км}}} * l_{\text{сум}} * K_3^2 = 5 * 0,03 * 0,4^2 = 0,01638 \text{ кВт}$$

Сумарна довжина кабельної лінії

$$L_{\Sigma} = L * n_l = 0,03 * 1 = 0,03 \text{ км}$$

n_l - кількість кабельних ліній в одному ланцюгу, шт

$$C_{\text{втрат}} = \Delta \mathcal{E}_l * C_0 = 26,01 * 4,48 = 30,91 = 0,12 \text{ тис. грн.}$$

де C_0 – вартість 1 кВт·год електроенергії; згідно з діючими тарифами $C_0 = 4,48$ грн/кВтгод.

□

Таблиця 5.1. Розрахунок параметрів магістральних ліній

№ КЛ	Sp, кВА	n	Ip,	Ip.ав, А	Fек, мм ²	Fст, мм ²	Марка кабеля	Iдоп, А	Kз
М-1-1	1323,0	1	72,8	102,0	52,0	70	ААШв (3× 70)	165	0,441
М1-2	882,0	1	48,6	68,0	34,7	35	ААШв (3× 35)	115	0,422
М1-3	441	1	24,3	34,0	22,1	35	ААШв (3× 35)	115	0,211
М-2-1	1764,0	1	97,1	136,0	69,4	70	ААШв (3× 70)	165	0,589
М2-2	1323,0	1	72,8	102,0	52,0	70	ААШв (3× 70)	165	0,441

									Арк.
Вим	Арк.	№ документа	Підпис	Дата					44

Продовження таблиці 5.1

№ КЛ	Sp, кВА	n	Ip,	Ip.ав, А	Fек, мм ²	Fст, мм ²	Марка кабеля	Ідоп, А	Кз
М2-3	882,0	1	48,6	68,0	34,7	35	ААШв (3× 35)	115	0,422
М2-4	441,0	1	24,3	34,0	17,3	35	ААШв (3× 35)	115	0,211

Таблиця 5.2. Розрахунок втрат електричної енергії

№ КЛ	Sp, кВА	n	Ip, А	Кз	l, км	ΔРл, кВт	ΔЕл, кВт*год	Со, грн/кВт	С _{втр} , тис. грн
М-1-1	1323	1	72,83	0,44	0,05	14,23	22593	1,48	27,48
М1-2	882	1	48,55	0,42	0,04	10,76	17076	1,48	21,16
М1-3	441	1	24,28	0,21	0,08	2,69	4269	1,48	3,79
М-2-1	1764	1	97,11	0,59	0,11	25,30	40166	1,48	48,85
М2-2	1323	1	72,83	0,44	0,08	14,23	22593	1,48	27,48
М2-3	882	1	48,5	0,42	0,03	10,76	17076	1,48	21,16
М2-4	441	1	24,28	0,21	0,07	2,69	4269	1,48	3,79
Всього							106697		132,7

Таблиця 5.3. Розрахунок параметрів радіальної лінії

№ КЛ	Sp, кВА	n	Ip,	Ip.ав, А	Fек, мм ²	Fст, мм ²	Марка кабеля	Ідоп, А	Кз
P1	563,7	1	31,03	43,45	22,17	35	ААШв(3×35)	165	0,27
P2	590,3	1	32,50	45,50	23,21	35	ААШв(3×35)	115	0,283
P3	1057,2	2	29,10	40,74	20,79	35	ААШв(3×35)	115	0,127
P4	1119,1	2	30,80	43,13	22,00	35	ААШв(3×35)	165	0,134
P5	500,9	1	27,58	38,61	19,70	35	ААШв(3×35)	165	0,24
P6	1057,2	2	29,10	40,74	20,79	35	ААШв(3×35)	115	0,127
P7	1119,1	2	30,80	43,13	22,00	35	ААШв(3×35)	115	0,134

Таблиця 5.4. Розрахунок втрат електроенергії в радіальній схемі

№ КЛІ	Sp, кВА	n	Ip,	Kз	l,км	ΔРл, кВт	ΔЕл, кВт*год	Со, грн/кВт	С _{втр} , тис. грн
P1	563,7	1	31,03	0,27	0,025	4,393	6975,1	1,48	6,93
P2	590,3	1	32,50	0,28	0,1	4,818	7648,9	1,48	9,21
P3	1057,2	2	29,10	0,13	0,15	0,966	1533,4	1,48	3,64
P4	1119,1	2	30,80	0,13	0,07	1,082	1718,2	1,48	3,72
P5	500,9	1	27,58	0,24	0,15	3,469	5507,5	1,48	6,31
P6	1057,2	2	29,10	0,13	0,13	0,966	1533,4	1,48	3,64
P7	1119,1	2	30,80	0,13	0,07	1,082	1718,2	1,48	3,72
							32389		40

Таблиця 5.5. Розрахунок капітальних вкладень

№ вар.	Найменування елемента схеми	Одиниця	Кіль- кість	Вартість одиниці, тис.грн	Вартість всього, тис.грн
I	Шафи КРП з вак. вимикачами 10 кВ, що встановлюються на РП	шт	2	45,1	90,2
	Кабельні лінії:				
	ААШв (3х70)	км	0,27	46	12,4
	ААШв (3х35)	км	0,22	42	9,2
	Траншея	км	0,51	26,4	13,5
	Вимикачі навантаження	шт	10	28	280
	Разом				405
II	Шафи КРП з вак. вимикачами 10 кВ, що встановлюються на РП	шт.	7	45	315
	Шафи КРП з трансформаторами напруги на РП	шт		9,85	0
	Кабельна лінія:				
	ААШв (3х35)	км	0,695	38	26,4
	Траншея	км	0,71	26,4	18,7
	Разом				360

Таблиця 5.6. Розрахунок поточних витрат

№	Найменування елемента схеми	К _ј , тис. грн.	Р _{ај} , %	С _{ај} , тис. грн.	Р _{эј} , %	С _{эј} , тис. грн.	С _ј , тис. грн.
I	Шафи з вимикачем навантаження	280	15	42	5	14,00	56
	Шафи КРП 10 кВ	203,2	15	30,48	5	10,16	40,64
	Кабельні лінії з врахуванням траншеї	35,1	5	1,76	5	1,76	3,51
	Всього						44
II	Шафи КРП 10 кВ	315,0	15	47,25	5	15,75	63,00
	Кабельні лінії з врахуванням траншеї	45,2	5	0,23	5	2,258	2,48
	Всього						66

Таблиця 5.7. Розрахунок приведених витрат по варіантах

Показники	Варіант	
	1	2
Капіталовкладення в схему	405	360
Поточні затрати в схемі	44	66
Втрати електроенергії	132	40
Зведені затрати	226	148

На основі цих показників можна зробити такі спостереження:

Варіант 2 має менше капіталовкладень в схему, що може свідчити про економію коштів при впровадженні даного варіанту.

					Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	
					47

Однак, варіант 2 має вищі поточні затрати в схемі, що може означати більші витрати на експлуатацію та обслуговування в порівнянні з варіантом 1.

Втрати електроенергії в варіанті 2 значно менші, що може свідчити про ефективніше використання електроенергії в цій схемі.

Зведені затрати також нижчі в варіанті 2, що може вказувати на загальну економічну вигоду впровадження цього варіанту.

Залежно від конкретних цілей, вимог і обставин проекту можна зробити висновок про техніко-економічну доцільність вибору одного з варіантів. Однак, більш детальний аналіз і порівняння інших факторів, таких як надійність, масштабованість, можливості розширення та інші, також можуть бути важливими для прийняття рішення. Радіальна схема живлення з радіальними лініями виявилась найбільш вигідною з точки зору витрат та енергетичних втрат. Витрати за другим варіантом з радіальними лініями складають лише 53% витрат першого варіанту з магістральними лініями. Крім того, втрати електричної енергії в другому варіанті виявилися втричі меншими, що свідчить про більшу ефективність цієї схеми.

Таким чином, для подальшого проектування рекомендується використовувати схему з радіальними лініями для електропостачання структурних підрозділів підприємства.

						Арк.
						48
Вим	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

6. РЕЖИМИ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Більша частина електроприймачів у промисловості споживає як активну, так і реактивну потужність. Проте передача реактивної потужності через лінії та трансформатори не вигідна, оскільки це призводить до зниження ККД системи електропередачі та якості електропостачання. Це пояснюється наступними причинами:

Збільшення втрат активної потужності внаслідок протікання реактивних струмів у лініях, трансформаторах та генераторах.

Зниження пропускної здатності елементів мережі та напруги у споживачів.

Під час проектування системи електропостачання враховуються компенсаційні засоби, що дозволяють знизити струми, що протікають по мережі. Оцінка реактивної потужності Q_e , яку може передати енергосистема підприємству, проводиться на першому рівні електричної мережі. Також розраховується загальна потужність компенсуючих пристроїв (КП), які слід встановити в системі електропостачання підприємства.

На другому рівні мережі, включаючи шини 0,4 кВ трансформаторних підстанцій (ТП), визначається оптимальне розміщення КП на шинах цехових ТП та розподільчих пристроях.

