

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

“Допущено до захисту ”
Зав. кафедрою ЕТС та ЕМ
к.т.н., професор
_____Плешков П.Г.
“ “ _____ 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ

на тему:

**Проектування системи електропостачання ВАТ
«Балтський завод продовольчих товарів»**

**Design of the power supply system for Baltsky Food
Product Plant OJSC**

Виконав студент 4 курсу групи ЕЕ-20
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
_____Олександр КУКУЛЕНКО
« ____ » _____ 2024 р.

Керівник проекту
доц, канд.техн.наук
_____Іван САВЕЛЕНКО
« ____ » _____ 2024 р.

Рецензент _____

м. Кропивницький

Міністерство освіти і науки України
Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет будівництва транспорту та енергетики

Кафедра електротехнічних систем та енергетичного менеджменту

Освітній ступінь бакалавр

Спеціальність 141«Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

_____ Плешков П.Г.

«_____» _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТА

Кукуленка Олександра Олександровича

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи (проекту) Проектування системи електропостачання ВАТ
«Балтський завод продовольчих товарів»

Design of the power supply system for Baltsky Food Product Plant OJSC

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

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

3. Строк подання студентом роботи до захисту 10.06.2024 р.

4. Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи (проекту) Розробити систему
енергопостачання споживачів Балтського заводу продовольчих товарів, згідно
завдання: Виконати розрахунок електричних та теплових навант. підприємства.
Побудувати графіки та картограму електричних навантажень. Виконати вибір
варіантів схем електропостачання. Виконати розрахунки режимів реактивної
потужності, вибору трансформаторів та струмів КЗ. Вибрати технологічне
обладнання в розподільчому пристрої. Розробити спеціальний розділ.

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Розрахунок енергетричних навантажень</i>	<i>8.05.24</i>	
2	<i>Побудова графіків ен. навантажень</i>	<i>10.05.24</i>	
3	<i>Побудова картограм ен. навантажень</i>	<i>16.05.24</i>	
4	<i>Вибір напруги і електричних схем електропостачання</i>	<i>18.05.24</i>	
5	<i>Режими реактивної потужності</i>	<i>18.05.24</i>	
6	<i>Вибір трансформаторів</i>	<i>20.05.24</i>	
7	<i>Розрахунок струмів КЗ</i>	<i>24.04.24</i>	
8	<i>Вибір високовольтного обладнання</i>	<i>26.05.24</i>	
11	<i>Спеціальний розділ</i>	<i>30.05.24</i>	
12	<i>Оформлення пояснювальної записки</i>	<i>5.06.24</i>	
13	<i>Виконання графічної частини</i>	<i>8.06.24</i>	

Дата видачі завдання

Підпис керівника _____

«____» _____ 2024 р.

Завдання прийнято до виконання

Підпис студента _____

«____» _____ 2024 р.

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: 68 с.; 9 рис.; 21 табл.; 8 джерел

Проектування системи електропостачання ВАТ «Балтський завод продовольчих товарів»– Рукопис.

Design of the power supply system for Baltsky Food Product Plant OJSC

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

У представленій кваліфікаційній роботі розроблено комплексний проект системи електропостачання для ВАТ «Балтський завод продовольчих товарів», що включає вибір та обґрунтування оптимального електротехнічного обладнання.

У спеціалізованому розділі роботи досліджено актуальні питання енергозбереження та методи підвищення енергоефективності асинхронних електроприводів. Як практичний приклад застосування оптимізації системи вентиляції, що дозволило продемонструвати потенціал енергозбереження в промислових електроприводах.

Таким чином, робота являє собою комплексне дослідження, яке охоплює як технічні аспекти проектування систем електропостачання, так і сучасні підходи до енергоефективності промислових об'єктів.

електропостачання, енергозбереження, електричні навантаження, асинхронний електропривід.

ABSTRACT

Qualification work: 68 p.; 9 Fig.; 21 tables; 8 sources

Kukulenko O. Design of the power supply system for Baltsky Food Product Plant OJSC. – Manuscript.

Проектування системи електропостачання ВАТ «Балтський завод продовольчих товарів»

Bachelor's Thesis in the specialty 141 - "Electrical Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics". - Central Ukrainian National Technical University. - Kropyvnytskyi, 2024.

In this presented qualification work, a comprehensive project for the power supply system of OJSC "Balta Food Products Plant" has been developed, which includes the selection and justification of optimal electrical equipment.

In the specialized section of the work, current issues of energy saving and methods for improving the energy efficiency of asynchronous electric drives are investigated. As a practical example, the optimization of the ventilation system is applied, demonstrating the potential for energy saving in industrial electric drives.

Thus, the work represents a comprehensive study that covers both the technical aspects of designing power supply systems and modern approaches to energy efficiency in industrial facilities.

power supply, energy saving, electrical loads, asynchronous electric drive.

ЗМІСТ

Вступ.....	7
1. Коротка характеристика технологічного процесу підприємства.....	8
2. Розрахунок електричних навантажень	9
2.1 Розрахунок освітлювальних навантажень	9
2.2 Розрахунок силових навантажень.....	10
3. Побудова графіків електричних навантажень.....	20
4. Побудова картограми навантажень	28
5. Вибір напруг і схем зовнішнього і внутрішнього електропостачання.....	31
5.1. Вибір напруги схеми зовнішнього електропостачання	31
6. Режими реактивної потужності системи електропостачання.....	37
6.1. Розрахунок балансу реактивної потужності	37
6.2. Вибір кількості, потужності та місця розташування компенсуючих пристроїв.....	39
8. Розрахунок струмів короткого замикання і вибір високовольтного обладнання	41
8.1. Вибір кабелів напругою 10 кВ для високовольтної мережі заводу.....	45
8.2. Вибір вимикачів	46
8.3. Вибір розрядників.....	47
Апарат 10 кВ.....	47
8.4. Вибір вимикачів навантаження.	47
8.5. Вибір трансформаторів власних потреб.....	48
9. Енергозбереження в асинхронних електроприводах	49

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		Кукуленко О.			Проектування системи електропостачання ВАТ «Балтський завод продовольчих товарів»	Літера	Аркуш	Аркушів
Перевірів		Савеленко І.					6	68
Н. Контр.						ЕЕ-20, ЦНТУ		
Затв.		Плешков П Г						

<u>9.1. Шляхи підвищення ефективності асинхронних електроприводів</u>	51
<u>9.2. Енергозберігаючі заходи в електроприводах вентиляторів і димососів.....</u>	55
<u>9.3. Енергозбереження в електроприводах транспортерів і конвеєрів</u>	62
<u>Висновки</u>	67
<u>Список літератури</u>	68

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вступ

Проектування системи електропостачання є критично важливим аспектом забезпечення надійної та ефективної роботи будь-якого промислового підприємства.

ВАТ «Балтський завод продовольчих товарів» є одним з провідних підприємств у своїй галузі, що забезпечує широкий асортимент продукції для споживачів. Безперебійне функціонування заводу, ефективне використання електричної енергії та дотримання нормативних вимог щодо безпеки та надійності електропостачання є ключовими завданнями, що постають перед інженерною службою підприємства.

У даній роботі розглядаються основні принципи і методи проектування системи електропостачання для промислового підприємства. Аналізується поточний стан електричної інфраструктури заводу, визначаються основні вимоги до нової системи, враховуючи як технологічні, так і економічні аспекти. Особлива увага приділяється вибору оптимальної схеми електропостачання, визначенню необхідної напруги та потужності, вибору відповідного електрообладнання та засобів автоматизації.

Проектування системи електропостачання для ВАТ «Балтський завод продовольчих товарів» включає комплексний підхід, що охоплює аналіз навантаження, розробку принципових схем, вибір кабельної продукції та засобів захисту, а також економічне обґрунтування запропонованих рішень. Даний проект спрямований на підвищення енергоефективності підприємства, зниження витрат на електроенергію, підвищення надійності електропостачання та забезпечення відповідності сучасним стандартам і нормам.

Отже, основною метою кваліфікаційної роботи є розробка ефективної і надійної системи електропостачання для ВАТ «Балтський завод продовольчих товарів», що сприятиме підвищенню продуктивності та конкурентоспроможності підприємства на ринку.

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

1. Коротка характеристика технологічного процесу підприємства

Балтський завод продтоварів є сучасним підприємством, що спеціалізується на виробництві круп, хлібобулочних виробів, сумішей швидкого приготування та лікero-водочної продукції різної міцності. Підприємство живиться від кабельних ліній 10 кВ. На території заводу знаходиться центральний розподільчий пункт.

Завод отримує живлення від підстанції "Балта" з напругами 110/35/10 кВ. Для живлення споживачів використовуються два рівні напруги: 35 і 10 кВ. Відстань від підстанції до заводу становить 0,6 км, і використовується кабель марки ААБ-10 (3×240). Завод поділений на два головні напрямки, розташовані у двох корпусах.

Основними технологічними процесами на підприємстві є робота двох корпусів. Вони включають операції очищення та охолодження води, гомогенізації та пастеризації соків, а також переробку зернових культур. Потужність електроприводів варіюється від 0,12 до 90 кВт. Підприємство також має значну кількість вентиляторів для підтримки мікроклімату в цехах.

Крім того, на території розташована ремонтна майстерня для ремонту електричного та сантехнічного обладнання. Режим роботи підприємства - двозмінний. Споживачі підприємства здебільшого належать до II та III категорій за надійністю електропостачання.

Гаряче водопостачання заводу здійснюється централізовано від заводської котельні. У разі перебоїв у подачі гарячої води, в їдальні встановлено обладнання для автономного гарячого водопостачання.

Розрахунковий облік електроенергії для промислового виробництва ведеться в ячейках КРП-10 підстанції "Балта".

						Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. Розрахунок електричних навантажень

Визначення розрахункових електричних навантажень (ЕН) виконується у відповідності з інструктивними вказівками по проектуванню електричних промислових установок ”.

2.1 Розрахунок освітлювальних навантажень

Розрахунок освітлювального навантаження на одиницю корисної площі приміщення.

Потужність освітлювальних установок, кВт:

$$P_p = p_0 \cdot F \cdot 10^{-3}, \quad (2.1)$$

де p_0 - питома характеристика освітлювальної установки, кВт/м²; F - площа обраного приміщення, м².

Розрахункова потужність освітлювальних установок, кВт:

$$P_p = K_c \cdot P_y, \quad (2.2)$$

де K_c - коефіцієнт попиту освітлювальної установки.

Розрахункова реактивна потужність:

$$Q_p = P_p \operatorname{tg} \varphi. \quad (2.3)$$

де $\operatorname{tg} \varphi$ - 1; 0,9; 0,5, для ламп розжарювання і люмінесцентних та ламп ДРЛ, він складає відповідно.

Встановлена потужність освітлювальних ЕП для цеху напоїв головного корпусу:

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

$$P_y = p_0 \cdot F \cdot 10^{-3} = 8 \cdot 5400 \cdot 10^{-3} = 43,2 \text{ кВт}$$

Розрахункове навантаження ОУ, кВт:

$$P_p = K_c \cdot P_y, = 43,2 \cdot 0,85 = 36,72 \text{ кВт}$$

Розрахункове навантаження в приміщені:

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi = 36,72 \cdot 0 = 0 \text{ кВар},$$

Для інших підрозділів заводу розрахунок освітлювальних установок зводено до таблиці 2.1.

2.2 Розрахунок силових навантажень

Навантаження вузла навантаження:

$$P_p = P_{cm} \cdot K_m \quad (2.4)$$

де P_{cm} – середнє активне навантаження вузла навантаження; K_m – коефіцієнт максимуму.

Груповий коефіцієнт використання навантаження:

$$K_n = \frac{\sum_1^n P_{cm}}{\sum_1^n P_n} \quad (2.5)$$

де P_{cm} , P_n – відповідно середня і встановлена потужність ЕП з однаковим режимом роботи; n – число ЕП на різних режимах роботи.

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

Ефективне число ЕП n_E :

$$m = \frac{P_{H \max}}{P_{H \min}}, \quad (2.6)$$

При виконанні умов $m \geq 3, K_H > 0,2$:

$$n_E = \frac{2 \sum P_H}{P_{H \max}} \quad (2.7)$$

Розрахункове реактивне навантаження групи ЕП:

$$Q = Q_{cm}, \quad \text{при } n_E > 10 \quad (2.8)$$

$$Q = 1,1 Q_{cm}, \quad \text{при } n_E \leq 10, \quad (2.9)$$

Середнє реактивне навантаження за розрахункову зміну:

$$Q_{cm} = P_{cm} \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (2.10)$$

Розрахунковий максимум навантаження:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} \quad (2.11)$$

Порядок розрахунку навантажень у мережі напругою вище 1000 В:

- сумуються номінальні потужності всіх встановлених силових електропристроїв (ЕП) напругою до 1000 В і вище, які живляться від даного розподільного пункту (РП) або трансформаторної підстанції (ТП); визначаються середні навантаження та груповий коефіцієнт використання; обчислюються показники n_E , K_H , P_p , Q_p , S_p ; сумуються освітлювальні навантаження; підсумовуються втрати в силових трансформаторах; підводиться загальний підсумок по ТП (РП) розрахункових і середніх силових навантажень, освітлювальних навантажень та втрат у трансформаторі.

Розрахунок навантажень вище 1000 В наведено в таблиці 2.3.

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

Зм		Продовження таблиці 2.2																			
		1	2		3	4		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		
Арк			Сушильні шафи		2	10	-	10	20,2	1	0,6	0,8	0,8	12,1	9,1						
№ док-м.			Всього по цеху		11	2,6	-	19	119	7	0,5	0,7	1	56,4	54,3	11	1,38	78	54	95	
			Всього по заводу		67	2,6	-	45	1066	18	0,7	0,8	0,8	695,4	559,6	47	1,10	763	560	946	
			Корпусу хлібовиробів																		
			Цех вибою																		
Підпис			Фасувально-пакувальні лінії		6	0,1	-	0,1	0,73	1	0,4	0,7	1	0,3	0,3						
			Зашивочні машини		4	0,3	-	0,3	1,01	1	0,5	0,7	1	0,5	0,5						
			Стрічкові транспортери		2	3,0	-	3,0	6,06	1	0,5	0,7	1	3,0	3,1						
Дата			Вентилятори радіальні		2	4,0	-	4,0	8,08	1	0,7	0,8	0,9	5,3	4,6						
			Всього по цеху		14	0,1	-	4	16	33	0,6	0,7	0,9	9,0	8,5	8	1,4	12	9	15	
			Цех готової продукції																		
			Луцилки двохдекові		11	7,5	-	7,5	83,3	1	0,7	0,8	0,8	58,3	43,7						
			Розсійники		12	55	-	55	667	1	0,6	0,7	1,2	400,0	467,6						
			Підживлювачі шлузові		13	13	-	13	175	1	0,4	0,7	1,1	69,9	79,5						
			Конвейер скребковий		2	5,5	-	5,5	11,1	1	0,5	0,7	1	5,6	5,7						
			Конвейер шнековий		9	14	-	14	127	1	0,5	0,7	1	63,6	64,9						
			Конвейер стрічковий		6	2,8	-	2,8	17	1	0,6	0,7	1	9,3	9,0						
			Сепаратор повітряний		10	1,5	-	4,0	30,3	3	0,4	0,6	1,3	11,2	14,9						
			Сепаратор зерноочисний		4	2,6	-	2,6	10,5	1	0,4	0,6	1,3	4,2	5,6						
			Сортувальна машина		4	2,2	-	2,2	8,89	1	0,4	0,6	1,1	622,1	691,0						
			Всього по цеху		71	1,5	-	55	1130	37	1,1	0,7	1,1	1244	1382,0	41	1,0	1244	1382	1860	
			Цех сумішей																		
			Падді-машина		2	2,2	-	2,2	4,44	1	0,4	0,5	1,7	1,8	3,1						
			Трієр		2	5,2	-	5,2	10,5	1	0,3	0,5	1,7	3,2	5,5						
			Зернові пропарювачі		4	5,1	-	5,1	20,6	1	0,4	0,6	1,3	8,2	11,0						
			Вентилятори радіальні		4	46	-	46	184	1	0,6	0,8	0,9	110,3	97,3						
			Вентилятори привідні		8	7	-	14	84,8	2	0,7	0,9	0,6	55,1	34,2						
		Арк.																			

