

Міністерство освіти і науки України  
Центральноукраїнський національний технічний університет  
Центр заочної та дистанційної освіти  
Кафедра «Електротехнічні системи та енергетичний менеджмент»

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

# **КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ**

на тему:

**Розробка системи електропостачання та  
електрозбереження хлібзаводу**

**Development of a power supply and energy saving  
system for a bakery**

Виконав студент 4 курсу групи ЕЕ-21ПЗ  
спеціальності 141 «Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка»  
\_\_\_\_\_ Володимир ШИРОЦЬКИЙ  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

Керівник проекту  
доц, канд.техн.наук  
\_\_\_\_\_ Іван САВЕЛЕНКО  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

Рецензент \_\_\_\_\_

м. Кропивницький

**Міністерство освіти і науки України**  
**Центральноукраїнський національний технічний університет**

Факультет центр заочної та дистанційної освіти

Кафедра електротехнічних систем та енергетичного менеджменту

Освітній ступінь бакалавр

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ *Плешков П.Г.*

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 р.

## ЗАВДАННЯ НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТА

*Широцького Володимира Сергійовича*

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи (проєкту) Розробка системи електропостачання та електрозбереження  
хлібзаводу

Development of a power supply and energy saving system for a bakery

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

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

3. Строк подання студентом роботи до захисту 18.06.2025 р.

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

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

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

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

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

Дата видачі завдання

Підпис керівника \_\_\_\_\_

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

Завдання прийнято до виконання

Підпис студента \_\_\_\_\_

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

## АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: 66 с.; 11 рис.; 20 табл.; 11 джерел

### **Широцький В. Розробка системи електропостачання та електрозбереження хлібзаводу .– Рукопис.**

Development of a power supply and energy saving system for a bakery

Бакалаврська робота за спеціальністю 141 - «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». - Центральноукраїнський національний технічний університет. - м. Кропивницький, 2025 р.

В кваліфікаційній роботі виконано розробку системи електропостачання хлібзаводу згідно завдання.

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

В спеціальному розділі розроблено заходи з енергозбереження в елементах системи електропостачання

електропостачання, енергозбереження, електричні навантаження, режими роботи.

## ABSTRACT

Qualification work: 66 p.; 11 Fig.; 20 tables; 11 sources

**SHYROTSKYI V. Development of a power supply and energy saving system for a bakery – Manuscript.**

**Розробка системи електропостачання та електрозбереження хлібзаводу**

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

In the qualification work, the development of the power supply system of the bread factory was carried out according to the task.

The work provides an overview of existing solutions, equipment and the principle of its operation are selected, a power supply system is developed and the necessary equipment is selected.

In a special section, energy saving measures are developed in the elements of the power supply system

power supply, energy saving, electrical loads, operating modes.

## ЗМІСТ

Вступ	7
1. Коротка характеристика технологічного процесу підприємства	9
2. Розрахунок електричних навантажень	10
2.1 Розрахунок силових електричних навантажень в електричних мережах до 1000 в	10
2.2 Розрахунок освітлювальних навантажень	11
2.3 Розрахунок електричних навантажень в силових мережах вище 1000 в	16
3. Побудова графіків електричних навантажень підприємства	22
4. Побудова картограми електричних навантажень	28
5. Техніко-економічне обґрунтування електричних схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання	31
6. Режими реактивної потужності системи електропостачання	38
6.1. Розрахунок балансу реактивної потужності та вибір компенсуючих пристроїв в високовольтних та низьковольтних мережах	38
6.2. Вибір кількості, потужності та місця розташування компенсуючих пристроїв	42
7. Розрахунок струмів короткого замикання, вибір високовольтного обладнання	43
7.1. Вибір кабелів напругою 10 кВ для високовольтної мережі заводу	47
7.2. Вибір електричних апаратів високої напруги	49
7.3. Вибір потужності схем живлення трансформаторів власних потреб	51
8. Розробка системи електрозбереження в елементах системи електропостачання	52
8.1. Економія електроенергії в електричних мережах	53
8.2. Економія електроенергії в мережі при переводі її на більш високу напругу	54
8.3. Економія електроенергії в електродвигунах	55
8.4. Установка автоматичних обмежувачів холостого ходу робочих машин	57
8.5. Заміна малозавантажених електродвигунів	58
8.6. Енергозбереження в вентиляційних установках	59
8.7. Рациональне використання освітлювальних установок	60
8.7. Розрахунок економії електроенергії від регулювання роботою трансформаторів	62
Загальні висновки	64
Перелік використаної літератури	66