Вибір типу, потужності, місця розташування та режиму роботи КП повинен забезпечувати максимальну економічність, дотримання допустимих режимів напруги у живлячих і розподільчих мережах, а також допустимих струмових навантажень у всіх елементах мережі.

						Арк.
						49
Вим	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

КП можуть бути встановлені як у мережі 0,4 кВ, так і у мережі 10 кВ з сумарною потужністю $Q_{кп}$. Оптимальний розподіл потужності КП по мережах 0,4 кВ і 10 кВ визначається питомою вартістю КП високої та низької напруги, витратами на встановлення комутаційного обладнання та додаткових трансформаторів КТП, а також вартістю втрат енергії.

6.1. Розрахунок балансу та вибір компенсуючих пристроїв в цехових мережах

Узагальнена потужність компенсуючих пристроїв:

$$Q_{кп} = Q_p - Q_e, \quad (6.1)$$

де Q_p – розрахункова реактивна потужність ;

Q_e - економічно обґрунтована реактивна потужність.

Реактивна, економічно обґрунтована потужність Q_e знаходиться:

$$Q_e = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (6.2)$$

де P_p — розрахункове активне навантаження в максимальному режимі (див. розділ 2 розрахунок електричних навантажень);

$\operatorname{tg} \varphi$ — заданий системою рівень компенсації реактивної потужності (згідно розпорядженню ПрАТ "КОЕК" $\operatorname{tg} \varphi = 0,25$).

При розгляді варіантів компенсації вибір кількості встановлюваних трансформаторів має вирішальне значення. Зазвичай при проектуванні розглядаються три варіанти: мінімальна кількість трансформаторів $N = N_0$, $N_0 + 1$ (збільшена на одиницю) та $N_0 + 2$ (збільшена на дві одиниці). Для кожної групи технологічно концентрованих пристроїв з однаковою потужністю трансформаторів визначається мінімально можлива кількість трансформаторів, необхідна для живлення максимального навантаження. Це визначається за допомогою формули, в якій враховуються наступні параметри:

$$N_0 = \frac{P_p}{K_z \cdot S_{ном}} + \Delta N, \quad (6.3)$$

де P_p - споживання активної потужності в мережі до 1000 В;

						Арк.
Вим	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		50

K_3 — коефіцієнт завантаження трансформаторів;

$S_{\text{ном}}$ - номінальна потужність одного трансформатора;

ΔN – кількість трансформаторів, що необхідні.

Найбільша реактивна потужність, яку можна передати із мережі 10 кВ до мережі напругою до 1000 В при встановленні N трансформаторів, обчислюється за допомогою відповідної формули:

$$Q_1 = \sqrt{(N \cdot K_3 \cdot S_{\text{ном}})^2 - P_p^2} . \quad (6.4)$$

Потужність низьковольтних КП:

$$Q_{\text{КН}} = Q_{\text{ном}} - Q_1 . \quad (6.5)$$

Тоді потужність високовольтних КП:

$$Q_{\text{КВ}} = Q_p - Q_{\text{КН}} - Q_e . \quad (6.6)$$

Розрахунок потрібно провести для кількох варіантів з різною кількістю трансформаторів, а саме для $N = N_0$, $N = N_0 + 1$ та $N = N_0 + 2$. Для кожного з цих варіантів необхідно виконати вираз, що враховує споживання активної потужності в мережі напругою до 1000 В (P_p), коефіцієнт завантаження трансформаторів (K_3), номінальну потужність одного трансформатора ($S_{\text{ном}}$) та добавку до найближчого більшого цілого числа (ΔN).

Таким чином, необхідно провести розрахунок для трьох варіантів: $N = N_0$, $N = N_0 + 1$ та $N = N_0 + 2$, використовуючи формулу, яка враховує вищезазначені параметри.

Активна та реактивна потужність до 1000 В:

$$P_{\text{н}} = 2504 \text{ кВт};$$

$$Q_{\text{н}} = 2314 \text{ квар.}$$

Сумарне споживання по заводу:

$$P_p = P_{\text{в}} + P_{\text{н}} + \Delta P_{\text{тр}} = 0 + 2504 + 31 = 2535 \text{ кВт};$$

$$Q_p = Q_{\text{в}} + Q_{\text{н}} + \Delta Q_{\text{тр}} = 0 + 2314 + 242 = 2557 \text{ квар.}$$

Економічно доцільна потужність від системи:

$$Q_e = P_p \cdot \text{tg}\varphi_3 = 2535,3 \cdot 0,15 = 380,295 \text{ квар}$$

						Арк.
Вим	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		51

Потужність компенсуючих пристроїв визначається за балансом реактивної потужності:

$$Q_{\text{кy}} = Q_{\text{p}} - Q_{\text{e}} = 2557,4 - 380,3 = 2177,11 \text{ квар.}$$

Мінімальне число трансформаторів:

$$N_0 = P_{\text{н}} / (K_3 * S_{\text{н тр}}) = 2504,5 / (0,7 * 630) = 6,116 \text{ од.}$$

Приймаємо $N_0 = 7$. Опрацюємо варіанти компенсації для трансформаторів числом $N = N_0$, $N = N_0 + 1$, $N = N_0 + 2$.

Варіант I: $N = N_0 = 7$.

Реактивна потужність, що передається через цехові трансформатори:

$$Q_{\text{д}} = \sqrt{(n \cdot S_{\text{м}} \cdot K_3)^2 - P_{\text{н}}^2} = \sqrt{(7 * 630 * 0,7)^2 - 2504,5^2} = 1394 \text{ кВар}$$

Для визначення потужності компенсуючих пристроїв, які потрібно встановити в мережі напругою 0,4 кВ, необхідно врахувати умову балансу реактивної потужності на шинах кожного ТП (трансформаторної підстанції). Значення потужності компенсації $Q_{\text{кн}}$ необхідно уточнити, враховуючи навантаження на кожній ТП окремо. Результати розрахунків можна представити у вигляді таблиці 6.1.

Таблиця 6.1. Вибір потужності КП в мережі 0,4 кВ

№ ТП	N _{тр}	Q _{БК}	N _{БК}	Q _{кн}	Тип батареї конденсат.	K _з	Sp
1	2	215,4	2	67	УКМ-0,4-67-67	0,69	872,9
			2	50	УКМ-0,4-50-50		
2	2	352,246	2	133	УКМ-0,4-133-33	0,69	865,1
			2	67	УКМ-0,4-67-67		
3	1	306,2	2	166	УКМ-0,4-166-33	0,70	442,9
4	1	196,831	2	100	УКМ-0,4-100-33	0,70	439,5
5	1	71,801	2	50	УКМ-0,4-50-50	0,68	429,0

Приймаємо до встановлення $Q_{кн} = 1266$ квар, з них:

Уточнюємо значення $Q_{п} = Q_{н} - Q_{кн} = 2315 - 1266 = 1049$ квар

Потужність КП, встановлюємих на шинах 10 кВ:

Потужність компенсуючих пристроїв, які необхідно встановити в мережі 10 кВ:

$$Q_{кв} = Q_{р} - Q_{кн} - Q_{е} = 2557,4 - 1266 - 380,295 = 911,105 \text{ кВар}$$

Приймаємо до впровадження $Q_{кв} = 900$ кВар

Активні втрати потужності при передачі реактивної енергії через трансформатори цехових ТП:

$$\square P_{тп} = Q^2_{п} * R_{ек} / U^2_{н} = \square 1048,9^2 * 234 / 10 = 2,6 \text{ кВт};$$

де еквівалентний опір траксформаторів в схемі.

$$R_{ек} = (\square P_{кз} * U^2_{н}) / (N_{тр} * S_{нтр}^2) = (6,5 * 10^2 / (7 * 630)) = 233,956 * 10^{-6} \text{ кОм.}$$

Втрати активної потужності у НКП:

$$\Delta P_{кв} = \Delta P_{пит} * Q_{кн} = 0,0045 * \square 900 = 4,05 \text{ кВт};$$

де $\Delta P_{пит} = 0,0045$ кВт/квар – питомі втрати потужності в НКП.

Втрати активної потужності у ВКП:

$$\Delta P_{кн} = \Delta P_{пит} * Q_{кв} = 0,003 * 1266 = 3,798 \text{ кВт}$$

де $\Delta P_{пит} = 0,003$ кВт/квар – питомі втрати потужності в ВКП.

Вартість НКП:

$$K_{кн} = N_{бк}^{0,4i} K_{ккy}^{0,4i} = 2 * 4,75^2 * 4,1 + 2 * 3,67 + 4 * 3,53 + 4 * 3,28 = 52,294 \text{ тис. грн.}$$

Вартість ВКП:

$$K_{кв} = N_{бк}^{10i} K_{ккy}^{10i} = 2 * 10,1 + 0 * 26,8 = 20,13 \text{ тис. грн.}$$

Вартість КТП:

$$K_{ктп} = N_{тп(1)} * K_{тп(1)} + N_{тп(2)} * K_{тп(2)} = 3 * 67,5 + 2,0 * 127,35 = 457,2 \text{ тис. грн.}$$

де $N_{тп(1)}$, $N_{тп(2)}$ – кількість трансформаторних підстанцій з 1 або 2 транс-рами;

$K_{тп(1)}$, $K_{тп(2)}$ – відповідна вартість трансформаторних підстанцій.