Зм		Продовження таблиці 2.2															
Арк		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
№ док-м.			Машини мікроклімату	2	1,0 - 3	6,06	3	0,5	0,8	0,9	3,0	2,7					
			Всього по складу	9	1,0 - 4	29,3	4	0,7	0,8	0,7	17,7	13,7	9	1,22	22	15	26
			<u>Котельня</u>														
			Підкачувальні насоси	12	3,0 - 80	84,8	27	0,7	0,8	0,8	59,4	44,5					
Гідопис			Димососи	2	1,0 - 50	50,5	50	0,7	0,8	0,8	35,4	26,5					
			Живильні насоси	2	5,0 - 100	85,9	20	0,7	0,8	0,8	55,8	41,9					
			Вентилятори	6	3,0 - 5	22,2	2	0,7	0,8	0,8	14,4	10,8					
Дата			Всього по котельні	22	1,0 - 100	243	100	0,7	0,8	0,8	165,0	123,7	5	1,18	195	136	238
			<u>Заовдоуправління</u>	20	2,0 - 24	440	12	0,7	0,8	0,8	308,0	231,0	20	1,1	348	231	418
			<u>Елеватор</u>														
			Привод барабана	4	4 - 4	16,2		0,8	0,7	0,9	12,8	11,6					
			Пиловий шнек	6	0,6 - 0,6	3,03		0,8	0,8	0,9	2,4	2,0					
			Шлюзовий затвор	4	0,8 - 0,8	3,03		0,8	0,7	0,9	2,4	2,2					
			Норії	4	20 - 40	121		0,7	0,8	0,7	82,4	57,5					
			Аспірація	6	5 - 7,5	32,3		0,7	0,8	0,9	22,0	19,4					
			Вентилятори	3	22 - 22	66,7		0,8	0,8	0,8	52,7	40,9					
			Поворотні круги	6	1 - 5	25,3		0,1	0,7	1,2	2,8	3,2					
			Компресор	2	2,2 - 3	5,05		0,4	0,8	0,8	2,0	1,7					
			Цепнік відходів	5	2,2 - 3	11,1		0,8	0,7	1,0	9,2	9,7					
			Всього по елеватору	40	0,6 - 40	284	73	0,7	0,8	0,8	188,6	148,3	14	1,2	224	148	268
			Корпусу снєків														
			<u>Цех виготовлення снєків</u>														
		Гранулятори	10	10 - 200	566	20	0,8	0,8	0,8	452,5	339,4						
		Лінія первинної обробки	4	1,0 - 20	80,8	20	0,7	0,8	0,9	52,5	46,3						
		Лінія автоматичного сортування	2	1,0 - 30	60,6	30	0,5	0,7	1	30,3	30,9						
Арк.																	

[illegible]

Зм	Арк	№ док-м.	Підпис	Дата	Продовження таблиці 2.3															
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Арк.						З урахуванням БСК									409	224				
						Втрати в тра-рах Sn.тр =630	1								5	35				
						Всього на шинах 10 ТП№5									414	259	488			
						ТП№6														
						силова	20	2 - 24	440,0	12	0,7	0,8	0,8	308	231	20	1,1	348	231	418
						освітлювальна											84	146		
						Всього											432	377		
						БСК												-225		
						З урахуванням БСК										432	152			
						Втрати в тра-рах Sn.тр = 630	1									5	36			
						Всього на шинах 10 ТП№6										437	188	476		
						ТП№7,8														
						силова	98	1 - 200	1909	200	0,7	0,8	0,8	1352	1024	19	1,1	1526	1024	1837
						освітлювальна												136	73	
						Всього												1661	1097	
						БСК													-1206	
						З урахуванням БСК											1661	-109		
						Втрати в тра-рах Sn.тр =630	3										22	129		
						Всього на шинах 10В ТП№7,8											1683	20	1683	
						Всього по заводу														
						силова	405	0,1 - 200	5573	1667	0,7	0,7	0,9	4148	3709	56	1,1	4382	3709	5741
						освітлювальна												553	290	
						Компенсуючі пристрої -0,4 кВ													-2332	
						Втрати в трансформаторах	12											60	438	443
						Компенсуючі пристрої													-1800	
						Всього на шинах 10 кВ												4996	306	5005

3. Побудова графіків електричних навантажень

Побудова графіків виконується на основі контрольних графіків електричних навантажень що виконуються раз у півроку. За річним графіком визначаються річні витрати активної енергії

Для побудови графіків використовуємо програму Графік.xls, що виконана в середовищі MS Excel. Вихідні дані для побудови річного графіку приведені в таблицях 3.1 та 3.2

Добові графіки електричних навантажень приведені на рисунках 3.1-3.5.

Програма для побудови графіків електричних навантажень

$P = 4896,00$ кВт
 $Q = 3999$ кВар
 $S = 6399$ кВА

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:
 $W_{зр} = 15544143$
Річна витрата реактивної електричної енергії, кВт*год:
 $V_{зр} = 15654307$
Літні Річна витрата активної електричної енергії, кВт*год:
 $W_{лр} = 9745306$
Річна витрата реактивної електричної енергії, кВт*год:
 $V_{лр} = 9487186$

Вихідні дні:

Зимові Річна витрата активної електричної енергії, кВт*год:
 $W_{зв} = 1878644$
Річна витрата реактивної електричної енергії, кВт*год:
 $V_{зв} = 2134466$
Літні Річна витрата активної електричної енергії, кВт*год:
 $W_{лв} = 1133444$
Річна витрата реактивної електричної енергії, кВт*год:
 $V_{лв} = 1329745$

Загальна річна витрата активної електричної енергії, кВт*год:

$W_{лр} = W_{зр} + W_{лр} + W_{зв} + W_{лв} = 28208535,71$

Загальна річна витрата реактивної електричної енергії, кВт*год:

$V_{лр} = V_{зр} + V_{лр} + V_{зв} + V_{лв} = 28558704,13$

Час використання максимального навантаження, год:

$T_m = 5940$

Час максимальних втрат, год:

$\tau_m = 4524$

					Арк.
					20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Таблиця 3.1. Активне навантаження

Години	Навантаження робочої доби				Навантаження вихідної доби			
	%	Зима (Р _{зр}), кВт	%	Літо (Р _{лр}), кВт	%	Зима (Р _{зв}), кВт	%	Літо (Р _{лв}), кВт
1	24	1199,0	24	1019,2	18	899,3	15	764,39
2	29	1448,8	40	1698,6	18	899,3	15	764,39
3	24	1199,0	34	1443,8	18	899,3	15	764,39
4	19	949,2	29	1231,5	18	899,3	15	764,39
5	24	1199,0	34	1443,8	18	899,3	15	764,39
6	24	1199,0	34	1443,8	18	899,3	15	764,39
7	29	1448,8	40	1698,6	18	899,3	15	764,39
8	69	3447,2	80	3397,3	18	899,3	15	764,39
9	88	4396,5	90	3821,9	14	699,4	11	594,5
10	100	4996,0	100	4246,6	14	699,4	11	594,5
11	93	4646,3	100	4246,6	14	699,4	11	594,5
12	48	2398,1	58	2463,0	14	699,4	11	594,5
13	78	3896,9	88	3737,0	14	699,4	11	594,5
14	88	4396,5	98	4161,7	14	699,4	11	594,5
15	83	4146,7	93	3949,3	14	699,4	11	594,5
16	48	2398,1	58	2463,0	14	699,4	11	594,5
17	83	4146,7	93	3949,3	14	699,4	11	594,5
18	78	3896,9	88	3737,0	14	699,4	11	594,5
19	83	4146,7	93	3949,3	14	699,4	11	594,5
20	78	3896,9	68	2887,7	18	899,3	15	764,4
21	74	3697,0	68	2887,7	18	899,3	15	764,4
22	68	3397,3	68	2887,7	18	899,3	15	764,4
23	58	2897,7	40	1698,6	18	899,3	15	764,4
24	24	1199,0	34	1443,8	18	899,3	15	764,4
Σдобове		70643,4		65907,23		19384,48		16476,81

Таблиця 3.2. Реактивне навантаження без врахування КП

Години	Навантаження робочої доби				Навантаження вихідної доби			
	%	Зима ($Q_{зр}$), кВар	%	Літо ($Q_{лр}$), кВар	%	Зима ($Q_{зв}$), кВар	%	Літо ($Q_{лв}$), кВар
1	34	1359,7	34	1155,7	28	1119,7	23	951,8
2	40	1599,6	40	1359,7	28	1119,7	23	951,8
3	34	1359,7	34	1155,7	28	1119,7	23	951,8
4	29	1159,7	29	985,8	28	1119,7	23	951,8
5	34	1359,7	34	1155,7	28	1119,7	23	951,8
6	34	1359,7	34	1155,7	28	1119,7	23	951,8
7	40	1599,6	40	1359,7	28	1119,7	23	951,8
8	80	3199,2	80	2719,3	28	1119,7	23	951,8
9	90	3599,1	90	3059,2	24	959,8	20	815,8
10	100	3999,0	100	3399,2	24	959,8	20	815,8
11	100	3999,0	100	3399,2	24	959,8	20	815,8
12	58	2319,4	58	1971,5	24	959,8	20	815,8
13	88	3519,1	88	2991,3	24	959,8	20	815,8
14	98	3919,0	98	3331,2	24	959,8	20	815,8
15	93	3719,1	93	3161,2	24	959,8	20	815,8
16	58	2319,4	58	1971,5	24	959,8	20	815,8
17	93	3719,1	93	3161,2	24	959,8	20	815,8
18	88	3519,1	88	2991,3	24	959,8	20	815,8
19	93	3719,1	93	3161,2	24	959,8	20	815,8
20	68	2719,3	68	2311,4	28	1119,7	23	951,8
21	68	2719,3	68	2311,4	28	1119,7	23	951,8
22	68	2719,3	68	2311,4	28	1119,7	23	951,8
23	40	1599,6	40	1359,7	28	1119,7	23	951,8
24	34	1359,7	34	1155,7	28	1119,7	23	951,8
$\Sigma_{\text{добове}}$		62464,38		53094,7		25113,72		21346,7