<b>КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА</b>				
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>
		<i>Розробив</i> Широцький В.		
		<i>Перевірів</i> Савеленко І.В.		
		<i>Н. Контр.</i>		
		<i>Затв.</i> Плешков П.Г.		
Розробка системи електропостачання та електрозбереження хлібзаводу				
		<i>Літера</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
			6	69
<i>ЕЕ-21ПЗ, ЦНТУ</i>				

## ВСТУП

Сучасний ринок хліба та хлібобулочних виробів України характеризується стабільним попитом на продукцію, проте в останні роки спостерігається зниження офіційних обсягів виробництва. Це зумовлено, передусім, демографічними змінами, а також зростанням частки тіньового сектору — дрібних пекарень, супермаркетів та домогосподарств, продукція яких не враховується в офіційній статистиці.

Особливістю галузі є нетривалий термін реалізації продукції, що обумовлює високу конкуренцію, особливо на регіональному рівні. Близько половини обсягу ринку формують декілька великих підприємств, решту — значна кількість малих виробників. Окрім того, ситуація у хлібопекарській промисловості тісно пов'язана з динамікою ринку зерна та борошна, який є чутливим до сезонних коливань і державного регулювання.

На фоні зниження рентабельності виробництва особливої актуальності набуває питання підвищення енергоефективності підприємств галузі. Розрахунки показують, що для стабільної роботи хлібопекарських виробництв необхідно досягати рівня рентабельності не нижче 15%, що можливе лише за умови технічної модернізації та впровадження автоматизованих енергозберігаючих технологій.

У цьому контексті стратегічним завданням є комплексна модернізація підприємств — оновлення обладнання, автоматизація систем управління, зниження енергоємності технологічних процесів та впровадження сучасних електротехнічних рішень. Саме цим питанням і присвячено дану кваліфікаційну роботу, в якій розглядаються підходи до підвищення ефективності електропостачання та обліку енергоспоживання на хлібопекарському підприємстві з урахуванням сучасних вимог до енергоменеджменту.

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

Метою роботи є підвищення ефективності електропостачання та енергоспоживання хлібзаводу шляхом розробки технічних рішень з оптимізації системи обліку, впровадження сучасних засобів автоматизації та підвищення енергоефективності технологічних процесів.

Для вирішення поставленої мети необхідно:

Проаналізувати сучасний стан енергоспоживання на підприємствах хлібопекарської галузі та виявити основні проблеми, пов'язані з електропостачанням.

Дослідити нормативні вимоги до проектування систем електропостачання та енергомоніторингу на харчових підприємствах.

Розробити структуру системи електропостачання підприємства з урахуванням перспектив автоматизованого обліку енергоресурсів.

Вибрати та обґрунтувати типові рішення щодо застосування сучасних лічильників, засобів збору та передачі даних.

Виконати техніко-економічне обґрунтування впроваджених заходів з енергозбереження.

Сформулювати рекомендації щодо підвищення енергоефективності та надійності електропостачання підприємства.

В роботі розглядалась система електропостачання та енергоспоживання хлібзаводу, включно з технічними засобами обліку, автоматизованого контролю та управління споживанням електроенергії.

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

## 1. КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ПІДПРИЄМСТВА

Основним технологічним обладнанням хлібозаводу є хлібопекарські печі. Близько 60% з них становлять тупикові печі типу ФТЛ, які в умовах 1–2-змінного режиму експлуатації не забезпечують належної якості продукції та не відповідають сучасним вимогам енергоефективності, що обумовлює необхідність їх заміни.

На хлібозаводі встановлено печі з номінальною потужністю від 12 до 48 кВт. Окрім основного обладнання, використовується значна кількість допоміжних пристроїв: ротаційні, ярусні, тунельні, череневі та магазинні печі; шафи для попередньої та остаточної розстойки тіста. До підготовчого устаткування належать тістомісильні машини, тістоокруглювачі, закруглювачі та формувальні пристрої для виробництва хліба і булочних виробів, потужністю від 1 до 5 кВт.