Зведені витрати впровадження компенсації реактивної потужності:

						Арк.
Вим	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		53

$$Z_1 = E_n * (K_{кн} + K_{кв} + K_{тп}) + (\Delta P_{кн} + \Delta P_{кв} + \Delta P_{тп}) * C_o * \tau$$

$$0,12 * (52,34 + 20,13 + 457,2 + (3,8 + 4,1 + 2,6) * 4,48 * 1587 =$$

$$= 811,8 \text{ тис. грн.}$$

Розрахунок інших варіантів компенсації виконується аналогічно. Результати розрахунку зведені в таблиці 6.2.

Таблиця 6.2. Баланс реактивної потужності.

Показники	Варіант I	Варіант II	Варіант III
Потужність КП в мережі 0,4 кВ	1266	0	0
Потужність КП в мережі 10 кВ	900	2250	2250
Споживання реактивної потужності	380	380	380
Всього за умовою балансу	2546	2630	2630
Затрати на компенсацію	811,8	964	972

На основі проведеного техніко-економічного аналізу, було прийняте рішення про подальше проектування першого варіанту компенсації, оскільки він має кращі техніко-економічні показники, а саме менші приведені затрати.

Ці дані будуть використані при подальшому проектуванні системи компенсації.

6.2. Вибір кількості, потужності та місця розташування компенсуючих пристроїв

Для варіанту компенсації, який був обраний, розрахуємо реактивну потужність, яку можна передати через трансформатори ТП до цехових мереж, а також уточнимо потужність компенсуючих пристроїв, що будуть встановлені в цехових мережах. Результати розрахунків наведені в таблиці 6.3.

Таблиця 6.3. Розрахунок електричних навантажень в мережі вище 1000 з урахуванням компенсації

[illegible]

	Apk.
	56

продовження таблиці 6.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	ТПН№4														
	Цех бджолоінвентарю														
	силова	47,0	0,5 - 35,0	863,0	70,0	0,2	0,6	1,4	175,5	240,7	47,0	1,3	233,1	240,7	335,1
	освітлювальна												1,0	1,8	2,1
	Магазин														
	силова	15,0	0,1 - 3,0	3,1	30,0	0,6	0,7	1,0	1,7	1,7	2,0	2,1	3,6	1,9	4,1
	освітлювальна												1,2	2,0	2,3
	Виставковий зал														
	силова														
	освітлювальна												0,4	0,7	0,8
	Цех бджолоінвентарю №2														
	силова	37,0	0,5 - 35,0	525,0	70,0	0,3	0,6	1,2	135,0	160,2	30,0	1,4	183,5	160,2	243,6
	освітлювальна												0,6	1,0	1,2
	Разом по ТПН№4														
	силова	99,0	0,1 - 35	1391,1	350	0,2	0,6	1,3	312,2	402,6	79,0	1,2	383,9	402,6	556,3
	освітлювальна												3,2	5,5	
	Всього												387,1	408,1	562,4
	БСК													-200,0	
	З урахуванням БСК												387,1	208,1	
	Втрати в трансформаторі $S_{тр} = 630$	1,0											4,2	33,9	
	Всього на шинах 10 кВ ТПН№4												391,3	242,0	460,0
	ТПН№5														
	Механоскладальний цех														
	силова	54,0	0,5 - 25,0	546,8	50,0	0,5	0,8	0,8	270,9	204,7	44,0	1,2	313,9	204,7	374,8
	освітлювальна												3,8	6,6	7,6
	Склади														
	силова	5,0	2,0 - 10,0	23,0	5,0	0,7	0,8	0,9	13,1	11,5	5,0	1,3	17,1	12,7	21,3
	освітлювальна												0,9	0,4	1,0
	Цех бджолоінвентарю №3														
	силова	16,0	1,2 - 10,0	90,2	8,0	0,5	0,8	0,8	43,3	34,3	16,0	1,3	56,1	34,3	65,7
	освітлювальна												0,6	1,0	1,2

7. ВИБІР КІЛЬКОСТІ ТА ПОТУЖНОСТІ ТРАНСФОРМАТОРІВ ПІДПРИЄМСТВА

7.1. Вибір кількості та потужності трансформаторів головних зовнішніх підстанцій

У даній роботі не потрібно розглядати вибір трансформаторів для головних зовнішніх підстанцій (ГЗП), оскільки підприємство отримує електропостачання по лініях напругою 10 кВ. Головні зовнішні підстанції зазвичай виконуються з двома трансформаторами для забезпечення надійного живлення всіх категорій споживачів. Використання однотрансформаторних ГЗП можливе лише у випадках, коли забезпечення живлення навантажень I категорії здійснюється через вторинні лінії з іншими джерелами живлення.

7.2 Вибір кількості та потужності трансформаторів цехових підстанцій

При виборі місця розташування, кількості, потужності і типу трансформаторів для цехових підстанцій на промислових підприємствах враховуються різні фактори.

У промислових підприємствах можуть застосовуватися як однотрансформаторні, так і двотрансформаторні цехові підстанції, залежно від вимог до надійності електропостачання та інших факторів. Однотрансформаторні підстанції є більш простими та економічними варіантами. Потужність трансформаторів визначається із системи нерівностей:

1) із умови обмеження штовхового навантаження:

$$S_{НОМ} > 0,25 S_{пл} \quad (7.2)$$

2) із умови систематичного перевантаження:

						Арк.
Вим	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		59

$$S_{\text{НОМ}} \geq \frac{S_p}{K_1} \quad (7.3)$$

3) із умови аварійного перевантаження:

$$S_{\text{НОМ}} \geq \frac{S_p}{K_2} \quad (7.4)$$

Коефіцієнт допустимого аварійного перевантаження при перевантаженні до 24 год $K_2 = 1,4$.

$$S_{\text{П}} = \sqrt{(P_{\text{П}} + P_p)^2 + (Q_{\text{П}} + Q_p)^2} \quad (7.5)$$

де $P_{\text{П}}$, $Q_{\text{П}}$ - пускові потужності двигунів

P_p , Q_p - потужність працюючих електроприймачів.

Результат розрахунку наведено в таблиці 7.1.

Таблиця 7.1 - Вибір кількості і потужності трансформаторів на КТП.

№ ТП	N, шт	$S_{\text{роз}}$, кВт·А	Місце розташування	Марка	K_3	$S_{\text{НОМ}} > S_p/K_1$	$S_{\text{НОМ}} > S_p/K_2$	Тип КТП
1	2	914,13	Ковальсько-пресовий цех	ТМ-630	0,73	423,2	326,47	Вбудована
2	2	898,95	Зварювально-складальний №3	ТМ-630	0,71	416,2	321,05	Вбудована
3	1	447,34	Механічний цех	ТМ-630	0,71	414,2	159,76	Вбудована
4	1	460,03	Цех бджолоінвентарю	ТМ-630	0,73	426,0	164,3	Вбудована
5	1	447,2	Механоскладальний цех	ТМ-630	0,71	414,1	159,71	Вбудована

						Арк.
Вим	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		60

8 РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКИХ ЗАМКНЕНЬ ДЛЯ ВИБОРУ ВИСОКОВОЛЬТНОГО ОБЛАДНАННЯ

8.1. Розрахунок струмів короткого замикання

Для розрахунку струмів короткого замикання складається розрахункова схема. За розрахунковою схемою складається схема заміщення, яка перетворюється і еквівалентується.

За схемою заміщення значення періодичної складової струму КЗ визначається:

$$I_{п0} = I'' = \frac{E_{\Sigma}''}{\sqrt{3} \cdot X_{PEZ}}, \quad (8.1)$$

де E_{Σ}'' - надперехідна ЕРС, кВ;

$X_{рез}$ — результуючий опір в розрахунковій точці, Ом.

Ударний струм КЗ визначається:

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot I'' \cdot \left(1 + e^{\frac{-0.01}{T_a}} \right), \quad (8.2)$$

де T_a - стала часу затухання аперіодичної складової струму КЗ:

$$T_a = \frac{x_{рез}}{\omega r_{рез}},$$

де $x_{рез}$ $r_{рез}$ - відповідно результуючі опори кола КЗ.