						Apk.
3m	Apk	Nē òokym.	Piðnuc	Dama		

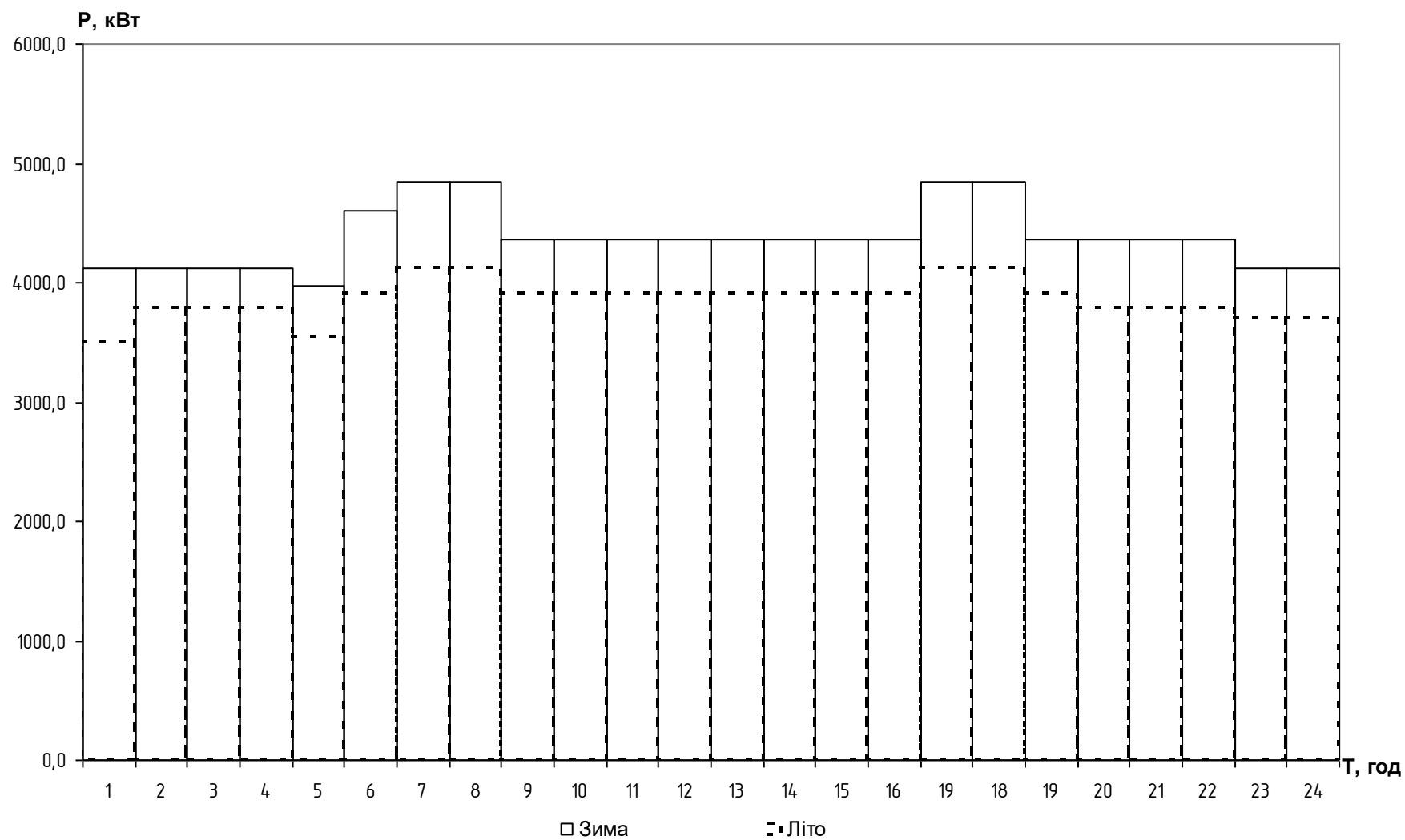


Рис. 3.1 Споживання активної потужності в робочий день

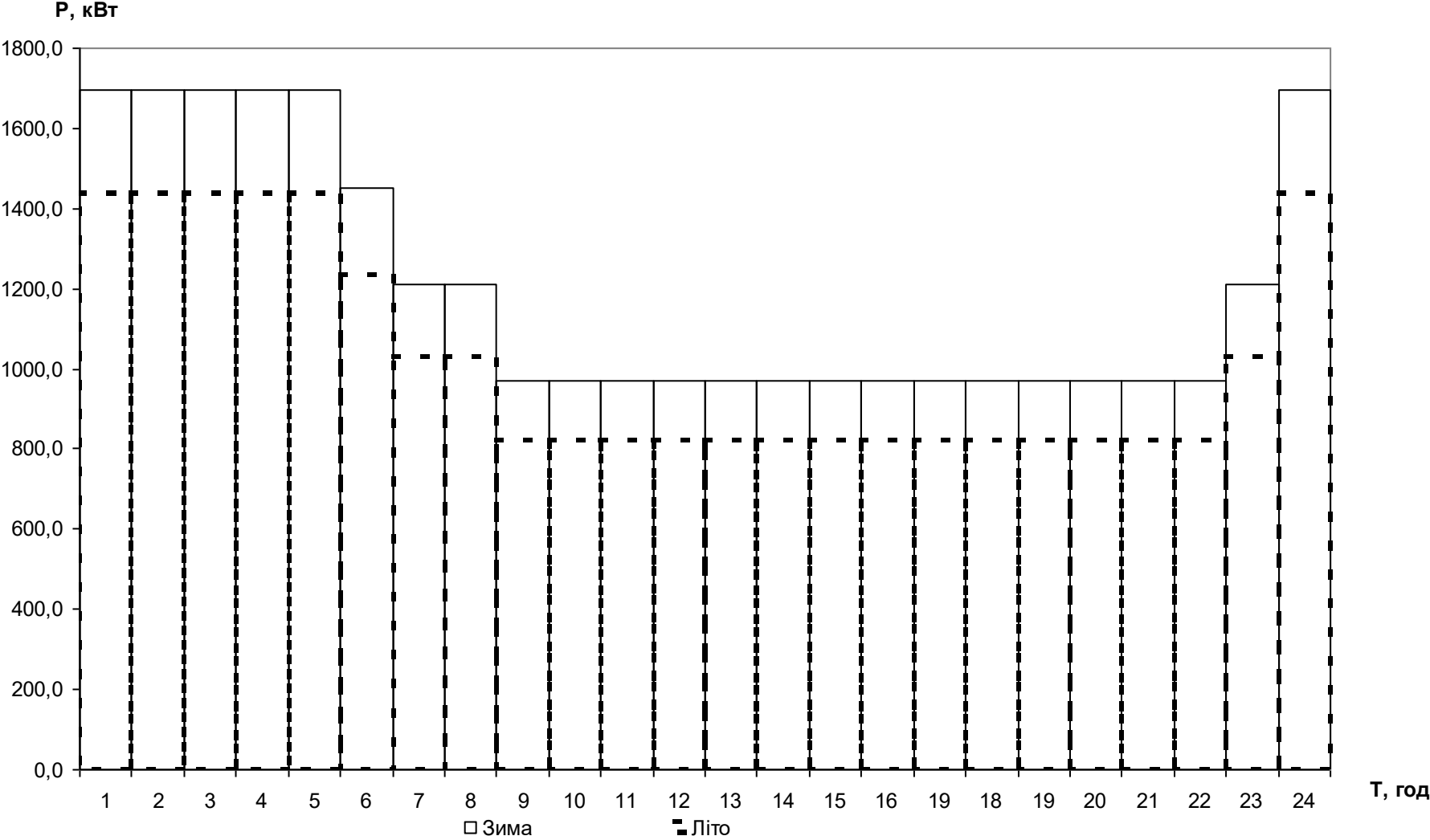


Рис. 3.2 Споживання активної потужності у вихідний день

Зм	
Арк	
№ док.м.	
Підпис	
Дата	
Арк.	

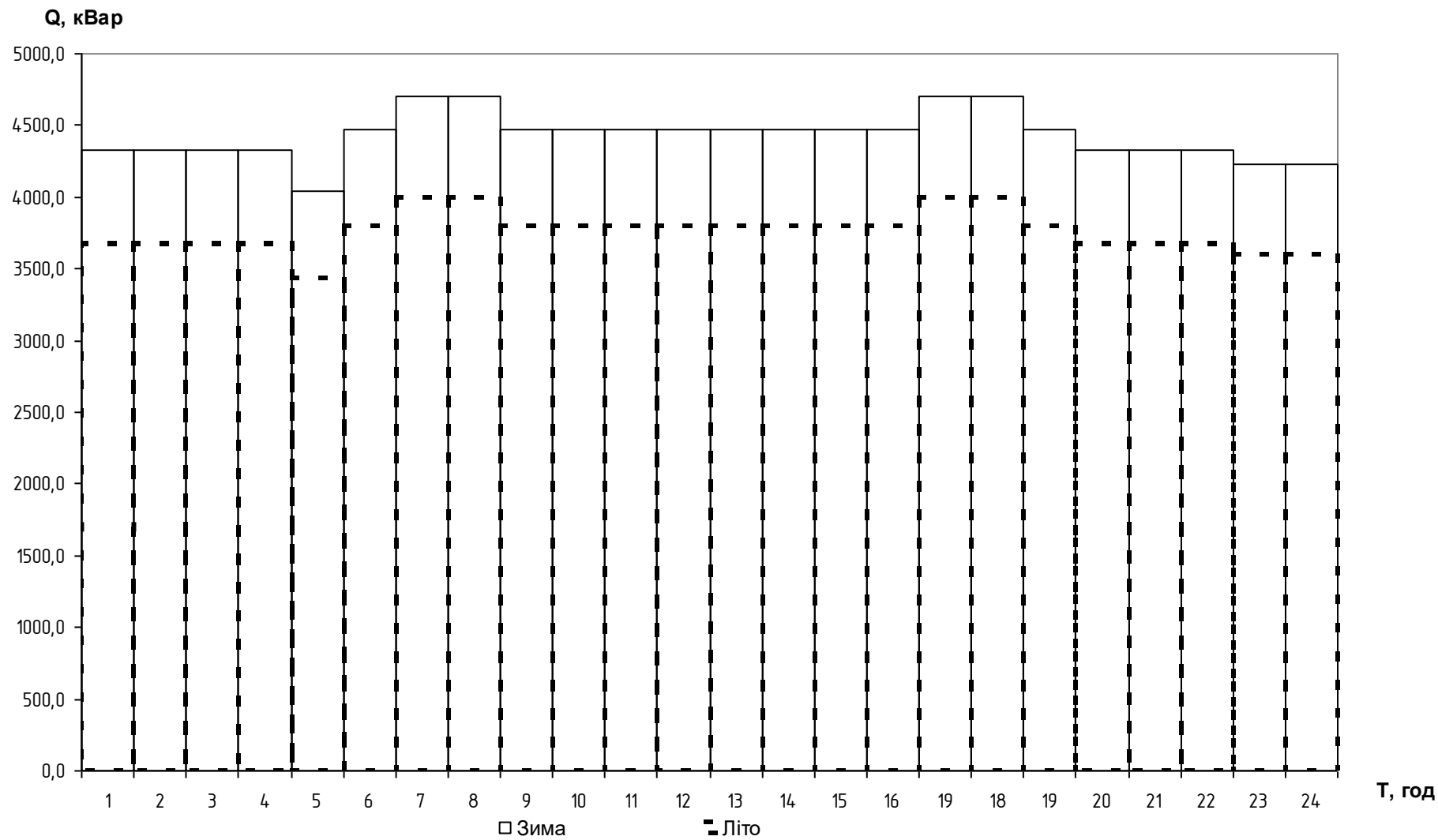


Рис. 3.3 Споживання реактивної потужності в робочий день

					Апр.
3м	Апр	№ док.ym.	Підпис	Дана	

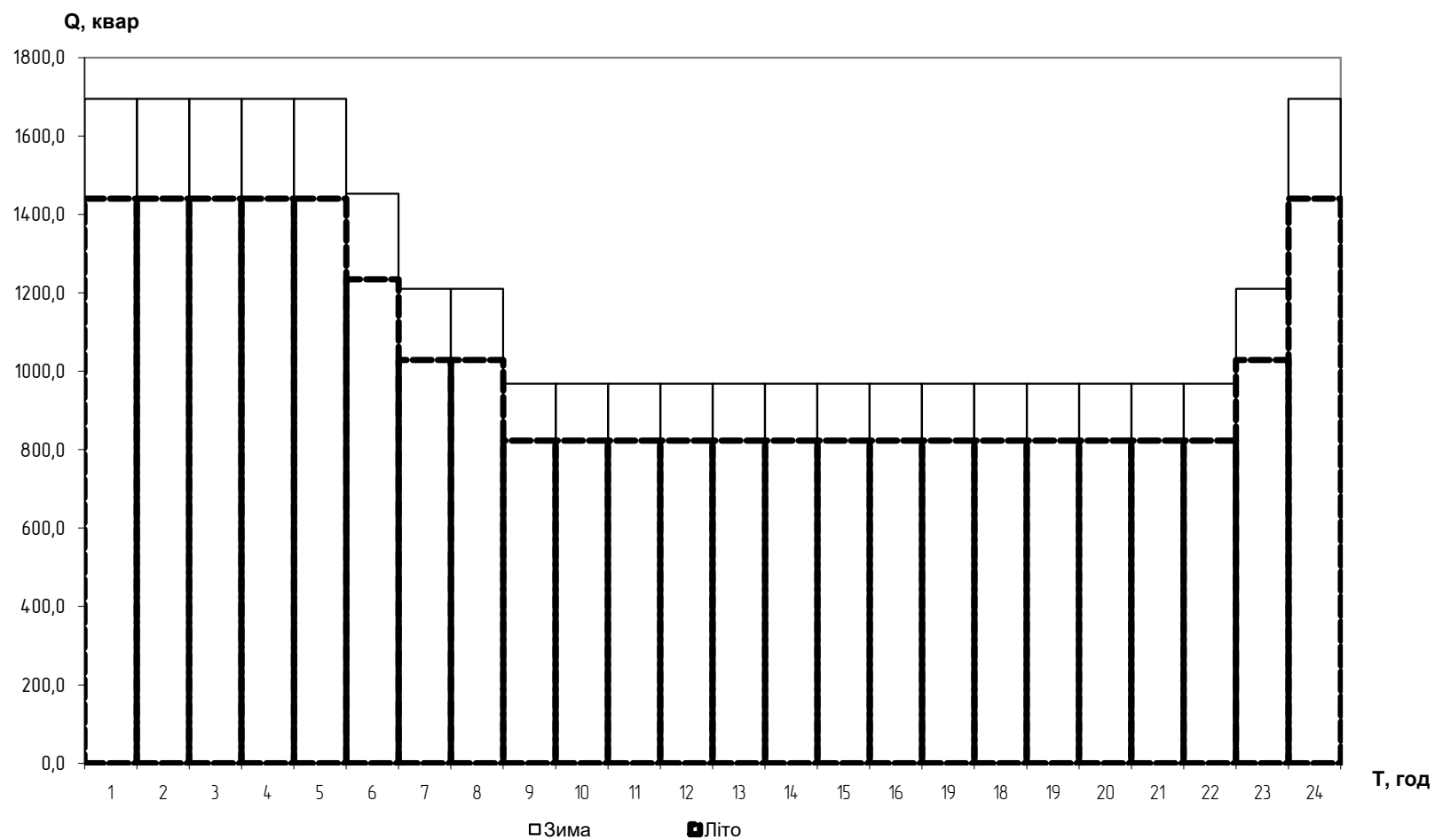


Рис. 3.4 Споживання реактивної потужності у вихідний день

Зм	Арк	№ док.м.	Підпис	Дата
Арк.				



Рис. 3.5 Річний графік навантаження за тривалістю

4. Побудова картограми навантажень

Для визначення місць розташування ЦРП і цехових ТП на генеральний план промислових підприємств наноситься картограма електричних навантажень. Приведемо приклад розрахунку для цеху напоїв

$$P_p = P_{\text{сил}}^{0,4} + P_{\text{осв}} = 643,6 + 36,7 = 680,4 \text{ кВт}$$

Радіус окружності:

$$R = \sqrt{P_p / \pi} * m = \sqrt{680,4 / 3,14} * 0,5 = 20,91 \text{ м}$$

Де $m = 0,5$ – масштаб кола, кВт/мм².

Визначимо сектор, що характеризує частку освітлювального навантаження:

$$\alpha = 360 * 36,7 / 680,4 = 19,25^\circ$$

Координати цеху напоїв на генплані заводу (345:300)

$$X_o = 680,4 * 345 = 236945,83 \text{ кВт м}$$

$$Y_o = 680,4 * 300 = 206039,85 \text{ кВт м}$$

Розрахунок картограми та ЦУН зведено до таблиці 4.1.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 4.1. Розрахунок умовного центру електричних навантажень.

по плану	Назва підрозділу	Pp,	m	R, мм	a	x, м	y, м	P*x, кВт м	P*y, кВт м
1	Головний корпус								
а	Цех напоїв	686,80	0,5	20,91	19,25	345	300	236945,83	206039,85
б	Цех розфасовки	87,13	0,5	7,45	116,02	345	300	30059,95	26139,09
в	Цех готової продукції	47,20	0,5	5,48	131,80	345	300	16284,00	14160,00
г	Цех виготовлення мюслів	100,91	0,5	8,01	83,23	345	300	34812,38	30271,63
2	Корпусу хлібовиробів								
а	Цех вибою	61,92	0,5	6,28	288,85	576	363	35664,76	22476,23
б	Цех готової продукції	1264,0	0,5	28,37	5,66	576	363	728069,88	458835,70
в	Цех сумішей	283,45	0,5	13,43	33,52	576	363	163266,97	102892,20
3	Склади	61,66	0,5	6,27	35,38	300	420	18497,44	25896,41
4	Їдальня	137,30	0,5	9,35	76,38	330	210	45309,73	28833,46
5	Автогараж	72,50	0,5	6,79	86,91	171	378	12397,32	27404,61
6	Склад готової продукції	37,31	0,5	4,87	151,32	216	471	8058,25	17571,46
7	Котельня	201,03	0,5	11,31	11,37	630	159	126649,49	31963,92
8	Заводоуправління	413,46	0,5	16,22	57,07	192	222	79384,80	91788,67
9	Елеватор	252,73	1,5	7,32	41,50	300	360	75818,37	90982,04
10	Цех виготовлення снєків	1205,1	0,5	27,70	27,42	387	390	466358,17	469973,35
11	Ремонтна майстерня	132,90	0,5	9,20	117,02	690	330	91701,43	43857,21
12	Склад готової продукції	43,23	0,5	5,25	179,90	450	90	19451,30	3890,26
13	Склад сировини	39,54	0,5	5,02	145,72	330	90	13048,40	3558,66
	Всього по заводу	4935,61						2201778,45	1696534,76

Координати центру електричних навантажень вказані на генплані заводу графічної частини.

$$X_o = 2201778,45/4935,6 = 446 \text{ м}$$

$$Y_o = 1696534,7/4935,6 = 343 \text{ м}$$

Дані координати припадають на територію зайняту корпусом по виготовленню хлібовиробів, тому виконуємо зміщення центру електричних навантажень у напрямку джерела живлення. Приймаємо до проектування координати центру електричних навантажень (550; 215) при яких перетоки електричної енергії мінімальні.

						Арк.
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5. Вибір напруг і схем зовнішнього і внутрішнього електропостачання

5.1. Вибір напруги схеми зовнішнього електропостачання

На вибір напруги і схеми зовнішнього електропостачання впливають: розрахункове навантаження підприємств, значення напруги можливих джерел живлення; відстань між джерелом живлення і споживачем; високий рівень надійності електропостачання.

Проектне рішення обирається порівнянням приведених витрат по варіантам.

Приведені затрати по варіанту:

$$З_i = E_n \cdot K_i + C_i + C_{\text{пот.і}} + Y_i, \quad (5.1)$$

Варіант №1.