У кондитерських цехах застосовується спеціалізоване обладнання, зокрема кремозбивальні та тісторозкатувальні машини з питомою потужністю 1–15 кВт. У ремонтних майстернях використовується дугове зварювання, для якого передбачені однопостові зварювальні трансформатори потужністю 4–15 кВт.

Живлення підприємства може здійснюватися від міських трансформаторних підстанцій, розташованих на відстані 390 м та 235 м відповідно.

Проектом передбачено двозмінний режим роботи з випуском хлібобулочних і кондитерських виробів. Склад борошна місткістю 200 тонн спроектовано у вигляді окремо розташованої споруди, яка прилягає до основної будівлі заводу. Усі процеси зберігання та транспортування борошна автоматизовані; подача борошна здійснюється за допомогою аерозольного транспорту, що працює на стиснутому повітрі, яке виробляється компресорною установкою.

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

## 2. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

### *2.1 Розрахунок силових електричних навантажень в електричних мережах до 1000 В*

Для визначення електричних навантажень у мережах низької напруги спочатку встановлюють повний перелік силових електроприймачів у межах розрахункового вузла та визначають їхні номінальні потужності. Далі обчислюють середні значення активного та реактивного навантаження кожного з приймачів і підсумовують їх для отримання загального середнього навантаження вузла.

Наступним етапом є розрахунок групового коефіцієнта використання потужності, який характеризує співвідношення середнього навантаження до номінального. Одночасно визначається середній коефіцієнт потужності, що враховує фазовий зсув між струмом і напругою.

Після цього розраховують ефективну кількість електроприймачів, яка враховує ймовірність їхньої одночасної роботи. На підставі цієї величини, використовуючи спеціальні графіки або таблиці, знаходять коефіцієнт максимуму, за допомогою якого обчислюють максимальне значення навантаження для електроприймачів зі змінним графіком роботи.

Окремо аналізуються приймачі з постійним графіком — для них визначають сумарну номінальну потужність та середнє навантаження. Остаточне розрахункове навантаження вузла отримують шляхом додавання розрахованого максимального навантаження змінних приймачів до середнього навантаження постійних.

Підсумкові результати розрахунків оформлюються у вигляді табличних даних для подальшого використання в проєктуванні системи електропостачання.

Розрахунок навантажень до 1000 в приведені в таблиці 2.1

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

## 2.2 Розрахунок освітлювальних навантажень

Приклад розрахунок освітлювальних навантажень виконується по питомій потужності для механічної майстерні:

Установлена потужність освітлювальних ЕП, кВт:

$$P_y = p_0 * F \cdot 10^{-3} = 12 * 237 = 2,84$$

де  $p_0 = 12$  – питома потужність освітлювального навантаження майстерні, кВт,  $F$  – площа механічної майстерні,  $m^2$ .

Розрахункове навантаження освітлювальних електроприймачів механічної майстерні, кВт:

$$P_p = K_c * P_y = 0,85 * 2,84 = 2,42$$

де  $K_c$  – коефіцієнт попиту освітлювального навантаження за таблицею 2.2.

Якщо для освітлення використовується люмінесцентні або дугові ртутні лампи, то ними споживається реактивна потужність, яка визначається за формулою:

$$Q_p = P_p * \operatorname{tg} \varphi = 2,42 * 1,73 = 4,18$$

де  $\operatorname{tg} \varphi$  для люмінесцентних ламп  $\cos \varphi = 0,9$ , для ламп ДРІ, які включаються без конденсаторів  $\cos \varphi = 0,5$ .

Розрахунок освітлювальних навантажень приведений в таблиці 2.2.