						Арк.
						61
Вим	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

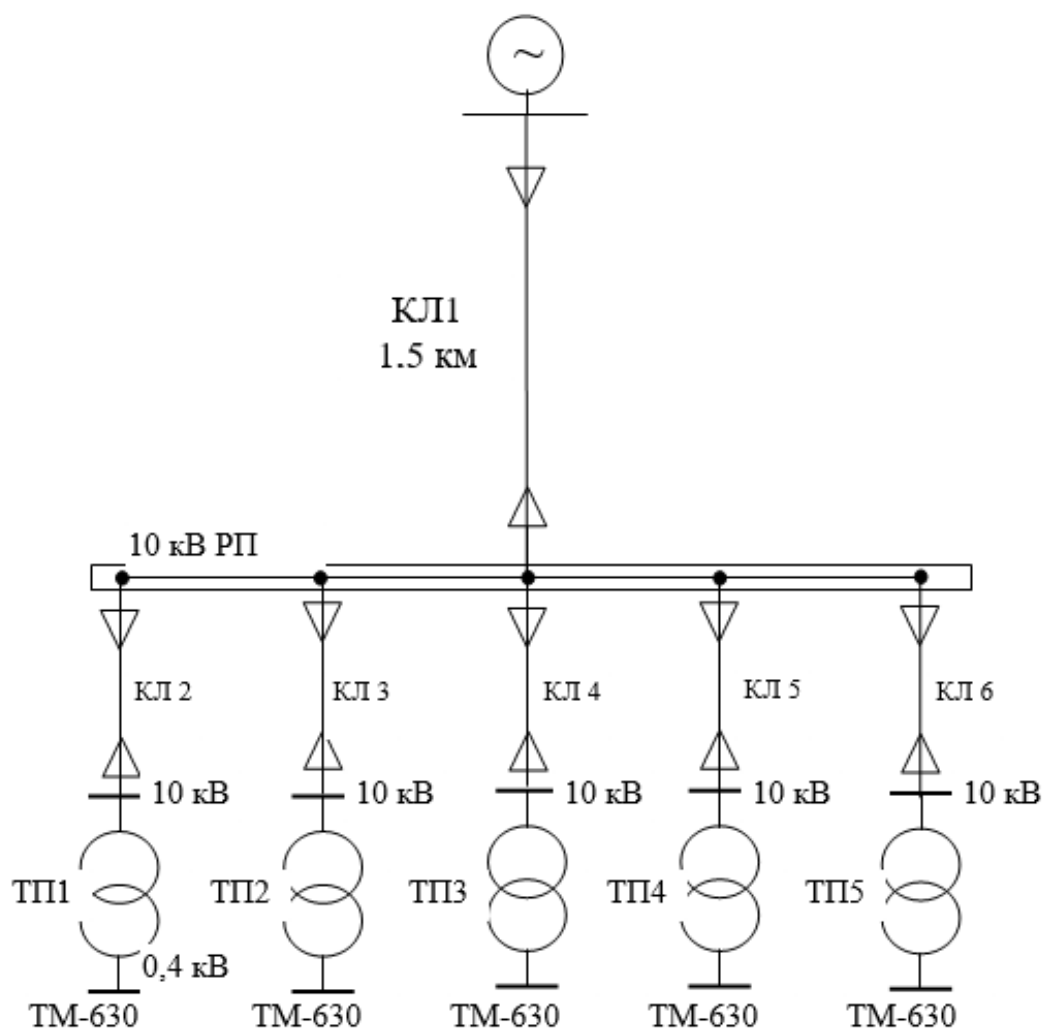


Рис. 8.1. Схема для розрахунку струмів короткого замикання

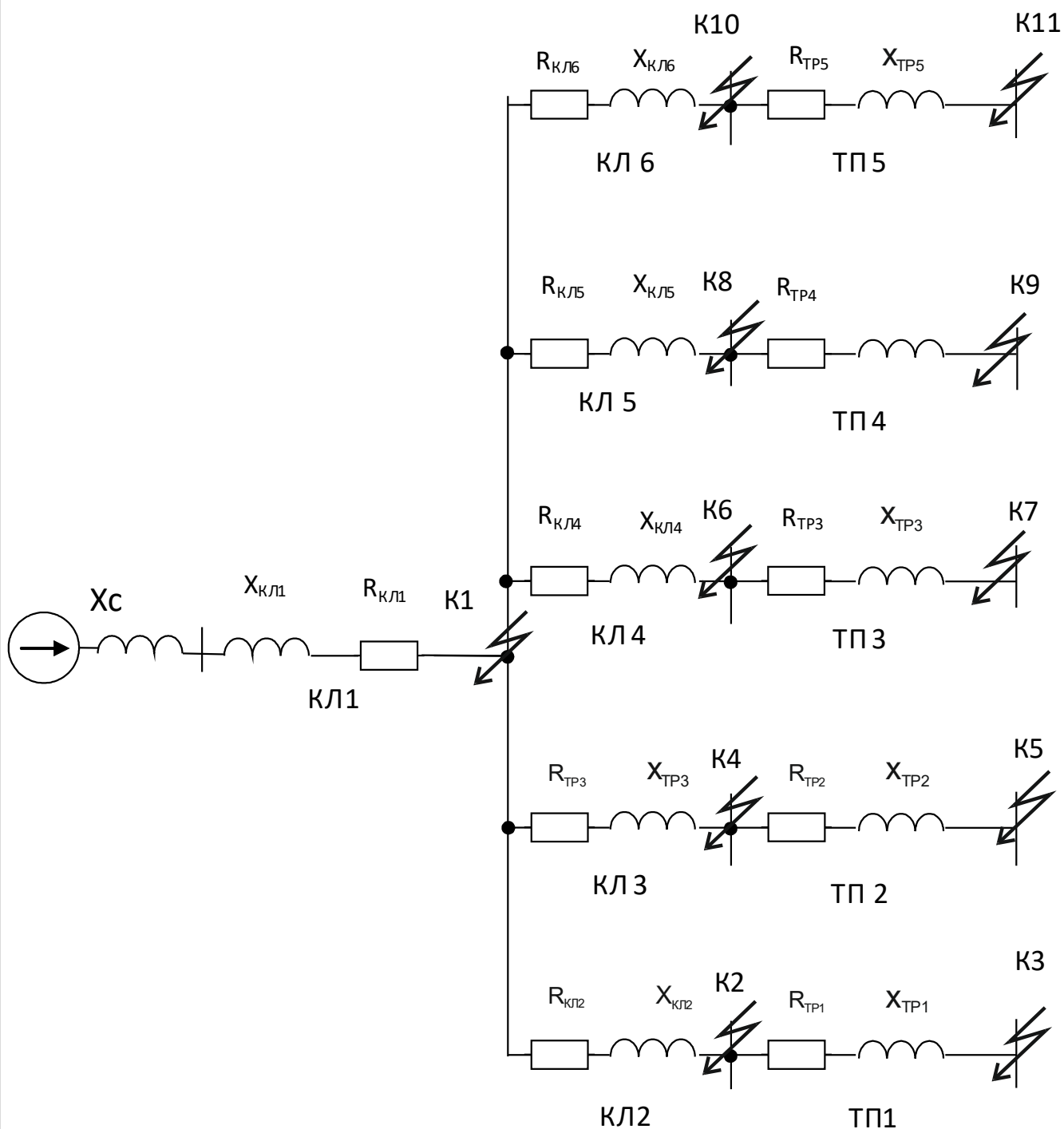


Рис. 8.2. Схема заміщення

Визначаємо відносні опори елементів схеми КЗ:

Реактивний опір системи:

$$X_c = S_6 / S_{K3} = 100 / 100 = 1,0$$

Реактивний опір лінії напругою 10 кВ до ЦРП :

$$X_{л1} = X_o * L * S_6 / U_{61}^2 = 0,418 * 1,5 * 121 / 11^2 = 0,12$$

Активний опір лінії напругою 10 кВ до ЦРП :

$$R_{л1} = R_o * L * S_6 / U_{61}^2 = 0,12 * 1,5 * 121 / 11^2 = 0,04$$

Для кабельної лінії напругою 10 кВ визначаємо реактивний опір лінії напругою 10 кВ від РП до ТП:

$$X_{кл1} = X_o * L * S_6 / U_{62}^2 = 0,95 * 0,025 * 121 / 11^2 = 0,14$$

Активний опір лінії напругою 10 кВ:

$$R_{кл1} = R_o * L * S_6 / U_{62}^2 = 0,06 * 0,025 * 121 / 11^2 = 0,009$$

Опір трансформатора напругою 10/0,4 кВ

$$R_{ТП} = \square P_M * S_6 / S_{H.тр}^2 = \sqrt{10,00 * 121000 / 630^2} = 3,0$$

$$X_{тр} = (U_K / 100)^2 - (\Delta P_M / S_{H.тр})^2 * S_6 / S_{H.тр} = \sqrt{(5,55 / 100)^2 - (10,00 / 630)^2} * 100000 / 630 = 10,2$$