Живлення здійснюється за кабельними лініями 10 кВ о від шин 10 кВ підстанції „Балта”.

Схема електропостачання приведена на рисунку 5.1.

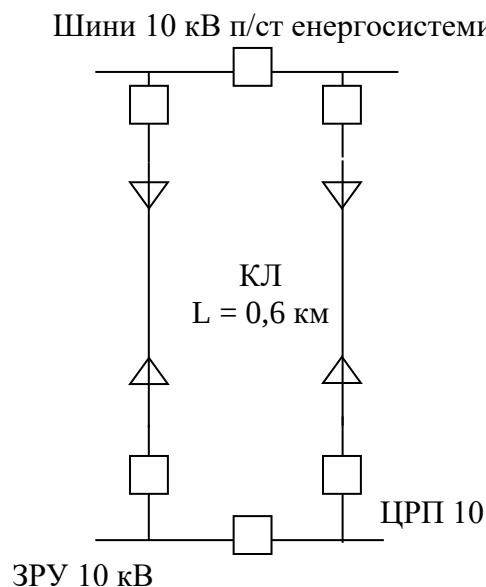


Рисунок 5.1. Схема живлення за першим варіантом

Варіант 1.

Віддаленість живильної підстанції від заводу $L = 0,6$ км.

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

$$I_p = \frac{S_p}{N\sqrt{3}U_H} = \frac{6898,0}{2 \cdot 1,7 \cdot 10} = 199,4 \text{ А};$$

Площа перерізу кабельної лінії:

$$F_{ек} = I_p / J_{ек} = 199,4 / 1,1 = 181,2 \text{ мм}^2$$

Приймаємо стандартний переріз 185 мм² кабеля. Приймаємо кабель марки ААШв – 10 (3 х 185). Кількість $n = 1$

Для даного кабеля допустимий тривалий струм $I_{доп} = 310 \text{ А}$, втрати потужності на 1 км $P_{1км} = 22 \text{ кВт/км}$, вартістю $K_0 = 54 \text{ тис.грн/км}$.

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

$$I_{доп}' = I_{доп} \cdot K_{п} = 310 \cdot 1 = 310 \text{ А};$$

де $K_{п}$ – поправочний коефіцієнт на кількість працюючих кабелів в одній траншеї, для $n_{кл} = 1$ $K_{п} = 1$

Коефіцієнт попереднього завантаження кабеля

$$K_з = I_p / (n \cdot I_{доп}') = 199,4 / (1 \cdot 310) = 0,64$$

При виході зі строю однієї лінії, інша забезпечить живлення навантаження

$$I_{авар}' = n \cdot I_{доп}' \cdot K_{а.п} = 1 \cdot 310 \cdot 1,3 = 387,5 < I_{р.ав} = 399 \text{ А}$$

$$I_{р АВ} = \frac{S_p}{\sqrt{3}U_H} = \frac{6898,0}{1,7 \cdot 10} = 398,7 \text{ А};$$

Розрахунок показує, що в аварійному режимі кабельна лінія площею перерізу 185 мм² не забезпечує передачу необхідної потужності. Для збереження електропостачання в аварійному режимі і підвищення його надійності приймаємо до прокладки кабельні лінії площею перерізу 95 мм². Приймаємо кабель марки ААШв-10 (3 х 95) $n = 2$

Для даного кабеля допустимий тривалий струм $I_{доп} = 205 \text{ А}$, втрати потужності на 1 км $P_{1км} = 16 \text{ кВт/км}$, вартістю $K_0 = 148 \text{ тис.грн/км}$.

						Арк.
						32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Коефіцієнт попереднього завантаження кабеля

$$K_3 = I_p / (n \cdot I_{\text{доп}}) = 199,4 / (2 \cdot 164) = 0,61$$

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

$$I_{\text{доп}}' = I_{\text{доп}} \cdot K_p = 205 \cdot 0,80 = 164 \text{ А};$$

При виході зі строю однієї лінії, інша забезпечить живлення навантаження

$$I_{p.\text{ав}}' = n \cdot I_{\text{доп}}' \cdot K_{a.p} = 2 \cdot 164 \cdot 1,3 = 410 > I_{p.\text{ав}} = 399 \text{ А}$$

Отже живлення забезпечуватиметься нормально.

Втрати потужності та енергії в лінії:

$$\Delta \mathcal{E}_1 = \Delta P_{\text{л}} \cdot \tau = 28,37 \cdot 4525 = 128382,88 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

$$\Delta P_{\text{л}} = \Delta P_{\text{1км}} \cdot l_{\Sigma} \cdot K_3 = 16 \cdot 4,8 \cdot 0,62 = 28,3732 \text{ кВт}$$

Сумарна довжина кабельної лінії

$$L_{\Sigma} = L \cdot n_{\text{л}} = 0,6 \cdot 4 = 2,40 \text{ км}$$

$n_{\text{л}}$ - кількість кабельних ліній в одному ланцюгу, шт

$$\text{Свтрат} = \Delta \mathcal{E}_1 \cdot C_0 = 128383 \cdot 5,7 = 643789 = 643,8 \text{ тис. грн.}$$

де C_0 – вартість 1 кВт×год електроенергії; $C_0 = 5.7 \text{ грн/кВт} \cdot \text{год}$.

						Арк.
						33
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Варіант №2.

Живлення заводу напругою 35 кВ. Схема зображена на рисунку 5.2

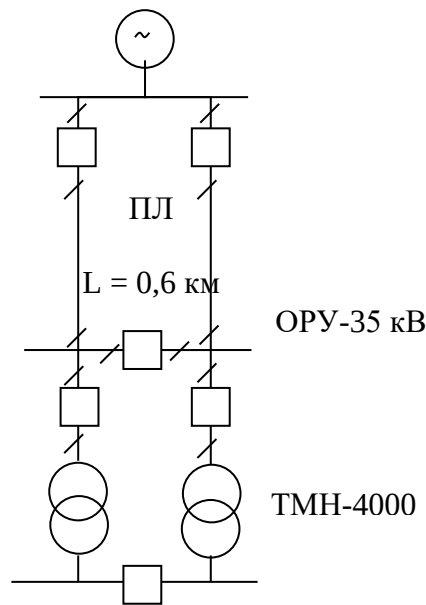


Рисунок 5.2. Схема живлення за другим варіантом

Розрахунковий струм в лінії:

$$I_p = \frac{S_p}{2\sqrt{3} U_H} = \frac{6898}{2 \cdot 1,73 \cdot 35} = 56,96 \text{ мм}^2$$

Площа перерізу проводів повітряної лінії:

$$F_{ек} = I_p / j_{ек} = 56,96 / 1 = 56,96 \text{ мм}^2$$

Прийнято ЛЕП з проводами АС, лінія перерізом 70 мм². Обираємо провід марки АС, з перерізом F= 70 мм². Параметри на один ланцюг: ΔP_{1км}= 109 кВт/км; I_{доп} = 265 А; K₀ = 198 тис.грн/км. На ГПП передбачаємо встановити двох трансформаторів потужністю S_н = 4000 кВА кожен, напругою 35 /10 кВ.

Обираємо трансформатор типу ТМН-4000/35-73У1 з параметрами ΔP_к= 33,5 кВт; ΔP_{хх} = 6,7 кВт; U_{кз}= 7,5 %.

Завантаження трансформаторів в нормальному режимі:

$$K_3 = 6898,0 / (2 \cdot 4000) = 0,86$$

Втрати потужності та енергії в лінії:

					Арк.
					34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

$$\Delta \mathcal{E}_1 = \Delta P_{\text{л}} \cdot \tau = 6,043 \cdot 4525 = 27344,72 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

$$\Delta P_{\text{л}} = \Delta P_{\text{лкм}} \cdot l_{\Sigma} \cdot K_3^2 = 109 \cdot 1,2 \cdot 0,2^2 = 6,04 \text{ кВт}$$

Сумарна довжина кабельної лінії

$$l_{\Sigma} = l \cdot n_{\text{л}} = 0,6 \cdot 2 = 1,2 \text{ км}$$

$n_{\text{л}}$ - кількість ліній в одному ланцюгу, шт

Втрати енергії в трансформаторах:

$$\Delta \mathcal{E}_{\text{тр}} = 2 \cdot (P_{\text{х}} \cdot t_{\text{вкл}} + P_{\text{к}} \cdot \tau \cdot K_3^2) = 2(6,7 \cdot 8760 + 34 \cdot 4525 \cdot 0,9^2) = 342777$$

Сумарні втрати енергії:

$$\Delta \mathcal{E} = \Delta \mathcal{E}_{\text{л}} + \Delta \mathcal{E}_{\text{тр}} = 27344,7 + 342777,09 = 370121,81 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Вартість втрат енергії:

$$C_{\text{пот}} = \Delta \mathcal{E} \cdot C_0 = 370121,81 \cdot 4,88 = 1225707 \text{ грн} = 1225,7 \text{ тис. грн}$$

де C_0 – вартість 1 кВт×год електроенергії; $C_0 = 4,88 \text{ грн/кВт} \cdot \text{год}$.

Таблиця 5.1. Розрахунок спрощених капітальних вкладень по варіантах

№ п/п	Найменування об'єкту	Одиниця	Кількість	Вартість одиниці, тис грн	Вартість всього, т. грн
I варіант	Шафи КРУ з вимикачами 10 кВ, що додатково встановлюються на підстанції	шт	2	130,16	260,32
	Кабельна лінія типу АШШВ-10 (3×95)	км	2,4	348	855,2
	Траншея	км	0,606	27,7	160,8
	Всього				1276,32
II варіант	Дволанцюгова повітряна лінія напругою 35 кВ	км	0,6	1980	118,8
	Відкритий розподільчий пристій	шт	1	3950	495,00
	Трансформатори ГЗП ТМН-4000/35	шт	2	700	1400
	Всього				2013,8

Таблиця 5.2. Розрахунок поточних витрат по варіантам

№ п/п	Найменування об'єкту	Кі, тис грн	Р _а , %	С _а , %	Р _е , %	С _е , %	С _п , тис грн
І варіант	Шафи КРУ з вимикачами 10 кВ, що додатково встановлюються на підстанції	260,32	15	39,048	5	13,016	52,064
	Кабельна лінія типу АШШв-10 (3×95)	855,2	5	42,76	5	42,76	85,52
	Траншея	160,8	5	8,04	5	8,04	16,08
	Всього	1276,32		89,848		63,816	153,664
ІІ варіант	Дволанцюгова повітряна лінія напругою 35 кВ	118,8	5	5,94	5	5,94	11,88
	Відкритий розподільчий пристій ВРП-35	495	15	74,25	5	24,75	99
	Трансформатори ГЗП ТМН-4000/35	1400	15	210	5	70	280
	Всього	2013,8		290,19		100,69	390,88

Результати розрахунку приведених витрат приведені в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 Приведені витрати по варіантам електропостачання

№ п/п	Найменування статті	Варіант І	Варіант ІІ
1	Капіталовкладення у варіанти	1276,3	2013,8
2	Поточні витрати	153,6	390,88
3	Вартість втрат електроенергії	634,8	1225,7
4	Приведені витрати	941,56	1858,24

Як видно з розрахунків за економічними показниками варіант живлення 10 кВ є більш доцільним. Отже і приймаємо його для подальшого проектування.

Для внутрішніх заводських розподільчих мереж застосовується напруга 10 кВ. Приймаємо для внутрішнього електропостачання змішану схему живлення.

6. Режими реактивної потужності системи електропостачання

Більшість промислових споживачів під час роботи споживають з мережі не лише активну потужність P , але й реактивну потужність Q . Головними споживачами реактивної потужності є: асинхронні двигуни (65-60% загального споживання реактивної потужності), трансформатори (20-25%), повітряні електричні мережі, реактори, перетворювачі та інші установки (близько 10%). Залежно від типу електрообладнання підприємства, його реактивна потужність може досягати до 130% від активної.

6.1. Розрахунок балансу реактивної потужності

Активне та реактивне навантаження в мережі до 1000 В (цехові ТП):

$$P_H = 4898 \text{ кВт}$$

$$Q_H = 4315 \text{ кВар}$$

Сумарне споживання по заводу:

$$P_p = P_v + P_H + \Delta P_{\text{тр}} = 0 + 4898 + 60 = 4958 \text{ кВт}$$

$$Q_p = Q_v + Q_H + \Delta Q_{\text{тр}} = 0 + 4315 + 436 = 4751 \text{ квар}$$

Економічно доцільна потужність, що може бути передана від системи:

$$Q_e = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi_z = 4958 \cdot 0,15 = 743,7 \text{ квар}$$

Тоді сумарна потужність компенсуючих пристроїв визначається з умови балансу реактивної потужності:

$$Q_{\text{ку}} = Q_p - Q_e = 4751 - 743,7 = 4007,3 \text{ квар}$$

Визначаємо мінімальну кількість трансформаторів по (5.4):

$$N_0 = P_H / (K_z \cdot S_{H \text{ тр}}) = 4898 / (0,7 \cdot 630) = 11,6$$

$$\text{Приймаємо } N_0 = 12$$

Розглянемо варіанти компенсації при кількості трансформаторів $N = N_0$, $N = N_0 + 1$, $N = N_0 + 2$

$$\text{Варіант I: } N = N_0 = 12$$

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

Визначаємо реактивну потужність, яка може бути передана з мережі 10 кВ в мережу 0,4 кВ через цехові трансформатори:

$$Q_{\text{н}} = \sqrt{(n \cdot S_{\text{м}} \cdot K_{\text{с}})^2 - P_{\text{н}}^2} = \sqrt{(12 \cdot 630 \cdot 0,7)^2 - 4898^2} = 2003,7 \text{ кВар}$$

Потужність компенсуючих пристроїв які потрібно встановити в мережі 0,4 кВ визначаємо з умови балансу реактивної потужності на шинах ТП :

$$Q_{\text{кн}} = Q_{\text{н}} - Q_{\text{п}} = 4315 - 2003,7 = 2311,3 \text{ квар}$$

Приймаємо до встановлення $Q_{\text{кн}} = 2332 \text{ квар}$, з них

БСК - 200 квар - 10 шт.

БСК - 166 квар - 2 шт.

$$\text{Уточнюємо значення } Q_{\text{п}} = Q_{\text{н}} - Q_{\text{кн}} = 4315 - 2332 = 1983 \text{ квар}$$

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

$$Q_{\text{кв}} = Q_{\text{р}} - Q_{\text{кн}} - Q_{\text{е}} = 4751 - 2332 - 743,7 = 1675,3 \text{ кВар}$$

Приймаємо до встановки $Q_{\text{кв}} = 1800 \text{ кВар}$

БСК -900 квар - 2 шт.