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

Таблиця 2.1. Розрахунок силових електричних навантажень в мережі до 1000 В

№	Назва вузлів навантаження та груп електроприймачів	Кількість	Встановлена потужність, кВт		m	Kv	cos	tg	Середнє навантаження за зміну		Км	Розрахункова потужність			
			Одного	Сумарна					P <sub>ср</sub> , кВт	Q <sub>ср</sub> , кВАр		P <sub>p</sub> , кВт	Q <sub>p</sub> , кВАр	S <sub>p</sub> , кВА	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	<b>Хлібзавод</b>														
	<b>Головний цех</b>														
	Тістозмшувачі	6	3,0 - 6	26	2	0,2	0,8	0,75	5,10	3,83					
	Діжловертач	6	2,2 - 2	13	1	0,2	0,8	0,75	2,24	1,68					
	Змшувачі	3	3,0 - 3,0	9	1	0,4	0,7	1,169	3,60	4,21					
	Формувачі форми тіста	6	1,1 - 1,1	7	1	0,5	0,7	1,169	3,30	3,86					
	Вентилятори обдуву	3	1,1 - 2	4	2	0,6	0,7	1,02	2,52	2,57					
	Закаточна машина	3	1,7 - 2	5	1	0,3	0,8	0,75	1,53	1,15					
	Робочі столи	6	1,7 - 1,7	10	1	0,4	0,5	1,732	4,08	7,07					
	Росточні шафи	4	1,7 - 3,0	9	2	0,2	0,5	1,732	1,88	3,26					
	Хлібопекарна піч	6	11,0 - 45,0	168	4	0,5	0,9	0,484	84,00	40,68					
	Рогалична машина	4	1,7 - 3,0	9	2	0,5	0,9	0,512	4,23	2,17					
	Машина для виготовл. печення	6	1,1 - 1,1	7	1	0,4	0,9	0,484	2,31	1,12					
	Транспортери	6	4,5 - 4,5	27	1	0,4	0,7	1,02	9,45	9,64					
	Корито Рабіновича	6	1,7 - 1,7	10	1	0,2	0,5	1,732	2,24	3,89					
	Тістовідокремлювач	4	3,0 - 3,0	12	1	0,3	0,5	1,732	3,60	6,24					
	Рециркуляційні вентилятори	4	5,5 - 7,5	26	1	0,7	0,8	0,75	18,20	13,65					
	Транспортери готової продукції	6	1,7 - 1,7	10	1	0,3	0,5	1,732	3,06	5,30					
	Циркуляційні столи	3	1,1 - 1,1	3	1	0,4	0,5	1,732	1,32	2,29					
	Приводи печей	6	2,2 - 2,2	13	1	0,1	0,9	0,62	1,32	0,82					
	<b>Всього по цеху</b>	88	1,1 - 45	369,1	41	0,4	0,8	0,736	153,99	113,40	16	1,3	207,0	113,40	235,99
	<b>Столярня</b>														
	Обрізні станки	3	2,0 - 3	7	1	0,3	0,6	1,518	1,69	2,56					
	Фуговальні станки	2	1,2 - 5	6	4	0,5	0,6	1,333	2,79	3,72					
	Строгальні станки	4	2,0 - 5	14	3	0,6	0,6	1,333	8,40	11,20					
	Прес	2	3,0 - 6	9	2	0,3	0,6	0,65	2,13	1,38					
	<b>Всього по цеху</b>	11	1,2 - 6	35,45	5	0,4	0,6	1,257	15,00	18,86	11	1,4	21,4	18,86	28,50