1) результуючий опір до точки К1

$$R_{K1} = R_{л1} = 0,04$$

$$X_{K1} = X_c + X_{л1} = 1,00 + 0,12 = 1,12$$

$$Z_{K1} = \sqrt{R_{л1}^2 + X_{K1}^2} = \sqrt{0,04^2 + 1,12^2} = 1,12$$

2) результуючий опір до точки К2

$$R_{K2} = R_{K1} + R_{кл1} = 0,04 + 0,009 = 0,049$$

$$X_{K2} = X_{K1} + X_{кл1} = 1,12 + 0,14 = 1,3$$

$$Z_{K2} = \sqrt{R_{K2}^2 + X_{K2}^2} = \sqrt{0,05^2 + 1,26^2} = 1,26$$

3) результуючий опір до точки К3

$$R_{K3} = R_{тр} + R_{K2} = 3,0 + 0,05 = 3,05$$

$$X_{K3} = X_{тр} + X_{K2} = 10,2 + 1,3 = 11,5$$

$$Z_{K3} = \sqrt{R_{K3}^2 + X_{K3}^2} = \sqrt{3,05^2 + 11,5^2} = 11,9$$

Визначаємо базисні струми в заданих точках К3:

$$\text{В точці К1, } I_{61} = S_6 / 3 * \sqrt{U_{61}} = 100 / (1,73 * 10,5) = 6,7 \text{ кА}$$

						Арк.
Вим	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		64

В точці К2, $I_{62} = S_6 / \sqrt{3} \cdot U_{62} = 100 / (1,73 \cdot 10,50) = 6,7 \text{ кА}$

В точці К3, $I_{63} = S_6 / \sqrt{3} \cdot U_{63} = 121 / (1,73 \cdot 0,40) = 174,9 \text{ кА}$

В точці К1 діюче значення періодичної складової струму складатиме:

$$I_{k1} = I_{61} / Z_{k1} = 6,7 / 1,12 = 5,95 \text{ кА.}$$

Діюче значення усталеного струму КЗ $I_{\square 1} = I_{k1} = 5,95 \text{ кА};$

Амплітудне значення струму на шинах напругою 10 кВ

$$i_{y1} = \sqrt{2} \cdot k_y \cdot I_{k1} = 1,4 \cdot 1,2 \cdot 5,95 = 10,1 \text{ кА}$$

Розрахунок для інших точок схеми наводимо в таблиці 8.1

Таблиця 8.1. Результати розрахунку струмів КЗ

Точка схеми	R_{Σ}	X_{Σ}	Z_{Σ}	$I_{k3} = I_6 / Z_{\Sigma}$	$i_{yd} = 2 \cdot k_y \cdot I_{k3}$	$I_{k3}^2 = 0,87 \cdot I_{k3}$
К2	0,040	1,259	1,260	5,29	8,88	4,60
К3	3,088	11,47	11,88	14,72	30,90	12,80
К4	0,02	1,32	1,32	4,93	7,99	4,06
К5	2,54	10,76	11,06	14,04	29,44	12,37
К6	0,03	1,35	1,38	4,95	7,94	4,04
К7	2,54	10,79	11,08	14,07	29,38	12,34
К8	0,03	1,38	1,41	4,81	7,88	4,01
К9	2,55	10,82	11,12	14,00	29,30	12,31
К10	0,03	1,32	1,32	4,93	7,98	4,05
К11	2,53	10,77	11,06	14,05	29,41	12,36

8.2. Вибір високовольтного обладнання

Вибір вимикачів напругою 10 кВ. На стороні 10 кВ в якості ввідних вимикачів обираємо вакуумні вимикачі типу ВР-1. Вибір параметрів вимикача зведені до таблиці 8.2. На лініях що відходять до КТП використовуємо вимикачі типу ВР-1.

$$\tau = t_{p3 \min} + t_b = 0,01 + 0,05 = 0,06 \text{ с.}$$

$$t_{откл} = t_{p3} + t_{відкл} = 1,5 + 0,055 = 1,555 \text{ с}$$

$$B_k = I''^2 (t_{отк} + T_a) = 5,95^2 (1,555 + 0,03) = 49,4 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

Таблиця 8.2. Вибір ввідних вимикачів 10 кВ

Параметри мережі	Розрахункові формули	Параметри вимикача
10 кВ	$U_{уст} \leq U_{ном}$	10 кВ
208 А	$I_{max} \leq I_{ном}$	630 А
10,1 кА	$I_{пт} \leq I_{отк.ном}$	20 кА
$\sqrt{2} \cdot 5,95 e^{-0,06/0,03} = 1,13 \text{ кА}$	$\sqrt{2} I_{пт} + i_{ат} \leq \sqrt{2} I_{отк} (1 + \beta_n)$	$\sqrt{2} \cdot 20(1 + 0,4) = 23,3 \text{ кА}$
5,95 кА	$I'' \leq I_{дин}$	20 кА
10,1 кА	$i_{уд} \leq i_{дин}$	52 кА
49,4 кА ² · с	$B_k \leq I_{терм}^2 t_{терм}$	$20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

$$\tau = t_{p3 \min} + t_b = 0,01 + 0,05 = 0,06 \text{ с.}$$

$$t_{откл} = t_{p3} + t_{відкл} = 1,0 + 0,055 = 1,555 \text{ с}$$

$$B_k = I''^2 (t_{отк} + T_a) = 5,29^2 (1,055 + 0,03) = 30,4 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

Всі вимикачі 10 кВ встановлені в типові шафи КРП внутрішньої установки серії КУ-10С з такими параметрами:

- номінальна напруга 10 кВ;
- найбільша робоча напруга 12 кВ;
- номінальний струм збірних шин 630 А;
- номінальний струм відключення вимикачів 20 кА;
- термічна стійкість головних кіл на протязі 3 с 20 кА ;
- електродинамічна стійкість головних кіл 52 кА ;
- номінальна напруга допоміжних кіл 220 В.

Вибір кабелів 6...10 кВ

Наводиться прилад вибору кабелю для лінії (КЛ-2) від ЦРП до ТП №1.

Площа поперечного перерізу :

$$F_e = I_p / (n j_{ек}) = 30,56 / (1 \cdot 1,4) = 21,8 \text{ мм}^2.$$

$$\text{Де } I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} U_n} = 1057,2 / (2 \cdot 1,73 \cdot 10) = 30,56 \text{ А}$$

Превірка кабеля за допустимим струмовим навантаженням:

$$K_n I_{дон} I_p = 1 \cdot 115 \cdot 30,56$$

Превірка кабеля по умові роботи в аварійному режимі:

$$I_{ав} = K_n K_{ав} I_{дон} = 61,6 \text{ А} \cdot 1 \cdot 1,35 \cdot 115 = 132,25 \text{ А} > I_p = 21,8 \text{ А},$$

де K_n - коефіцієнт прокладки кабелів.

При попередньому навантаженні:

$$K_3 = I_p / (K_n \cdot I_{дон}) = 21,8 / (1 \cdot 115) = 0,19.$$

Мінімальна площа поперечного перерізу кабеля за умовою термічної стійкості:

$$F_{min} = \frac{1}{C} \sqrt{B_k} = \frac{1}{94} \sqrt{37,17} = 65 \text{ мм}^2,$$

де C - термічний коефіцієнт; для алюмінієвих кабелів $C = 94 \text{ А} \cdot \text{с}^{1/2} / \text{мм}^2$;

B_k - тепловий імпульс:

$$B_k = I_{н.о.}^2 (t_{отк} + T_a) = 5,95^2 \cdot (1,00 + 0,05) = 37,17 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

В зв'язку з тим, що вибраний кабель з площею перерізу 35 мм² не задовільняє умові термічної стійкості кабелю, приймаємо до прокладки кабель з

						Арк.
Вим	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		67

площею перерізу 70 мм². Інші кабелі системи електропостачання заводу обираються аналогічно, розрахунки наведені в таблиці 8.3.

Таблиця 8.3. Вибір перерізу КЛ для заводської мережі

№КЛ	S_p , кВА	n	I_p	$I_{p.ав}$	$F_{ек}$, мм	Марка кабеля	V_k	F_{min}	I'' , кА
ЦРП-РП	3601,1	2	104,08	208,15	74,3	ААШВ(3× 95)	37,173	64,9	5,95
РП-ТП1	1057,2	2	30,555	61,11	21,8	ААШВ(3× 35)	37,173	64,9	5,95
РП-ТП2	1119,1	2	32,345	64,69	23,1	ААШВ(3× 35)	37,173	64,9	5,95
РП-ТП3	563,68	1	32,583	32,583	23,3	ААШВ(3× 35)	37,173	64,9	5,95
РП-ТП4	590,26	1	34,119	34,119	24,4	ААШВ(3× 35)	37,173	64,9	5,95
РП-ТП5	500,93	1	28,956	28,956	20,7	ААШВ(3× 35)	37,173	64,9	5,95

Вибір трансформаторів власних потреб

Потужність трансформаторів власних потреб (ТВП) обирається по навантаженням власних потреб з урахуванням коефіцієнтів завантаження та одночасності.

Розрахункова потужність споживачів власних потреб:

$$S_{розр} = K_c \sqrt{(P_{вст}^2 + Q_{вст}^2)} = 0,8 * \sqrt{(15^2 + 0^2)} = 12 \text{ кВА}$$

Обираємо 2 трансформатори ТМ – 25/10 з такими параметрами:

$S_{ном} = 25 \text{ кВА}$, $U_{вн} = 10 \text{ кВ}$, $U_{нн} = 0,4 \text{ кВ}$, $\Delta P_{xx} = 0,16 \text{ кВт}$, $\Delta P_k = 1,22 \text{ кВт}$, $U_k = 4,5\%$, $I_{xx} = 1,8\%$.