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

$$\Delta P_{\text{ТП}} = Q_{\text{п}}^2 \cdot R_{\text{ек}} / U_{\text{н}}^2 = 1983^2 \cdot 136 / 10 = 5,4 \text{ кВт}$$

$$\text{де } R_{\text{ек}} = (\Delta P_{\text{кз}} \cdot U_{\text{н}}^2) / (N_{\text{тр}} \cdot S_{\text{нтр}}^2) = (6,5 \cdot 10^2 / (12 \cdot 630)) = 136,474 \cdot 10^{-6}$$

кОм

Втрати активної потужності у низьковольтних батареях конденсаторів:

$$\Delta P_{\text{кв}} = \Delta P_{\text{пит}} \cdot Q_{\text{кв}} = 0,0045 \cdot 1800 = 8,10 \text{ кВт}$$

Втрати активної потужності у високовольтних батареях конденсаторів:

$$\Delta P_{\text{кн}} = \Delta P_{\text{пит}} \cdot Q_{\text{кн}} = 0,003 \cdot 2332 = 6,996 \text{ кВт}$$

Вартість низьковольтних конденсаторних батарей:

$$K_{\text{кн}} = N_{\text{бк}}^{0,4} \cdot K_{\text{кк}}^{0,4} = 10 \cdot 5,32 + 2 \cdot 4,75 = 62,744 \text{ тис. грн.}$$

Вартість високовольтних конденсаторних батарей:

$$K_{\text{кв}} = N_{\text{бк}}^{10} \cdot K_{\text{кк}}^{10} = 2 \cdot 15,3 = 30,678 \text{ тис. грн.}$$

Вартість комплектних трансформаторних підстанцій:

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

$K_{\text{КТП}} = N_{\text{ТП}(1)} * K_{\text{ТП}(1)} + N_{\text{ТП}(2)} * K_{\text{ТП}(2)} = 4 * 67,5 + 4,0 * 127,35 = 779,4$ тис. грн.

Розрахункові витрати на компенсацію:

$Z_1 = E_n * (K_{\text{КН}} + K_{\text{КВ}} + K_{\text{КТП}}) + (\Delta P_{\text{КН}} + \Delta P_{\text{КВ}} + \Delta P_{\text{ТП}}) * C_o * \tau = 0,12 * (62,744 + 30,68 + 779,40) + (6,996 + 8,10 + 5,4) * 5,7 * 4525 = 523,01$ тис. грн.

Результати розрахунків поіншим варіантам наведені в таблицю 6.1

Таблиця 6.1. Баланс реактивної потужності.

Показники	Варіант I	Варіант II	Варіант III
Потужність КП в мережі 0,4 кВ	2332	1845,5	1000
Потужність КП в мережі 10 кВ	1800	2250	3150
Всього за умовою балансу	4876	4839	4894
Затрати на компенсацію	523,01	596,3	771

Приведені затрати першого варіанту компенсації - найменші, тому приймаємо його і для подальшого розрахунку.

6.2. Вибір кількості, потужності та місця розташування компенсуючих пристроїв

Для трьох варіантів по формулам (6.5) та (6.6) розраховуємо реактивну потужність, яку можна передати через трансформатори ТП в цехові мережі, та потужність компенсуючих пристроїв, що встановлюються в цехових мережах.

Знаходимо реактивну потужність, яку потрібно скомпенсувати в мережі НН ТП 1,2 (I варіант):

$$Q_n = \sqrt{(n \cdot S_m \cdot K_s)^2 - P_n^2} = \sqrt{(3 \cdot 630 \cdot 0,7)^2 - 1139^2} = 337 \text{ квар}$$

$$Q_{\text{КП}} = Q_n - Q_{\text{П}} = 558 - 337 = 539 \text{ квар}$$

Приймаємо до встановлення $Q_{\text{КП}} = 536$ квар

2 шт КРМ – 0,38 – 268 – 67 УЗ

Таблиця 6.2. Вибір кількості, потужності та місця розташування компенсуючих пристроїв

[illegible]

8. Розрахунок струмів короткого замикання і вибір високовольтного обладнання

Розрахунок струмів короткого замикання (КЗ) здійснюється для вибору та перевірки електричних апаратів, а також для визначення уставок релейного захисту та автоматики.

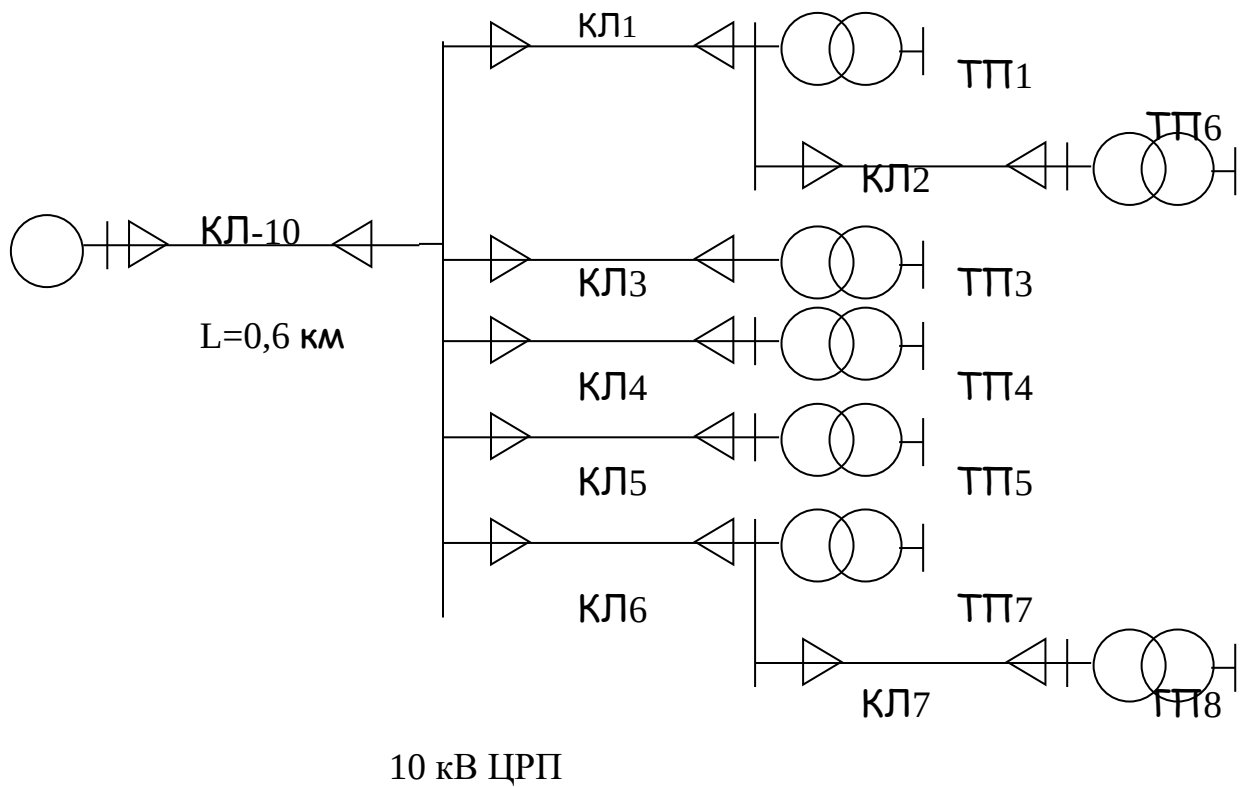


Рис. 8.1. Схема для розрахунку струмів КЗ в мережі заводу

За схемою електропостачання складається схема заміщення для розрахунку струмів КЗ.

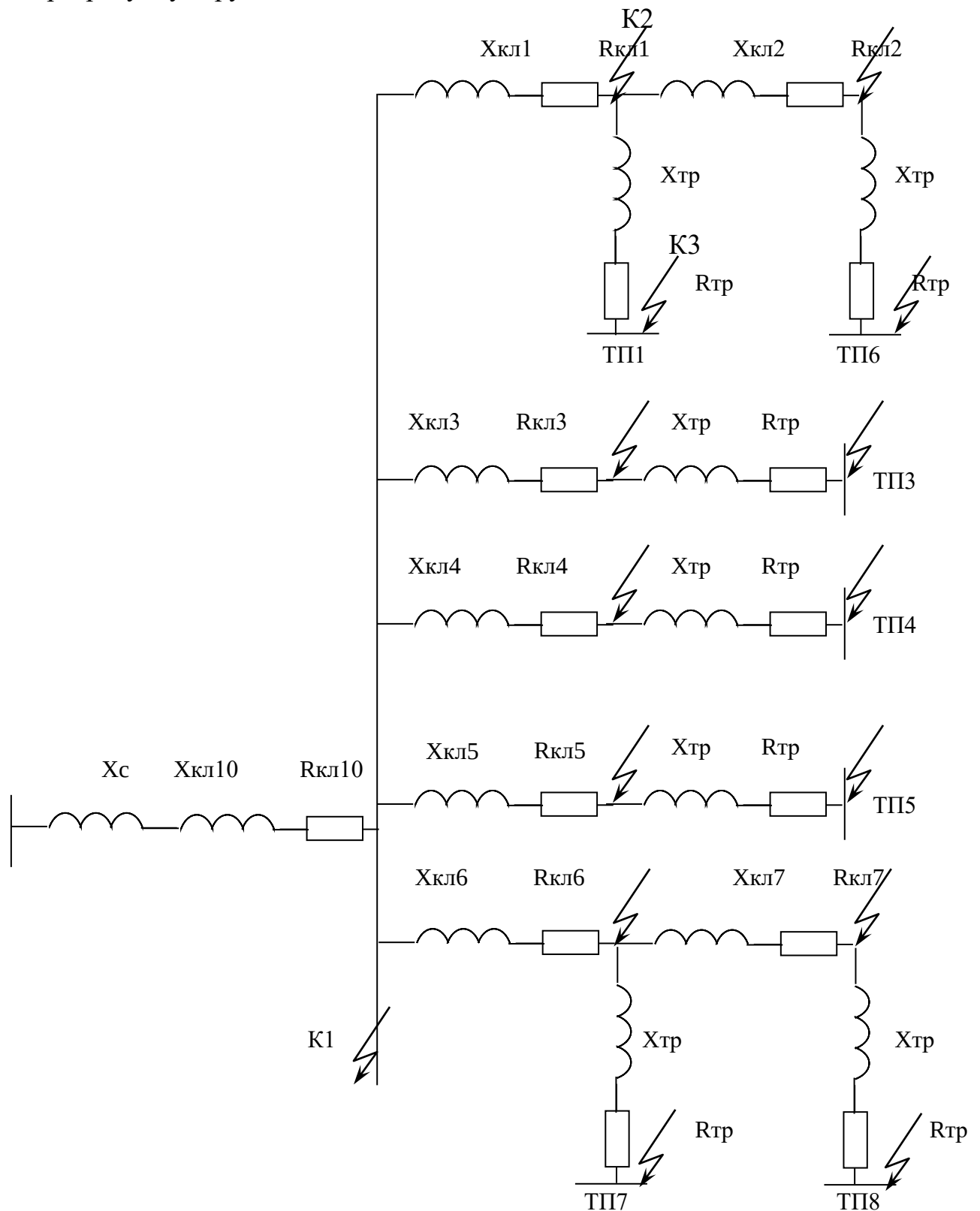


Рис. 8.2. Схема заміщення
Визначаємо відносні опори елементів схеми КЗ:

Реактивний опір системи:

$$X_c = S_6 / S_{K3} = 100 / 135 = 0,7$$

Реактивний опір лінії напругою 10 кВ до ЦРП :

$$X_{л1} = X_o * L * S_6 / U_{61}^2 = 0,22 * 0,6 * 100 / 11^2 = 0,12$$

Активний опір лінії напругою 10 кВ до ЦРП :

$$R_{л1} = R_o * L * S_6 / U_{61}^2 = 0,06 * 0,6 * 100 / 11^2 = 0,03$$

Для кабельної лінії напругою 10 кВ визначаємо:

Реактивний опір лінії напругою 10 кВ від ЦРП до ТП:

$$X_{кл1} = X_o * L * S_6 / U_{62}^2 = 0,67 * 0,24 * 100 / 11^2 = 0,15$$

Активний опір лінії напругою 10 кВ:

$$R_{кл1} = R_o * L * S_6 / U_{62}^2 = 0,06 * 0,24 * 100 / 11^2 = 0,013$$

Опір трансформатора напругою 10/0,4 кВ

$$R_{ТП} = \Delta P_M * S_6 / S_{H.тр}^2 = 10,00 * 100000 / 630^2 = 2,5$$

$$X_{тр} = \sqrt{(U_K / 100)^2 - (\Delta P_M / S_{H.тр})^2} * S_6 / S_{H.тр} = \\ = \sqrt{(5,55 / 100)^2 - (10,00 / 630)^2} * 100000 / 630 = 8,4$$

Визначаємо результуючий еквівалентний опір до розрахункової точки

КЗ.

результуючий опір до точки К1

$$R_{K1} = R_{л1} = 0,03$$

$$X_{K1} = X_c + X_{л1} = 0,74 + 0,12 = 0,86$$

$$Z_{K1} = \sqrt{R_{л1}^2 + X_{K1}^2} = \sqrt{0,03^2 + 0,86^2} = 0,86$$

результуючий опір до точки К2

$$R_{K2} = R_{K1} + R_{кл1} = 0,00 + 0,03 = 0,03$$

$$X_{K2} = X_{K1} + X_{кл1} = 0,86 + 0,15 = 1,0$$

$$Z_{K2} = \sqrt{R_{K2}^2 + X_{K2}^2} = \sqrt{0,03^2 + 1,01^2} = 1,01$$

результуючий опір до точки К3

$$R_{K3} = R_{тр} + R_{K2} = 2,5 + 0,0 = 3$$

$$X_{K3} = X_{тр} + X_{K2} = 8,4 + 1,0 = 9,45$$

$$Z_{K3} = \sqrt{R_{K3}^2 + X_{K3}^2} = \sqrt{2,6^2 + 9,4^2} = 9,8$$

Визначаємо базисні струми в заданих точках КЗ:

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

В точці K1

$$I_{\delta 1} = S_{\delta} / \sqrt{3} * U_{\delta 1} = 100 / (1,73 * 10,5) = 5,5 \text{ кА}$$

В точці K2

$$I_{\delta 2} = S_{\delta} / \sqrt{3} * U_{\delta 2} = 100 / (1,73 * 10,50) = 5,5 \text{ кА}$$

В точці K3

$$I_{\delta 3} = S_{\delta} / \sqrt{3} * U_{\delta 3} = 100 / (1,73 * 0,40) = 144,5 \text{ кА}$$

Визначаємо трифазні струми КЗ. В точці K1 діюче значення періодичної складової струму складатиме:

$$I_{K1} = I_{\delta 1} / Z_{K1} = 5,5 / 0,86 = 6,39 \text{ кА.}$$

Амплітудне значення струму на шинах напругою 10 кВ:

$$i_{y1} = \sqrt{2} * k_y * I_{K1} = 1,44 * 1,2 * 6,39 = 10,8 \text{ кА.}$$

Розрахунок для інших точок схеми зводимо до таблиці 8.1

Таблиця 8.1. Результати розрахунку струмів КЗ

Точка схеми	R_{ki}	X_{ki}	Z_{ki}	$I_{ki} = I_{\delta i} / Z_{ki}$	$i_{yn} = 2 * k_y * I_{ki}$	$I_{ki}^2 = 0,87 * I_{ki}$
ТП1	0,033	1,007	1,007	5,47	9,18	4,76
ТП1 _{нн}	2,552	9,448	9,787	14,77	31,01	12,85
ТП6	0,043	1,008	1,008	5,46	9,17	4,75
ТП6 _{нн}	2,612	9,451	9,798	14,76	31,0	12,84
ТП3	0,033	0,926	0,927	5,94	9,98	5,17
ТП3 _{нн}	2,552	9,368	9,709	14,88	31,26	12,95
ТП4	0,034	0,936	0,927	5,94	9,98	5,17
ТП4 _{нн}	2,562	9,37	9,75	14,87	31,25	12,94
ТП7	0,033	0,922	0,922	5,97	10,03	5,19
ТП7 _{нн}	2,552	9,363	9,705	14,89	31,27	12,95
ТП8	0,033	1,128	1,128	4,88	8,20	4,24
ТП8 _{нн}	2,552	9,569	9,904	14,59	30,64	12,69

8.1. Вибір кабелів напругою 10 кВ для високовольтної мережі заводу

Площа перерізу кабелів 6...10 кВ вибирається по економічній густині струму.:

Обираємо кабель до ТП №1.