При відключенні одного ТВП, другий буде завантажений на $(15/25) * 100\% = 60 \%$, що вказує на допустимість такого режиму роботи.

									Арк.
Вим	Арк.	№ документа	Підпис	Дата					68

Таблиця 8.4. Навантаження власних потреб.

Вид споживача	Встановлена потужність		$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	Навантаження	
	кВт х кількість	Всього, кВт			$P_{\text{вст, кВт}}$	$Q_{\text{вст, кВт}}$
Підігрів комірок КРП – 10 кВ	1х10	10	1	0	10	-
Освітлення, вентиляція приміщення КРП	3	3	1	0	3	-
Навантаження, що споживають оперативні ланцюги	2	2	1	0	2	-
Всього:					15	-

9. АНАЛІЗ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ НА ПІДПРИЄМСТВІ ЗАСОБАМИ ПРОМИСЛОВОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА

Одним з основних напрямків в галузі енергозбереження є збільшення ефективності використання електроенергії під час її передачі, розподілу та використання. Особливий потенціал для енергозбереження існує в системах електроприводу, які використовуються в багатьох галузях промисловості.

Енергозбереження може бути особливо ефективним у споживачів електроенергії, оскільки більшість енергії витрачається саме на електроприводи, електротехнологічні установки та освітлювальні системи. Регулювання швидкості в електроприводі до рівня, який необхідний для роботи механізмів, може привести до значної економії енергії. Однак, варто зазначити, що економічність таких заходів може залежати від коефіцієнтів завантаження електроприводів.

Таким чином, використання енергоефективних технологій та оптимізація систем електроприводу є важливими аспектами енергозбереження в електроенергетиці. Це дозволяє знизити споживання електроенергії, зменшити витрати та позитивно вплинути на екологію.

9.1. Аналіз підходів до енергозбереження в електроприводах

Перший шлях до підвищення економічності масового некерованого електропривода полягає у вдосконаленні процедури вибору двигуна для конкретної технологічної установки з метою забезпечення оптимального теплового режиму під час експлуатації. Це може включати вибір двигуна з оптимальними параметрами і забезпечення його раціональної роботи.

Другий шлях до економічності масового нерегульованого електропривода полягає в переході до енергозберігаючих двигунів або двигунів поліпшеної конструкції, які спеціально призначені для роботи з регульованим електроприводом. Енергозберігаючі двигуни мають підвищену ефективність та

						Арк.
Вим	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		70

коефіцієнт потужності, завдяки використанню більшої маси активних матеріалів, таких як залізо і мідь. Використання таких двигунів може бути ефективним при постійному навантаженні.

Однак, варто зазначити, що доцільність застосування енергозберігаючих двигунів повинна оцінюватися з урахуванням додаткових витрат. Незначне підвищення номінальної ефективності і коефіцієнта потужності може бути супроводжене додатковими витратами на придбання і установку таких двигунів.

Процес проектування двигунів може зазнати змін, зокрема для асинхронного двигуна. Відмова від традиційних вимог щодо частоти мережі живлення, прямого підключення до мережі та забезпечення заданої перевантажувальної здатності може призвести до суттєвих змін у конструкції і поліпшенні характеристик таких двигунів.

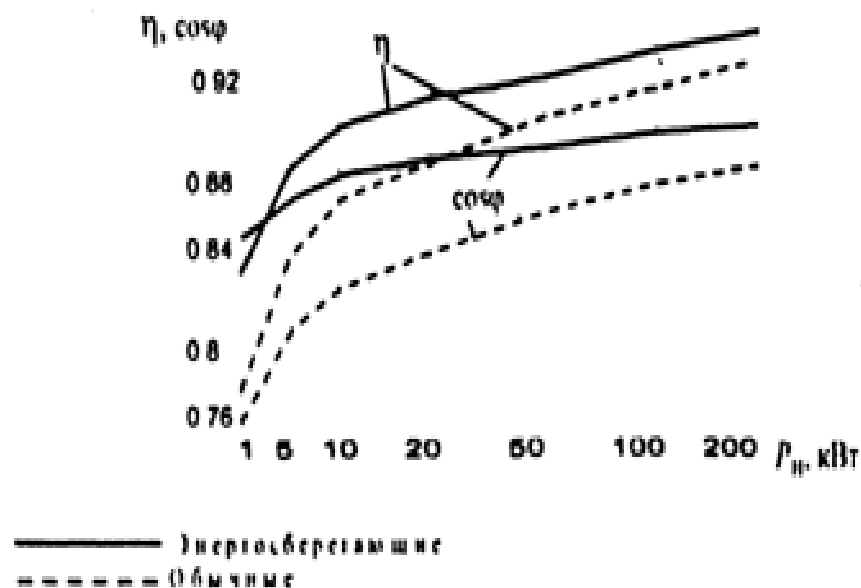


Рис.9.1. Залежності ККД і $\cos\phi$ від номінальної потужності

Реактивний (синхронний) двигун є перспективним рішенням, оскільки він поєднує переваги синхронного та асинхронного двигунів і має високу енергетичну ефективність. Цей тип двигуна має компактні розміри, що лежать між рекордними значеннями синхронних та асинхронних двигунів, але при цьому може перевершувати їх за енергетичною ефективністю. Крім того, такі двигуни можуть мати меншу вартість.

Використання реактивних вентильних двигунів спрощує схеми комутаторів та обмоток якіря. Оптимізація кута випередження інвертора дозволяє збільшити момент і енергетичну ефективність приводу. Важливо враховувати оптимальний кут випередження, який залежить від частоти обертання. Зменшення кроку обмотки також сприяє підвищенню енергетичної ефективності, забезпечуючи відповідну скорочену довжину обмотки.

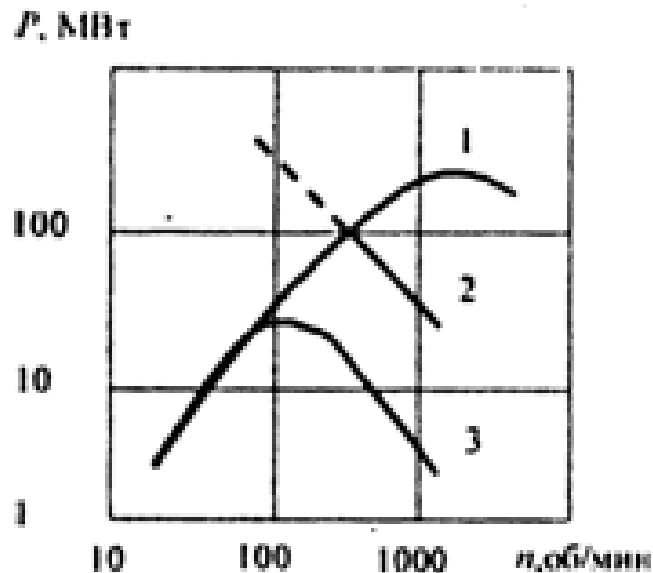


Рис. 9.2. Максимальні потужності електричних машин (1- ВД; 2- синхронних з АС пуском; 3-постійного струму.).

Третім шляхом досягнення енергоефективності є усунення проміжних передач. Проблема полягає в тому, що електрична енергія доступна лише на фіксованій частоті (50 Гц), тоді як механічна енергія потребує широкого спектру частот (швидкостей). Для вирішення цієї проблеми розроблено методи, які використовують складні системи генератор-двигун або механічні регулятори. Однак, ці методи є витратними та складними.

У загальній схемі електропривода включаються перетворювач або механічний регулятор (такі як коробка передач, муфта ковзання), муфта, редуктор і робочий орган, який є частиною робочої машини (див. рис. 9.3). Ця схема дозволяє забезпечити передачу енергії від електричного джерела до робочого органу з використанням проміжних механічних компонентів.

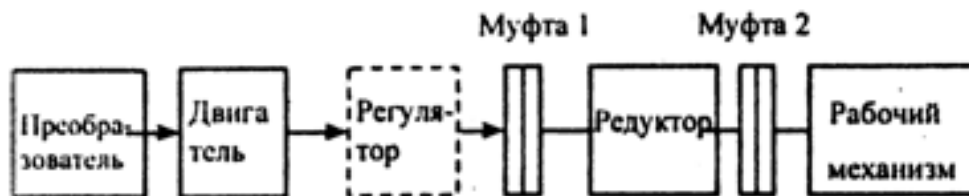


Рис. 9.3. Узагальнена структурна схема електроприводу

Коефіцієнт корисної дії системи електропривода:

$$\eta = \eta_{\pi} \eta_{\text{д}} \eta_{\text{м}}^i \eta_{\text{р}} \eta_{\text{рм}}$$

де i - кількість сполучних муфт.