Площа поперечного перерізу кабелю :

$$F_e = I_p / (n J_{ек}) = 51 / (1 \cdot 1,1) = 46,3 \text{ мм}^2;$$

$$\text{де } I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3}U_n} = \frac{882}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 51 \text{ А}$$

При $T_{\max} = 5947$ год $J_{ек} = 1,1$

Приймаємо кабель ААШв – 50 мм² з допустимим струмом $I_{\text{доп}} = 140$ А.

Превірка кабеля за допустимим струмовим навантаженням:

$$I_{ав} = K_{п} K_{ав} I_{\text{доп}} = 1 \cdot 1,25 \cdot 140 = 161 \text{ А} > 53,12 = I_p,$$

де $K_{п}$ – коефіцієнт, що враховує прокладку кабелів;

$K_{ав}$ - допустимий коефіцієнт аварійного перевантаження кабеля, приймаємо рівним 1,25.

Мінімальна площа поперечного перерізу кабеля за умовою термічної стійкості:

$$F_{\min} = \sqrt{B_k / K} = \sqrt{42,9 / 94} = 69,7 \text{ мм}^2,$$

де K - термічний коефіцієнт; для алюмінієвого кабелю $K=94 \text{ А} \cdot \text{с}^{1/2} / \text{мм}^2$;

B_k - тепловий термічний імпульс:

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

$$B_k = I''^2 (t_b + t_{pz \max}) = 6,3^2 (0,05 + 1) = 42,9 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$$

Вибір кабелів для інших ТП приведений в таблиці 8.2.

Таблиця 8.2. Вибір кабелів для силової мережі цеху

№КЛ	S _p , кВА	n	I _p	I _{p.ав}	F _{ск} , мм	Марка кабеля	I _{доп} , А	K _п	I _{ав}	B _к	F _{min}
ЦРП-ТП1	1451	1	83,9	159,8	76,3	ААШВ(3х 95)	205	1	256,3	42,874	69,7
ТП1-ТП2	962,27	1	55,6	55,6	50,6	ААШВ(3х 70)	165	1	189,8	42,874	69,7
ТП2-ТП6	476	1	27,5	27,5	25,0	ААШВ(3х 35)	115	1	132,3	42,874	69,7
ЦРП-ТП3	974,84	1	56,3	107,3	51,2	ААШВ(3х 70)	165	1	189,8	42,874	69,7
ЦРП-ТП4	974,84	1	56,3	107,3	51,2	ААШВ(3х 70)	165	1	189,8	42,874	69,7
ЦРП-ТП5	484	1	28,0	28,0	25,5	ААШВ(3х 35)	115	1	132,3	42,874	69,7
ЦРП-ТП7	1116,7	1	64,6	123,0	58,7	ААШВ(3х 70)	165	1	189,8	42,874	69,7
ЦРП-ТП8	558,36	1	32,3	32,3	29,34	ААШВ(3х 35)	115	1	132,3	42,874	69,7

8.2. Вибір вимикачів

На стороні 10 кВ обираємо вакуумні вимикачі типу ВР-1. На лініях до ТП встановлюємо вимикачі типу ВР-1.

Вибір параметрів вимикача зведені до таблиці 8.4.

Таблиця 8.3. Вибір вводних вимикачів 10 кВ

Параметри мережі	Розрахункові формули	Параметри вимикача
10 кВ	$U_{уст} \leq U_{ном}$	10 кВ
396,9 А	$I_{max} \leq I_{ном}$	630 А
6,3 кА	$I_{пт} \leq I_{отк.ном}$	20 кА
$\sqrt{2} \cdot 6,3 e^{-0,06/0,03}=1,2$ кА	$\sqrt{2} I_{пт} + i_{ат} \leq \sqrt{2} I_{отк} (1+\beta_n)$	$\sqrt{2} \cdot 20(1+0,4)=23,3$ кА
6,3 кА	$I'' \leq I_{дин}$	20 кА
10,8 кА	$i_{уд} \leq i_{дин}$	52 кА
42,9 кА ² · с	$B_k \leq I_{терм}^2 t_{терм}$	$20^2 \cdot 3 = 1200$ кА ² с

Таблиця 8.4.Вибір вимикачів 10 кВ для відходящих ліній .

Параметри мережі	Розрахункові формули	Параметри вимикача
10 кВ	$U_{уст} \leq U_{ном}$	10 кВ
53,5 А	$I_{max} \leq I_{ном}$	630 А
5,47 кА	$I_{пт} \leq I_{отк.ном}$	20 кА
$\sqrt{2} \cdot 5,47 \cdot e^{-0,06/0,03} = 1,04$ кА	$\sqrt{2} I_{пт} + i_{ат} \leq \sqrt{2} I_{отк} (1 + \beta_n)$	$\sqrt{2} \cdot 20(1 + 0,4) = 23,3$ кА
5,47 кА	$I'' \leq I_{дин}$	20 кА
9,189 кА	$i_{уд} \leq i_{дин}$	52 кА
$38,4 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_k \leq I_{терм}^2 t_{терм}$	$20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

8.3. Вибір розрядників

Захист обладнання підстанцій від атмосферних і внутрішніх перенапруг досягається встановленням вентильних розрядників. Установка розрядників необхідна на вводах силових трансформаторів, підключеним до повітряних ЛЕП. Вентильні розрядники обирають по таблиці 8.5

Найменування захисного обладнання	Група розрядників (по ДЕСТ 16357-97)
Апарат 10 кВ	Ш /РВО/

8.4. Вибір вимикачів навантаження.

Вимикачі навантаження вибирають по номінальному струму та напрузі і по струму відключення в робочому режимі, перевіряють на стійкість при наскрізному струмі КЗ.

Вибираємо вимикач навантаження типу ВНВП – 10/400.

Таблиця 8.6.Вибір вимикачів навантаження.

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

Параметри мережі	Розрахункові формули	Параметри вимикача
10 кВ	$U_{уст} \leq U_{ном}$	10 кВ
50,98 А	$I_{max} \leq I_{ном}$	400 А
50,98 А	$I_{max} \leq I_{отк.ном}$	400 А
5,47 кА	$I_{п.о.} \leq I_{пр.с.}$	10 кА
9,18 кА	$i_{уд} \leq i_{дин}$	52 кА
$15,1 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_k \leq I_{терм}^2 t_{терм}$	$10^2 \cdot 1 = 100 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Максимальний струм відключення навантаження:

$$I_{max} = 1,4 \cdot S_p / (\sqrt{3} \cdot U) = 1,4 \cdot 630 / (\sqrt{3} \cdot 10) = 50,98 \text{ А.}$$

8.5. Вибір трансформаторів власних потреб

Потужність трансформатора обирається за умовою:

$$S_{тр} \geq S_{розр}$$

Таблиця 8.7. Навантаження власних потреб.

Вид споживача	Встановлена потужність		cos φ	tg φ	Навантаження	
	кВт · кількість	Всього, кВт			P _{вст} , кВт	Q _{вст} , кВт
Підігрів комірок КРП – 10 кВ	1x11	11	1	0	11	-
Освітлення, венти-ляція приміщення КРП	3	3	1	0	3	-
Навантаження, що споживають оперативні ланцюги	2	2	1	0	2	-
Всього:					15	-

Розрахункова потужність споживачів власних потреб:

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

Обираємо для власних потреб ТМ – 25/10 з такими параметрами:

При аварійному відключенні інший буде завантажений на $(12/25) \cdot 100 = 48 \%$.

9. Енергозбереження в асинхронних електроприводах

Револьюційні досягнення у сфері математичного моделювання пристроїв змінного струму, стрімкий розвиток силової напівпровідникової техніки та створення новаторських перетворювачів, у поєднанні з впровадженням передових систем керування на базі мікропроцесорів, відкрили шлях до розробки ефективно ефективних та надійних систем регульованих асинхронних електроприводів. Ці інноваційні системи наразі займають провідне місце в галузі регульованих електроприводів.

Актуальні дані показують наступну картину розподілу регульованих приводів: ліву кількість - 68% - займають змінні електроприводи струму, 15% припадає на привод постійного струму, а решта 17% розподіляється між механічними та гідравлічними системами. Експерти прогнозують подальше зростання частки регульованих асинхронних електроприводів, більшість масштабного виробництва таких систем економічно виправдані лише на основі асинхронних двигунів. Це пояснюється вражаючим фактом: у розділі потужності до 100 кВт їх виробляють на 40 разів більше, ніж їхніх конкурентів - двигунів постійного струму.

Широкомасштабне впровадження регульованих електроприводів докорінно змінило їхню роль у виробничих процесах. Тепер вони забезпечують подвійну функцію: не забезпечують механізми необхідною механічною енергією, але й залишаються ключовим елементом управління технологічними процесами. У переважній актуальності сучасного виробництва саме на системи керування регульованими електроприводами, інтегровані з технологічною автоматикою, покладено відповідальність за забезпечення якості виробничих процесів.

В епоху стрімкого зростання цін на енергоресурси, особливо на електроенергію, та обмежених можливостей нарощування потужностей енергогенеруючих установ, питання енергоефективності та оптимізації електроспоживання набувають першочергового значення, залишаючись

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

ключовим фактором конкурентоспроможності та сталого розвитку промисловості.

У сучасному світі енергозбереження стало наріжним каменем технічної політики всіх країн. Це зумовлено трьома ключовими факторами: вичерпністю та невідновлюваністю енергоресурсів, постійно зростаючою складністю їх видобутку та вартості, а також викликаними нагальними екологічними наслідками глобального масштабу.

Енергозбереження виявилось найекономічнішим та найбезпечнішим способом виробництва енергогенеруючих потужностей. Вражаючим є факт, що витрати на економію 1 кВт потужності в 3-4 рази нижчі за поточну вартість генерації 1 кВт.

Лева частка втрат енергії (до 90%) припадає на сферу споживання, тому саме тут має бути зосереджено основні зусилля з енергозбереження. Враховуючи, що електроприводи споживають до 70% виробленої електроенергії, найбільший потенціал економії криється у впровадженні регульованих електроприводів для керування технологічними процесами. Це, у поєднанні з іншими можливостями, дозволяє оптимізувати використання лише електроенергії, а й інших ресурсів.

Особливу роль у цьому контексті виконують частотно-регульовані асинхронні електроприводи. Їх широкомасштабне застосування відкриває шлях до рішення не тільки технологічних завдань, але й нагальних проблем енергозбереження.

В Україні останніми роками підвищена увага до теоретичних і практичних аспектів енергозбереження. Це насамперед пов'язано з тим, що питомі витрати енергії на одиницю вартості валового внутрішнього продукту (ВВП) та енергетичного складу собівартості продукції в нашій країні перевищують показники інших держав. Втішає той факт, що дедалі більше вітчизняних наукових, проектних та виробничих досягнень організації досягають значних успіхів у сфері енергозбереження. Кількість установ та підприємств, які активно беруть участь у розв'язанні проблем

						Арк.
						50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

енергоефективності, невпинно зростає, що вселяє оптимізм щодо майбутньої енергетичної галузі країни.

9.1. Шляхи підвищення ефективності асинхронних електроприводів

Різноманітні методи та системи керування асинхронними електроприводами дають змогу виділити такі напрямки зниження енергоспоживання асинхронними двигунами:

Перший напрямок полягає в зменшенні втрат в електроприводі під час виконання ним заданих технологічних операцій за визначеними тахограмами і з відповідним режимом навантаження. Це стосується електроприводів, які працюють у пуско-гальмівних режимах (крани, ліфти, додаткові позиційні механізми конвеєрних ліній тощо) або у тривалих режимах з повільно змінним навантаженням (насоси, вентилятори, компресори, транспортери тощо). В таких електроприводах завдяки зниженню втрат в сталих і перехідних режимах можлива значна економія електроенергії. В кінематично пов'язаних електроприводах (багатодвигунові приводи візків, багатоопераційні агрегати тощо) рівномірний розподіл навантаження між двигунами також сприяє зменшенню втрат.

Другий напрямок передбачає зміну технологічного процесу на основі переходу до більш вдосконалених методів регулювання електроприводів та параметрів цього технологічного процесу. Це знижує споживання енергії електроприводом. Наприклад, можна навести електроприводи турбомеханізмів (насосів, вентиляторів), транспортерів і систем регулювання співвідношення палива тощо. Зазвичай, ефект не обмежується економією електроенергії в електроприводі, в багатьох випадках можлива економія ресурсів (води, твердого та рідкого палива тощо).

						Арк.
						51
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для обох згаданих напрямків характерним є те, що в них знижується споживання енергії саме в електроприводі: у першому випадку за рахунок зменшення втрат енергії, у другому – завдяки використанню більш енергоефективних методів керування технологічним процесом.

Можна також виділити третій напрямок, який забезпечує реалізацію енергозберігаючих технологій. Відомо, що існує ряд технологічних процесів, де електропривод відносно невеликої потужності керує потоком енергії, потужність якого в десятки і сотні разів перевищує потужність самого електропривода. До таких об'єктів можна віднести дугові сталеплавильні печі постійного та змінного струму, вакуумні дугові печі, установки індукційного нагріву тощо. На них електроприводи потужністю в кілька кіловат можуть керувати процесом, який вимагає десятки і навіть сотні мегават. Очевидно, що ефективне використання таких значних обсягів енергії залежить від досконалості електропривода, його швидкодії та точності, а також ступеня автоматизації процесу. Цей напрямок не пов'язаний зі зменшенням потоку енергії через електропривод, іноді споживання енергії електроприводом навіть збільшується.

Розглянемо варіанти оптимізації енергоспоживання в системах з асинхронним електроприводом.

У рамках першого вектора зменшення енергетичних втрат в асинхронному електроприводі можна виділити наступні стратегії.

Національний підбір номінальної потужності двигуна, що відповідає фактичним потребам керованого механізму. Ця проблема пов'язана з тим, що коефіцієнт використання багатьох двигунів не перевищує 50%, що є недостатньою компетентністю персоналу, або недосконалістю методології розрахунку потужності електроприводу. Зрозуміло, що двигун з недостатньою потужністю швидко виходить з ладу через перегрівання, тоді як двигун з обмеженим запасом потужності неефективно перетворює енергію, тобто має високі витрати води як у самому агрегаті через низький ККД, так і в мережі живлення через низький коефіцієнт потужності. Отже,

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

перший напрямок передбачає вдосконалення методики визначення потужності двигуна та оцінки його теплового режиму, а також у підвищенні кваліфікації проєктантів і обслуговуючого персоналу. На практиці рідко трапляються випадки, коли несправний двигун замінюють не за критерієм потужності, а за геометричними параметрами вала. Існуючі методики вибору потужності двигуна та перевірки його теплового режиму можна вважати лише першим наближенням. Необхідна розробка більш точних методів, що обґрунтовуються на детальному аналізі режимів роботи електроприводу, динаміки його енергетичних показників, теплових процесів у двигуні та стану ізоляції. Це, безумовно, передбачає широке застосування комп'ютерних технологій та спеціалізованого програмного забезпечення.