Для керування робочим механізмом необхідно прикласти деякий момент при визначеній швидкості. При цьому потужність на валу складе $P = M\omega$.

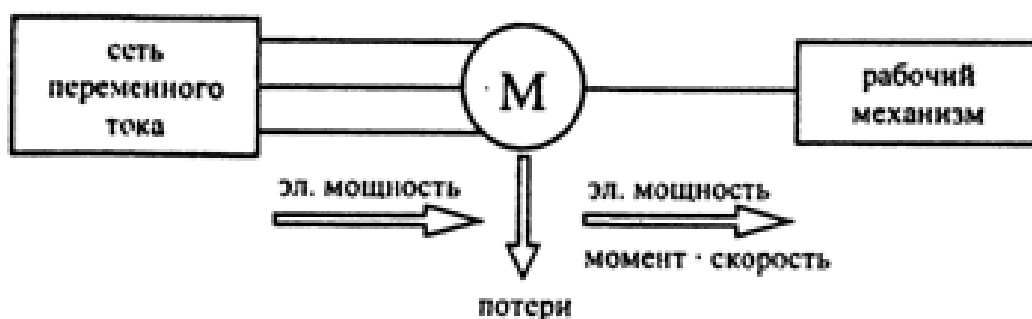


Рис. 9.4 Розподіл енергії в одноруховому одношвидкісному приводі.

Якщо використовувати редуктор фрикційного типу (такий як муфта, ремінь, гідравлічне сполучення і т.д.) для регулювання швидкості розглянутого устаткування, то умови змінюються. Наприклад, в якості приводу для насоса може використовуватися двигун з постійною швидкістю, а потік рідини контролюється за допомогою закриття та відкриття клапана. Однак, при такому режимі роботи, енергія втрачається в клапані та насосі, за винятком випадків, коли клапан повністю відкритий. Тому регулювання швидкості шляхом дроселювання не є ефективним.

Четвертим шляхом досягнення енергоефективності є економія електроенергії робочими установками та механізмами шляхом підвищення ефективності технологічного процесу.

Для досягнення цієї мети виконуються такі основні заходи:

-  Узгодження режимів роботи установки при зміні навантаження.
-  Підвищення коефіцієнта корисної дії (ККД) установки.
-  Регулювання продуктивності установки.
-  Виконання оптимальної циклограми та упорядкування графіка навантажень.

-  Забезпечення нормованого завантаження (наприклад, для підйомних механізмів, конвеєрів і т.д.).

-  Контроль стану технологічної установки.
-  Використання вдосконалених типів електроприводу.
-  Організаційні заходи.

Виконання цих заходів допомагає знизити споживання електроенергії робочими установками і механізмами шляхом підвищення ефективності їх роботи

9.2. Енергозбереження в двигунах на режимах частих пусків

Розглянемо конкретний приклад розрахунку допустимої частоти включення для електроприводу робочих машин і виробничих механізмів, які працюють в повторно-короткочасному режимі. Перш за все, визначається допустима температура під час роботи двигуна. Це значення залежить від типу двигуна і вказано в його технічних характеристиках.

Далі, необхідно врахувати теплову інерцію системи. Під час розгону двигуна відбувається нагрівання, яке пов'язане з електротехнічними втратами, а також з втратами у механічних елементах приводу. Цей процес триває певний час, поки система досягне стабільного режиму роботи.

На основі цих вихідних даних можна розрахувати допустиму частоту включень. Для цього використовуються формули і алгоритми, які враховують теплові параметри двигуна, його характеристики та технічні обмеження. Результатом розрахунку є максимально допустима частота включень, яка

									Арк.
Вим	Арк.	№ документа	Підпис	Дата					74

забезпечує безпечну температуру двигуна під час роботи в повторно-короткочасному режимі.

Важливо відзначити, що розрахунок допустимої частоти включень має проводитись з урахуванням конкретних умов роботи, включаючи тривалість робочих циклів, тривалість пауз між циклами, а також інтенсивність теплових навантажень на двигун.

Отже, аналіз роботи робочих машин і виробничих механізмів в повторно-короткочасному режимі передбачає розрахунок допустимої частоти включень для електроприводу з урахуванням теплових характеристик двигуна та умов роботи системи.

Асинхронний двигун з короткозамкнутим ротором типу А4 має номінальну потужність $P_{\text{ном}} = 7,5$ кВт.

1. Швидкість двигуна на холостому та робочому режимах:

$$\begin{aligned}\omega_0 &= 2\pi f_1/p = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 : 2 = 157 \text{ рад/с;} \\ \omega_{\text{ном}} &= \omega_0(1 - s_{\text{ном}}) = 157(1 - 0,04) = 150,7 \text{ рад/с.}\end{aligned}$$

2. Номінальний момент:

$$M_{\text{ном}} = P_{\text{ном}}/\omega_{\text{ном}} = 7500 : 150,7 = 50 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

3. Втрати потужності в двигуні:

$$\Delta P_{\text{ном}} = P_{\text{ном}}(1 - \eta_{\text{ном}})/\eta_{\text{ном}} = 7500(1 - 0,875) : 0,875 = 1071 \text{ Вт}.$$

4. Втрати потужності в обмотках статора і ротора:

$$\begin{aligned}V_{\text{ном}} &= M_{\text{ном}}\omega_0 s_{\text{ном}}(1 + R_1/R_2') = \\ &= 50 \cdot 157 \cdot 0,04(1 + 1,5) = 785 \text{ Вт}.\end{aligned}$$

5. Постійні втрати потужності:

$$K = \Delta P_{\text{ном}} - V_{\text{ном}} = 1071 - 785 = 286 \text{ Вт}.$$

6. Середній момент двигуна:

						Арк.
Вим	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		75

$$M_{\text{ср}} = (M_{\text{пуск}} + M_{\text{мах}})/2 = (2M_{\text{ном}} + 2,5M_{\text{ном}})/2 = \\ = 50(2 + 2,5):2 = 113 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

7. Тривалість пуску двигуна:

$$t_{\text{пуск}} = J_{\Sigma} \omega_{\text{ном}} / (M_{\text{ср}} - M_{\text{с}}) = 1,2 \cdot 0,028 \cdot 150,7 : (113 - 50) = 0,08 \text{ с}.$$

8. Втрати енергії при пуску:

$$\Delta W_V = J_{\Sigma} \omega_0^2 (1 + R_1/R_2') (s_{\text{нач}}^2 - s_{\text{кон}}^2) M_{\text{ср}} / 2(M_{\text{ср}} - M_{\text{с}}) = \\ = 1,2 \cdot 0,028 \cdot 157^2 (1 + 1,5)(1^2 - 0,04^2) (113 : 2)(113 - 50) = 2547 \text{ Дж}.$$

9. Втрати енергії:

$$\Delta W_K = K t_{\text{пуск}} = 286 \cdot 0,08 = 23 \text{ Дж}; \\ \Delta W_{\text{пуск}} = \Delta W_V + \Delta W_K = 2547 + 23 = 2570 \text{ Дж}.$$

10. Допустима частота включення двигуна:

$$h = 3600 \frac{\Delta P_{\text{ном}} \beta (1 - \epsilon)}{\Delta W_{\text{пуск}}} = \frac{3600 \cdot 1071 \cdot 0,3(1 - 0,42)}{2570} = 261 \text{ вкл/ч}.$$

Для даного двигуна $T_m = 1,2 \cdot 0,028 \cdot 157 : (2 \cdot 50) = 0,05 \text{ с}$, тому зниження втрат енергії в двигуні відбуватиметься при пуску тривалістю більше 0,1 с.

9.3. Економія енергії за рахунок обмеження часу холостого ходу двигунів

Холостий хід відбувається, коли двигун працює без навантаження або з дуже низьким навантаженням, при цьому витрачається енергія на подолання внутрішніх опорів і втрати у системі електропостачання. Це приводить до зайвого споживання електроенергії.

Один з способів економії енергії полягає відключенні двигуна від мережі на період холостого ходу. Це можна здійснити за допомогою автоматичного пристрою, який виявляє відсутність навантаження і автоматично вимикає живлення двигуна. Таким чином, енергія, яка була б витрачена на холостий хід, заощаджується.

						Арк.
Вим	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		76

Цей підхід може бути особливо корисним для систем з багатьма двигунами, які працюють в режимі холостого ходу протягом тривалого часу, наприклад, у виробничих лініях з перервами між операціями або у системах кондиціонування повітря. Відключення двигунів під час холостого ходу дозволяє знизити загальне споживання електроенергії.

Важливо враховувати, що вимкнення двигуна повинно бути контрольованим і не повинно негативно впливати на роботу системи або порушувати послідовність операцій. При розробці таких систем необхідно враховувати конкретні умови роботи, часові інтервали холостого ходу та належність відключених двигунів до критичних або некритичних процесів. Розглянемо приклад застосування отриманих співвідношень до двигуна серії 4А.