Впровадження енергоефективних двигунів, які за рахунок збільшення об'єму активних компонентів (сталі та міді), впровадження інноваційних матеріалів і технологій, демонструють підвищені номінальні показники ККД та коефіцієнти потужності. Цей підхід, незважаючи на вищу вартість таких агрегатів, стає економічно виправданим, якщо взяти до уваги оцінки західноєвропейських фахівців, відповідно до яких річні витрати на електроенергію для двигуна на 5 разів перевищують його початкову вартість. Враховуючи тривалий термін експлуатації двигуна, що може сягати кілька десятиліть, економія енергоресурсів суттєво перевищує капітальні інвестиції в таку модернізацію. Однак цей напрямок поки не набув широкого визнання у вітчизняній інженерній практиці.

Перехід до більших досконалих з енергетичної точки зору системи електроприводу. Енергетичні втрати в перехідних режимах значно варіюються залежно від обраного методу регулювання: від реостатного управління до системи ТПН-АД і НПЧ-АД, що досягає мінімальних значень при використанні частотно-регульованих електроприводів. У кожному з перерахованих варіантів систем, які мають різний ступінь ефективності з енергетичної та технологічної точки зору. Ключовим завданням інженера-

						Арк.
						53
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

проектувальника є компетентний та всебічно обґрунтований вибір оптимального технічного рішення, що враховує специфіку конкретного застосування.

Впровадження спеціалізованих технічних рішень для мінімізації енергетичних втрат в електроприводі. Оскільки значна частка асинхронних електроприводів функціонує в умовах збільшення змінного навантаження (наприклад, електроприводи турбомеханізму, конвеєрних систем тощо), флуктуації навантаження негативно впливають на енергетичну ефективність електроприводу. На сучасному етапі до таких засобів можна віднести системи динамічного регулювання напруги на двигуні відповідно до рівня його завантаження.

Типовим прикладом є спеціалізовані регулятори напруги на базі тиристорних перетворювачів напруги (ТПН), які встановлюються між мережею живлення та статором двигуна, або частотні перетворювачі з інтегрованим режимом енергозбереження. У першому випадку ТПН, крім функцій енергозбереження, забезпечує не менш важливе завдання з керування режимами пуску та гальмування, іноді регулюють швидкість чи момент, забезпечують захист і діагностику, тим самим підвищуючи загальний технічний рівень приводу. В іншому випадку режим енергозбереження розглядається як додаткова опція частотного перетворювача і доступна лише в окремих моделях.

Враховуючи багатофункціональність таких пристроїв, їх застосування виявляється економічно доцільним для приводів зі зміною навантаження, навіть з огляду на їх відносно високу вартість. Ці технології не дозволяють оптимізувати енергоспоживання, підвищити надійність та розширити функціональні можливості електроприводів, що робить їх привабливими для модернізації існуючих систем та проектування нових енергоефективних рішень.

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

9.2. Енергозберігаючі заходи в електроприводах вентиляторів і димососів.

Вентиляційні системи дають друге місце за розширення серед турбомеханізмів у промисловості, оброблюючи недостатнє насосне забезпечення. Переважна більшість цих пристроїв - це вентилятори санітарно-технічного призначення, які забезпечують кондиціонування повітря у виробничих та інших приміщеннях. Хоча потужність окремих агрегатів досить невелика (до 100 кВт), їх сукупне енергоспоживання стає значним за рахунок загального балансу.

Високопотужні вентиляційні установки застосовуються для підвищення ефективності охолодження води в градирнях. Характерною особливістю цих агрегатів є низька частота обертання робочого колеса, яка зазвичай не перевищує 600 об/хв.

Обмеження допустимої швидкості кінців лопаток робочого колеса вимагає зменшення номінальної частоти обертання при збільшенні діаметра колеса. Вентилятори відрізняються значним моментом інерції, який іноді в порядку і більше перевищує момент інерції приводного двигуна. Це ускладнює процес запуску, а в деяких випадках необхідне застосування електричного гальмування для швидкої зупинки робочого колеса.

На відміну від інших турбомеханізмів, вентилятори завжди працюють по мережі без протитиску. Внаслідок цієї залежності моменту статичного опору на вал двигуна від швидкості має квадратичний характер, а потужність, що підводиться до вентилятора (без урахування втрат на тертя в підшипниках), пропорційна кубу швидкості. Ця особливість дозволяє використовувати закони подібності для розрахунків режимів роботи вентиляційних систем, що спрощує їх проектування та оптимізацію.

Вентиляційні установки класифікуються на центробіжні та осьові типи. Серед аеродинамічних методів регулювання для вентиляторів широко застосовується техніка повороту лопаток прямого апарату. Регулюючий ефект при цьому досягається шляхом зменшення площі поперечного

						Арк.
						55
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

перерізу вхідного каналу та створення закрученого потоку на вході робочого колеса.

Менш ефективним з точки зору енергозбереження є метод регулювання продуктивності вентиляторів за допомогою шиберної заслінки, що змінює переріз вхідного каналу вентилятора. Цей спосіб аналогічний дросельному регулюванню насосів. При такому підході відбувається не модифікація характеристик самого вентилятора, а змінюються характеристики магістралі, подібно до процесів у насосних системах.

У випадку регулювання подачі вентилятора через зміну швидкості, характеристики мережі при $Q\omega$ залишається незмінною, тобто HQ^2 , а ККД вентилятора зберігає постійне значення в усій функції регулювання.

Потужність, яку споживає з мережею двигуна вентилятора (без урахування ККД самого вентилятора), можна оцінити як PQ^3 при HQ^2 і $N \sim \omega^3$. Наприклад, при регулюванні за допомогою шибера, зниження подач до 50% від номінального значення до зменшення споживаної потужності лише до 87% від номінального значення. Натомість, при частотному регулюванні аналогічне зниження подачі супроводжується зменшенням споживаної потужності до 12,5% від номінальної.

Такий аналіз енергоефективності різних методів регулювання дозволяє оптимізувати роботу вентиляційних систем та значно скоротити експлуатаційні витрати.

Потужність двигуна при дроселюванні:

$$P_{1*} = \frac{1 + aS_{ном}}{1 - S_{ном}} Q_*, \quad (9.1)$$

Потужність двигуна при частотному регулюванні

$$P_{1*} = Q_*^3 + \frac{S_{ном}(1+a)}{1-S_{ном}} Q_*^2. \quad (9.2)$$

Застосування системи регульованого електроприводу набуває критичної важливості для низьких вентиляційних установок. Дослідження показують, що коефіцієнт корисної дії вентиляторів з регульованим електроприводом може перевищити показники нерегульованих аналогів у середньому на 12%.

Впровадження такого підходу не обмежується лише підвищенням енергоефективності. Воно відкриває ряд додаткових можливостей для оптимізації.

Таким чином, впровадження регульованого електроприводу у вентиляційних системах являє собою комплексне технічне рішення, яке не лише забезпечує енергоефективність, але й оптимізує експлуатаційні параметри, розширює функціональні можливості та значно знижує загальну вартість володіння обладнанням у будь-якому терміні його служби.

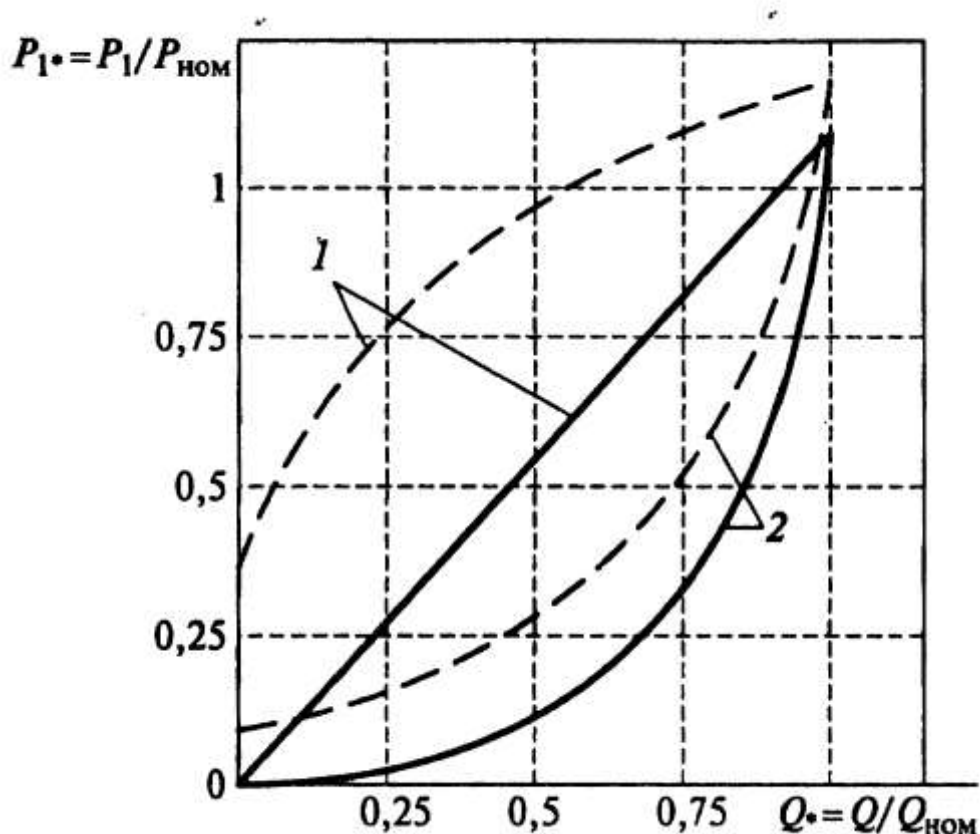


Рис. 9.1. Залежність потужності електроприводу, при регулюванні шиберам (1) і частотному регулюванні (2).

В сучасних умовах тенденція до впровадження регульованого приводу для вентиляційних систем стає все більш виразною.

Вентилятори характеризуються тривалим навантаженням з рівномірним розподілом зусиль на величину приводного двигуна, без виникнення режиму перевантаження. Однак значний момент інерції цих механізмів вимагає особливої уваги при проектуванні пускових характеристик електроприводів.

Типовий режим регулювання швидкості вентиляторів остаточно не відповідає 2:1. Більш глибоке регулювання використовує систему, враховуючи кубічну залежність споживаної потужності від частоти обертання, що робить такі режими енергетично не вигідними.

Запуск вентилятора може використовуватися як при закритому безпосередньому апараті (розвантажена машина), так і при повністю відкритому. У першому випадку максимальний момент при запуску становить приблизно 0,4 від номінального, в іншому — досягає номінального значення. Для потужних вентиляторів з великим діаметром робочого колеса часто необхідно обмежувати прискорення під час пуску для запобігання підвищеним динамічним напруженням у лопатках.

Оптимальним рішенням, що відповідає вищезазначеним вимогам, є частотно-регульований асинхронний електропривод вентилятора. У деяких випадках достатньо використання простих і економічно ефективних систем регулювання частоти.

Впровадження частотно-регульованих приводів у системах не лише забезпечує їх ефективність та надійність, але й створює основу для подальшої модернізації та оптимізації промислових процесів.

Для визначення потенціалу економії електроенергії при впровадженні частотного регулювання було проведено експериментальне дослідження енергоспоживання приводів дутьового вентилятора та димососа. Об'єктами вимірювань стали електродвигуни серії А4, які використовують для введення в дію цих агрегатів. Технічні характеристики досліджуваних

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

електричних машин систематизовано та представлено в табличному форматі (таблиця 9.1).

Результати цього аналізу дозволяють не тільки кілько оцінити можливу економію енергоресурсів, але й створюють підґрунтя для розробки стратегії оптимізації роботи вентиляційного обладнання з урахуванням специфіки конкретного виробничого процесу.

Таблиця 9.1 Технічні дані двигуна типу А4.

$P_{\text{ном}}, \text{кВт}$	$n_{\text{ном}}, \text{об/хв}$	$S_{\text{ном}}, \%$	$I_{\text{ном}}, \text{А}$	$\eta_{\text{ном}}, \%$	$\cos \varphi_{\text{ном}}$	$M_{\text{max}}/M_{\text{ном}}$	$M_{\text{п}}/M_{\text{ном}}$	$I_{\text{п}}/I_{\text{ном}}$	$U_{\text{I ном}}, \text{кВ}$
210	1500	1,31	29,5	94	0,88	2,3	1,0	5,8	10

Експериментальні дані щодо енергоспоживання приводів вентилятора та димососа отримані для двох різних підходів до регулювання: з використанням регульованого прямого апарату та за допомогою частотного керування. Візуалізація цих результатів представлена на графіках, зображених на малюнках 9.2 та 9.3.

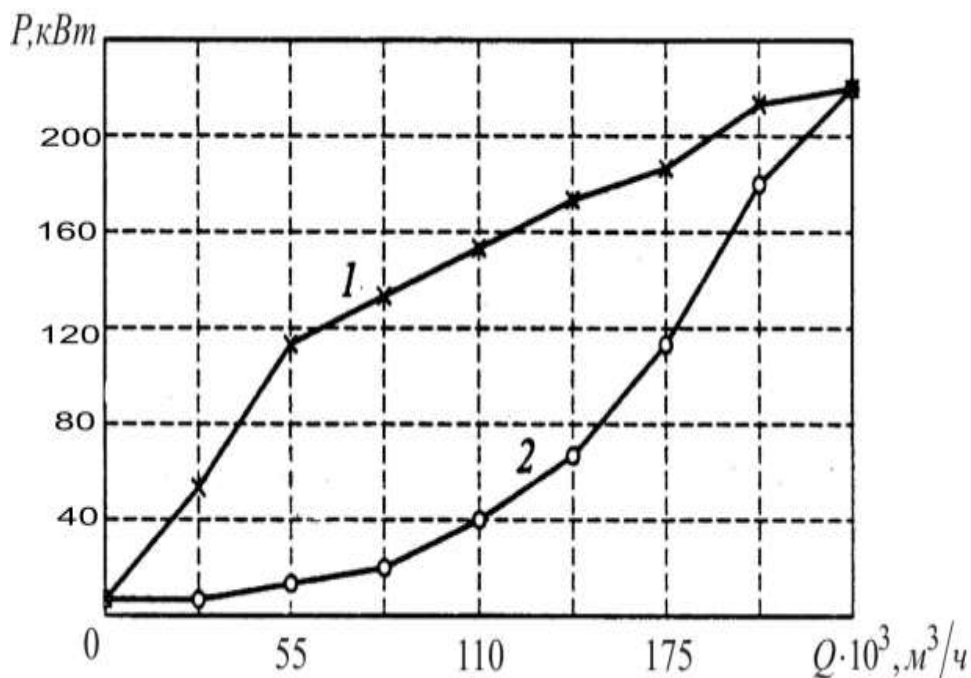


Рис. 9.2. Залежності потужності, від витрати повітря.

Такий підхід до аналізу експериментальних даних лише демонструє переваги частотного регулювання, але створює основу для розробки стратегій оптимізації роботи вентиляційного обладнання з урахуванням конкретних вимог виробничого процесу та економічних

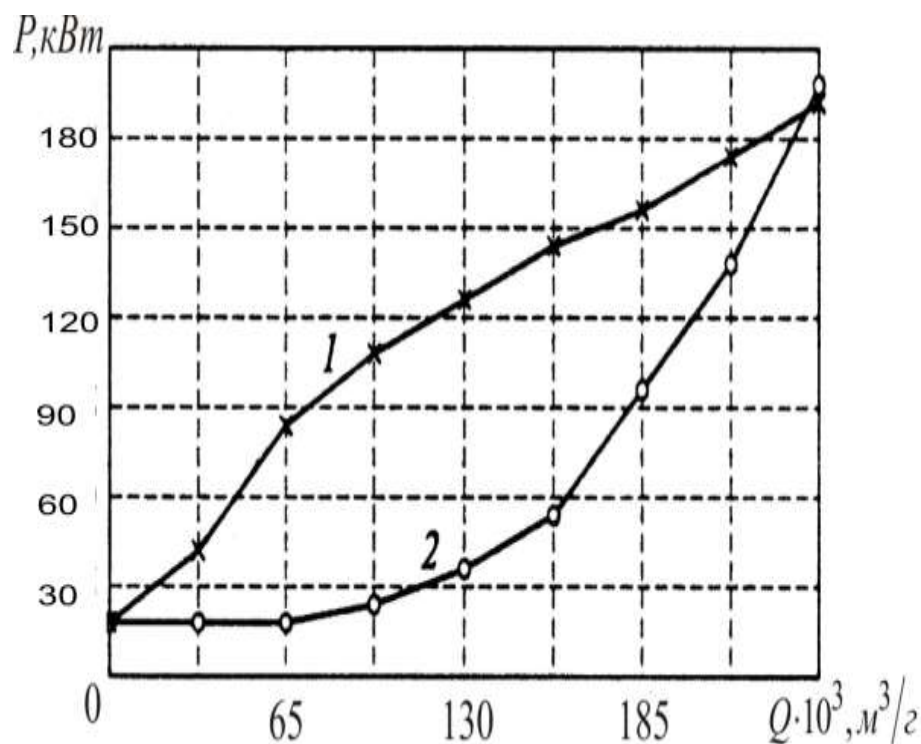


Рис. 9.3. Залежності потужності, спожитої димососом від витрати газоподібних продуктів згорання.

Залежність споживаної потужності двигуна вентилятора від його частоти обертання є статичною функцією і має кубічну залежність, а у відносних одиницях P/P_{max} – квадратичну.

Її вигляд показаний на рисунку 14.1 (залежність 2).

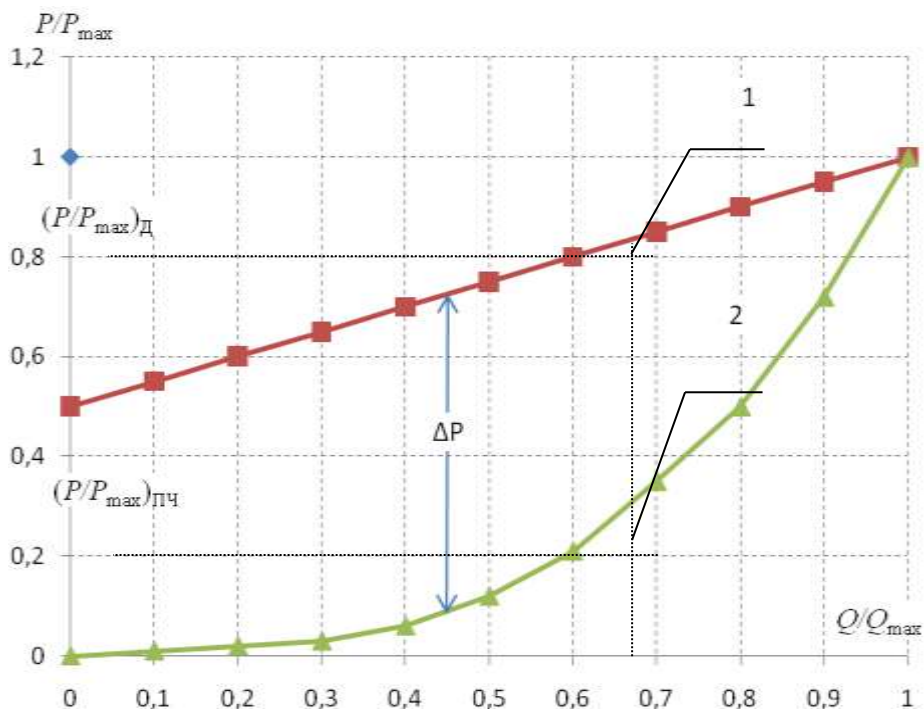


Рисунок 9.1 - Залежність споживаної потужності двигуна вентилятора від частоти обертання

Різниця між значеннями споживаних потужностей при двох способах регулювання продуктивності вентилятора:

$$\Delta P = (P/P_{max})_Д - (P/P_{max})_{ПЧ} = 0,82 - 0,3 = 0,52;$$

Потужність двигуна $P_{дв} = 18,5$ кВт;

Час роботи в рік $T_{річ} = 1930$ годин;

Вартість ел. енергії $C_0 = 5,8$ грн/кВт·год.

Різниця між значеннями споживаних потужностей при двох способах регулювання продуктивності вентилятора $\Delta P = 0,5$

Річна економія електроенергії при впровадженні МЕЗ складає:

$$\Delta E_{ПЧ} = P_{дв} \cdot \Delta P \cdot T_{річ} \cdot C_0 = 18,5 \cdot 0,55 \cdot 1930 \cdot 5,8 = 119687 \text{ грн/рік.}$$

В нашому випадку для двигуна потужністю 18,5 кВт вартість ТПЧ марки Lenze серії SMD типу ESV186N04TXB складатиме 1290 € або $K_{\text{ТПЧ}} = 53090$ грн.

Строк окупності ТПЧ - 30% від вартості ТПЧ:

$$C_o = \Delta E_{\text{ТПЧ}} / 1,3 \cdot K_{\text{ТПЧ}} = 119687 / 53090 = 2,2 \text{ роки.}$$

При проведенні аналізу технологічного режиму електроприводу і введенні систем автоматичного управління завданням швидкості, надійність роботи установки вентилятора і економічний ефект також можуть бути збільшені. Необхідно зазначити, що при впровадженні систем ТПЧ для двигунів малої потужності строк окупності буде значно більший, через більшу відносну вартість ТПЧ за 1 кВт потужності двигуна.

9.3. Енергозбереження в електроприводах транспортерів і конвеєрів

Момент на валу двигуна транспортера

$$M = \frac{FR}{(i_p \eta_p)}, \quad (9.3)$$

При швидкості транспортера $V_* = 1$

$$Q_* = F_{r*}$$

Спожита потужність двигуном:

$$P_* = M \cdot \omega_* = M_{\text{х.т.}} + (1 - M_{\text{х.т.}}) Q_*, \quad (9.4)$$

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

В режимі роботи транспортера з змінною лінійною швидкістю, але при постійній складовій зусилля $F_{r*} = 1$.

Потужність на валу двигуна:

$$P_* = M_* \omega_* = [M_{x.r*} + (1 - M_{x.r*})] Q_* = Q_* \quad (9.5)$$

Очевидно, що в режимі XX потужність на валу двигуна менша на величину:

$$\Delta P_* = M_{x.r*} (1 - Q_*) \quad (9.6)$$

Формула (9.5) демонструє, що ефективність регулювання швидкості конвеєра прямо пропорційна моменту холостого ходу та ступеню зниження продуктивності.

Показовим прикладом є електропривод стрічкових конвеєрів цукрового виробництва, які функціонують в умовах змінного навантаження. Прогнозування цих змін ускладнюється стохастичною природою вантажопотоку. При цьому тривалість роботи на холостому ходу може сягати 20-35% від загального часу експлуатації конвеєра.

Для більшої оцінки потенціалу енергозбереження при впровадженні регульованого електроприводу стрічкового конвеєра було проведено порівняльний аналіз енергоспоживання при транспортуванні однакового об'єму вантажу справжніми системами:

З нерегульованим електроприводом (базовий варіант).

З частотно-регульованим електроприводом, що забезпечує плавне регулювання швидкості стрічки.

З двошвидкісним електроприводом зі складеними номінальними швидкостями 1:2 та 1:3, що забезпечує дискретне регулювання лінійної швидкості стрічки.

При моделюванні припускалося, що система автоматичного керування частотно-регульованим електроприводом підтримує постійне погонне навантаження конвеєра, що забезпечує оптимальну енергоефективність. Числові параметри моделі базувалися на характеристиках стрічкового конвеєра типу 2L80U.

Результати аналізу енергоспоживання представлені у відносних одиницях, де за базу порівняння прийнято енергоспоживання нерегульованого електроприводу. Такий підхід дозволяє не тільки оцінити потенціал енергозбереження, але й застосувати оптимальну стратегію модернізації конвеєрних систем з урахуванням специфіки виробничих процесів та економічної доцільності.

Таблиця 9.2 Споживання енергії транспортером в залежності від типу електропривода і навантаження.

Тип електропривода транспортера	Споживання енергії при завантажені транспортера, в.о.	
	низька	висока
Не регулюючий асинхронний	1,0	1,0
Частотно-регулюючий асинхронний	0,63	0,75
Багатошвидкісний асинхронний з відношенням кутових швидкостей:		
1:2	0,8	0,93
1:3	0,81	0,96

Аналіз результатів, представлений у таблиці 9.2, показує значний потенціал енергозбереження при застосуванні різних методів регулювання швидкості конвеєрної стрічки.

Впровадження системи плавного регулювання лінійної швидкості, зокрема за допомогою частотно-регульованого електроприводу, демонструє найвищу ефективність. Підхід дозволяє досягти зниження енергоспоживання в цій частині від 26% до 38% порівняно з базовим варіантом нерегульованого електроприводу. Такий значний ефект обумовлень забезпечує точне налаштування швидкості стрічки до поточного завантаження, що мінімізує втрату енергії на холостому ході та при неповному завантаженні.

Альтернативний підхід, що забезпечує дискретне регулювання лінійної швидкості стрічки транспортера, реалізується за допомогою двошвидкісного електроприводу. Розглянуто два варіанти швидкості: 1:2 та 1:3. Хоча цей метод менш ефективний завдяки плавному регулюванню, він все ж дозволяє досягти помітної економії електроенергії. Таким, зафіксовано зниження енергоспоживання на 5-21% відносно нерегульованого електроприводу.

Оптимізація енергоспоживання асинхронних двигунів у режимі холостого ходу

Аналіз енергетичної ефективності асинхронних двигунів виявляє значний потенціал для оптимізації в періоди небагато корисного механічного навантаження. У таких умовах двигун продовжує споживати реактивну потужність з мережі, що призводить до непродуктивних втрат енергії як у самому агрегаті, так і в елементах системи електропостачання.

Для металообробного верстату з електродвигуном з потужністю $P_{\text{ном}} = 5,8$ кВт має $P_0^n = 1,26$ кВт. Час холостого ходу $T_{\text{всп}} = 17$ с.; $z = 38$ цикл/год;

$$a = 1,26 / 5,8 = 0,215; \quad b = 1 / (4 \cdot 17) = 0,016 .$$

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

З діаграми знаходимо $\varepsilon = 0,18$.

Очікувана годинна економія електроенергії

$$\Delta \mathcal{E} = 0,18 \cdot 38 \cdot 5,8 \cdot 17 / 3600 = 0,18 \text{ кВт}\cdot\text{год} .$$

Металообробний верстат постійно працює з навантаженням, рівним 25% номінальної потужності ($k_z = 25\%$), і з тривалістю періоду холостого обертання, рівною 50% ($k_t = 0,5$).

При збільшенні навантаження верстата, коли $k_z = 82\%$, і скороченні періоду холостого обертання, коли $k_t = 0,91$, збільшення питомої витрати енергії складе тільки 106%.

З огляду на, що $\beta = \Delta \mathcal{E} / \Delta \mathcal{E}_0$, де $\Delta \mathcal{E}_0 = 2,5 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$, при $\eta_{\text{м.н.}} = 0,82$ і $\alpha = 0,91$.

Годинна економія електроенергії, кВт*год:

$$\Delta \mathcal{E} = (\beta_1 - \beta_2) \cdot \Delta \mathcal{E}_0 = (2,5 - 1,06) \cdot 1,48 = 2,21 .$$

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

Висновки

У представленій кваліфікаційній роботі розроблено комплексний проект системи електропостачання для ВАТ «Балтський завод продовольчих товарів», що включає вибір та обґрунтування оптимального електротехнічного обладнання.

На базі сформованого річного графіка навантаження проведено детальний аналіз енергоспоживання підприємства. Визначено ключові параметри: річні витрати активної енергії, час використання максимального навантаження ($T_m = 5946,8$ год) та максимальний втрат ($t_m = 4524,6$ год). Ці показники стали основою для подальшої оптимізації системи електропостачання.

Для внутрішнього електропостачання заводу обрано змінену схему живлення як найбільш відповідну специфіку виробництва. Проведено порівняльний аналіз трьох варіантів балансу реактивної потужності, за результатами якого обрано перший варіант компенсації, що забезпечує мінімальні наведені витрати.

Особлива увага приділена розрахунку струмів короткого замикання, для шин 10 кВ ЦРП заводу визначено струм КЗ на рівнях 6,39 кА. параметр, що використовується для перевірки провідників та цих електричних апаратів на динамічну та термічну стійкість.

У спеціалізованому розділі роботи досліджено актуальні питання енергозбереження та методи підвищення енергоефективності асинхронних електроприводів. Як практичний приклад застосування оптимізації системи вентиляції, що дозволило продемонструвати потенціал енергозбереження в промислових електроприводах.

Таким чином, робота являє собою комплексне дослідження, яке охоплює як технічні аспекти проектування систем електропостачання, так і сучасні підходи до енергоефективності промислових об'єктів.

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

Список літератури

1. . П.Г. Плешков, А.І. Котиш, А.Ю. Орлович - Методичні вказівки до виконання дипломного проекту (електропостачання заводу). – Кіровоград: КДТУ, 2004. – 133 с.

2. Щекин Р.В., Корневский С.М., Беем Г.Е. Справочник по теплоснабжению и вен1. Бакалін Ю.І. Енергозбереження та енергетичний менеджмент: Навчальний посібник – Харків: ХІУ, 2002.

1. Плешков П.Г. Орлович А.Ю., Котиш А.І. Електропостачання промислових підприємств: Навчальний посібник для курсового та дипломного проектування. – Кіровоград: РВЛ КНТУ, 2007. – 386 с.

3. Шидловський А.К. Енергозбереження - пріоритетний напрямок державної політики України / Ковалко М.П., Денисюк С.П.; Відпов. ред. Шидловський .К. - К.: УЕЗ, 1998.- 506с.

4. Малинівський С.М. Загальна електротехніка [Текст]: підручник / С. М. Малинівський; Нац. ун-т «Львівська політехніка». — Вид. 2-ге, перероб. й допов. — Львів: Бескид Біт, 2003. — 640 с.

5. . Закладний О.М., Праховник А.В., Соловей О.І. Енергозбереження засобами електропривода: Навчальний посібник.

6. ДСТУ 5078:2008 Енергозбереження. Обладнання промислової призначеності енергоспоживальне. Вимоги до показників енергетичної ефективності. Китаєв В.Є. Електротехніка з основами промислової електроніки [Текст]: навч. посіб. / В.Є. Китаєв. — Київ: Будівельник, 1994. — 240 с.

7. Головка Д.Б. Загальні основи фізики: електродинаміка [Текст]: навч. посіб. / Д. Б. Головка, А. А. Маляренко, Ю. Л. Ментковський. — Київ: Либідь, 1994. — 128 с.

8. Монтік П.М. Електротехніка та електромеханіка [Текст]: навч. посіб. / П. М. Монтік. — Львів: Новий світ-2000, 2007. — 500 с.

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