1. Середній момент двигуна при пуску:

$$M_{\text{ср}} = (M_{\text{пуск}} + M_{\text{к}})/2 = (\lambda_{\text{пуск}} M_{\text{ном}} + \lambda_{\text{к}} M_{\text{ном}})/2 = \\ = (1,4 \cdot 143 + 2,3 \cdot 143) : 2 = 264,5 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

2. Граничний час ХХ:

$$t_{\text{ХХ}} = J_{\text{прив}} \omega_0 / M_{\text{ср}} + J_{\text{прив}} \omega_0^2 (1 + R_1 / R_2') / 2K = \\ = 0,23 \cdot 157 : 264,5 + 0,23 \cdot 157^2 (1 + 0,219 : 0,112) : 2 \cdot 1117 = 7,6 \text{ с}.$$

Таким чином, якщо час роботи електроприводу на холостому ходу перевищує 7,6 с, то відключення двигуна приведе до економії електроенергії в електроприводі і системі електропостачання.

Відключення завжди доцільно при часі роботи двигателю на ХХ більше 10 с.

9.4. Економія енергії при заміні малоавантажених двигунів

Економія енергії при заміні малоавантажених двигунів є ще одним способом зниження споживання електроенергії в системах, де використовуються багато робочих машин і механізмів.

						Арк.
Вим	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		77

Заміна малозавантажених двигунів на менші за потужністю може призвести до економії електроенергії. Більш малопотужні двигуни, які працюють з оптимальним навантаженням, можуть мати вищу енергоефективність і менше споживати електроенергії.

Однак, при заміні двигунів потрібно ретельно розглядати вимоги і потреби системи. Необхідно враховувати робочі параметри, максимальне навантаження, можливі зміни в режимах роботи та інші фактори. Також варто враховувати, що заміна двигунів може вплинути на продуктивність і якість роботи системи, тому необхідно враховувати ці аспекти.

Заміна малозавантажених двигунів є важливим кроком у напрямку енергоефективності систем електроприводів і може привести до значних економічних та екологічних переваг.

Визначимо оптимальне навантаження двигуна типу 4A180S4 і навантаження, при якому економічно доцільна його заміна на двигун меншої потужності.

1. Визначаємо швидкість холостого ходу, номінальну швидкість і момент двигуна 4A180S4:

Таблиця 9.1. Значення $k_{н.опт}$ при різному відношенні $K/V_{ном}$

$K/V_{ном}$	0,15	0,35	0,55	0,75	0,95
$k_{н.опт}$	0,33	0,56	0,72	0,85	0,96

$$\omega_0 = 2\pi f_1 / p = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 : 2 = 157 \text{ рад/с};$$

$$\omega_{ном} = \omega_0 (1 - s_{ном}) = 157(1 - 0,02) = 154 \text{ рад/с};$$

$$M_{ном} = P_{ном} / \omega_{ном} = 22\,000 : 154 = 143 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

2. Знайдемо для номінального режиму повні, змінні і постійні втрати потужності:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{НОМ}} &= M_{\text{НОМ}} \omega_0 s_{\text{НОМ}} (1 + R_1 / R_2') = \\
 &= 143 \cdot 157 \cdot 0,02 (1 + 0,219 : 0,112) = 1\,327 \text{ Вт}; \\
 \Delta P_{\text{НОМ}} &= P_{\text{НОМ}} (1 - \eta_{\text{НОМ}}) / \eta_{\text{НОМ}} = 22\,000 (1 - 0,9) : 0,9 = 2\,444 \text{ Вт}; \\
 K &= \Delta P_{\text{НОМ}} - V_{\text{НОМ}} = 2\,444 - 1\,327 = 1\,117 \text{ Вт}.
 \end{aligned}$$

3. Оптимальне навантаження двигуна :

$$k_{\text{н.опт}} = \sqrt{K / V_{\text{НОМ}}} = \sqrt{1\,117 : 1\,327} = 0,92.$$

4. ККД двигуна при цьому навантаженні складе:

$$\begin{aligned}
 \eta &= k_{\text{н}} P_{\text{НОМ}} / (k_{\text{н}} P_{\text{НОМ}} + K + k_{\text{н}}^2 V_{\text{НОМ}}) = \\
 &= 0,92 \cdot 22\,000 / (0,92 \cdot 22\,000 + 1\,117 + 0,92^2 \cdot 1\,327) = 0,903.
 \end{aligned}$$

5. Визначаємо залишкову вартість встановленого двигуна, грн:

$$\Pi_{\text{ост}} = \Pi_{\text{уст}} (1 - T_{\text{р}} / T_{\text{сл}}) = 19\,311 (1 - 15 : 20) = 4\,825$$

6. Визначаємо терміни окупності при заміні цього двигуна для коефіцієнтів навантаження $k_{\text{н}} = 0,25; 0,5; 0,75$ і часу роботи двигуна в рік $T_{\text{р}} = 1\,500, 3\,000, 4\,500$ і $6\,000$ год.

Відповідно до умов рішення задачі $Z_{\text{дем}} = Z_{\text{тр}} + Z_{\text{монт}} + Z_{\text{нал}} = 1,35 \Pi_{\text{нов}}$.

Термін окупності розраховуємо по формулі:

$$\begin{aligned}
 T_{\text{ок}} &= (1,35 \Pi_{\text{нов}} + 4\,825) / (1,3 T_{\text{р}} \Delta P_{\text{экон}} + \\
 &\quad + 0,064 (19\,311 - \Pi_{\text{нов}}^*)).
 \end{aligned}$$

Додаткові розрахунки терміну окупності можуть бути виконані, враховуючи втрати потужності в системі електропостачання та вартість замінюваного двигуна при його ліквідації. Врахування цих факторів дозволить скоротити термін окупності. Наприклад, якщо замінюваний двигун можна продати після демонтажу за його залишковою вартістю, то при встановленні нового двигуна з коефіцієнтом навантаження $k_{\text{н}} = 0,25$ і часом роботи $T_{\text{р}} = 6000$ годин, термін окупності складатиме приблизно два роки.

						Арк.
Вим	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		79

ВИСНОВКИ

Була проведена розробка системи електропостачання для промислового підприємства ТОВ Заводу-фірми "Ось", з фокусом на впровадженні заходів з енергозбереження в електричних приводах.

Під час роботи було здійснено розрахунок електричних навантажень для мереж 0,4 кВ та 10 кВ. Побудовані графіки активної та реактивної потужності в зимовий та літній періоди, а також річний графік активної потужності за тривалістю.

Здійснено техніко-економічне порівняння схем внутрішнього електропостачання. На основі результатів порівняння було встановлено, що найефективніше буде виконання розподільчої мережі кабелем 10 кВ з центральним розподільчим пристроєм на території підприємства, застосовуючи радіальну схему електропостачання.

За результатами розрахунку режимів реактивної потужності було визначено кількість та місце встановлення конденсаторних установок. Конденсаторні установки були встановлені для компенсації реактивної потужності в РП 0,4 кВ біля цехових трансформаторів та 10 кВ на розподільчому пристрої підприємства. Розрахунок струмів короткого замикання проведений для вибору та перевірки електричних апаратів та кабельних ліній. Була складена схема заміщення схеми електропостачання для розрахунків.

У роботі також були розроблені заходи з енергозбереження в електричних асинхронних приводах, а також проведені розрахунки щодо економії електроенергії, яка може бути досягнута за рахунок впровадження енергозаощаджуючих заходів.

						Арк.
						80
Вим	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Правила улаштування електроустановок / Міненерговугілля України. – Київ : 2017. – 617 с.
2. Методичні вказівки до виконання курсового проекту (електропостачання заводу) для студентів 4-5 курсів спеціальності 8.090603 ”Електротехнічні системи електроспоживання” усіх форм навчання / Укл.: П.Г. Плешков, А.Г. Котиш, А.Ю. Орлович. – Кіровоград:КДТУ, 2004. – 133.с.
3. П. Г. Плешков. Електротехнічні системи електроспоживання : [навч. посіб.] / , В. В. Зінзура, Н. Ю. Гарасьова [та ін.] ; за заг. ред. П. Г. Плешкова. - Кропивницький : ЦНТУ, 2021. – 208 с.
4. А. В. Журахівський. Надійність електроенергетичних систем і електричних мереж: підручник / А. В. Журахівський, С. В. Казанський, Ю. П. Матеєнко, О. Р. Пастух. – Київ.: КПІ ім.. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2017. – 456 с.
5. Електропостачання: підручник / П. О. Василега. – Суми : Сумський державний університет, 2019. – 521 с.
7. Г. Г. Півняк. Перехідні процеси в системах електропостачання / , В. Н. Винославський, А. Я. Рибалко, Л. І. Несен та ін. – Дніпропетровськ : Вид-во НГА України, 2000. – 378 с.
6. Рудницький В. Г. Внутрішньоцехове електропостачання. Курсове проектування : навчальний посібник / В. Г. Рудницький. – Суми : Університетська книга, 2007. – 280 с.
8. Рудницький В. Г. Внутрішньозаводське електропостачання. Курсове проектування : навчальний посібник / В. Г. Рудницький. – Суми : Університетська книга, 2006. –153 с.

						Арк.
Вим	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		81