продовження таблиці 2.1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	<b>Механічна майстерня</b>														
	Металоріжучі станки	5	7,0 - 14	53	2	0,1	0,4	2,291	6,30	14,44					
	Шліфувальні станки	3	4,0 - 7	17	2	0,1	0,8	0,75	2,31	1,73					
	Витяжні зонди	3	0,5 - 2	3	3	0,7	0,8	0,882	1,95	1,72					
	Зварювальні трансформатори	3	3,0 - 3	9	1	0,4	0,5	1,732	3,15	5,46					
	Витяжна вентиляція	4	0,5 - 1	2	1	0,6	0,8	0,75	1,20	0,90					
	<b>Всього по мехдільниці</b>	18	0,5 - 14	83	28	0,2	0,5	1,626	14,91	24,24	12	1,8	26,6	24,24	35,96
	<b>Підготовчий цех(ПЛ 4-6)</b>														
	Тістозмішувачі	6	3,0 - 6	26	2	0,2	0,8	0,75	5,10	3,83					
	Діжкоповертач	6	2,2 - 2	13	1	0,2	0,8	0,75	2,24	1,68					
	Змішувачі	3	3,0 - 3,0	9	1	0,4	0,7	1,169	3,60	4,21					
	Формувачі форми тіста	6	1,1 - 1,1	7	1	0,5	0,7	1,169	3,30	3,86					
	Вентилятори обдуву	3	1,1 - 2	4	2	0,6	0,7	1,02	2,52	2,57					
	Закаточна машина	3	1,7 - 2	5	1	0,3	0,8	0,75	1,53	1,15					
	Робочі столи	6	1,7 - 1,7	10	1	0,4	0,5	1,732	4,08	7,07					
	Росточні шафи	4	3,0 - 3,0	12	1	0,2	0,5	1,732	2,40	4,16					
	Хлібопекарна піч	4	30,0 - 75,0	210	3	0,5	0,9	0,484	105,00	50,85					
	Рогалична машина	4	1,7 - 3,0	9	2	0,5	0,9	0,512	4,23	2,17					
	Машина для виготовл. печення	6	1,1 - 1,1	7	1	0,4	0,9	0,484	2,31	1,12					
	Транспортери	6	4,5 - 4,5	27	1	0,5	0,6	1,333	13,50	18,00					
	Корито Рабіновича	6	1,7 - 1,7	10	1	0,2	0,5	1,732	2,24	3,89					
	Тістовідокремлювач	2	3,0 - 3,0	6	1	0,3	0,5	1,732	1,80	3,12					
	Рециркуляційні вентилятори	7	0,9 - 5,5	22	6	0,7	0,8	0,75	15,61	11,70					
	Транспортери готової продукції	6	1,7 - 1,7	10	1	0,3	0,5	1,732	3,06	5,30					
	Циркуляційні столи	3	1,7 - 1,7	5	1	0,4	0,5	1,732	2,04	3,53					
	Тістоосадачі	4	1,1 - 1,1	4	1	0,3	0,5	1,732	1,32	2,29					
	Приводи печей	6	2,2 - 2,2	13	1	0,1	0,9	0,62	1,32	0,82					
	<b>Всього по цеху №2</b>	91	0,9 - 75	410,2	86	0,4	0,8	0,741	177,20	131,30	11	1,4	250,7	131,30	283,00
	<b>Адмінкорпус</b>	21	0,1 - 2	39,9	20	0,7	0,8	0,75	27,93	20,95	21	1,1	31,4	20,95	37,79
	<b>Кондиторська ділянка</b>														
	Електрошафи	4	1,2 - 8	18	7	0,6	0,9	0,484	11,04	5,35					
	Кремозмішувачі	3	1,1 - 1	3,3	1	0,5	0,8	0,75	1,65	1,24					
	Електропечі	4	3,0 - 40	86	13	0,6	0,9	0,484	51,60	24,99					

продовження таблиці 2.1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	електродуховки	3	1,8	12	21	7	0,5	0,9	0,484	10,35					
	вентилятори	3	0,5	- 5	8	10	0,6	0,8	0,75	4,95					
	<b>Всього по цеху</b>	17	0,5	- 40	136,65	80	0,6	0,9	0,506	79,59	7	1,4	109,2	44,33	117,86
	<b>Компресорна</b>														
	Технологічні насоси	3	4,0	- 4	12	1	0,7	0,8	0,75	7,80					
	Компресори	5	37,0	- 37	185	1	0,7	0,8	0,882	120,25					
	Вентилятори	10	0,8	- 3	19	4	0,7	0,8	0,75	12,35					
	Насоси конденсату	2	2,2	- 2	4	1	0,6	0,7	1,02	2,64					
	<b>Всього по компресорній</b>	20	0,8	- 37	220,4	46	0,6	0,8	0,866	143,04	12	1,2	173,8	123,86	213,45
	<b>Склад готової продукції</b>														
	Транспортери	5	1,0	- 3	10	3	0,6	0,8	0,75	6,00					
	Вентилятори	4	1,0	- 3	8	3	0,7	0,8	0,75	5,20					
	<b>Всього по складу</b>	9	1,0	- 3	18	3	0,7	0,8	0,724	11,20	9	1,2	14,0	9,2	16,7
	<b>Цех очистки</b>														
	Сиплос мучний	10	1,1	- 1	11	1	0,2	0,5	1,732	1,65					
	Живителі муки	4	1,1	- 1	4	1	0,2	0,5	1,985	0,88					
	Ваги ДМ-100	4	1,2	- 2	5	1	0,6	0,8	0,75	3,24					
	Просіювачі	4	3,0	- 3	12	1	0,6	0,7	1,02	7,20					
	Шлюзові затвори	4	3,0	- 3	12	1	0,3	0,7	1,02	3,60					
	Аераційна установка	6	9,0	- 9	54	1	0,5	0,6	1,333	24,30					
	<b>Всього по цеху очистки</b>	32	1,1	- 9	98,8	8	0,4	0,6	1,234	40,87	22	1,3	52,7	50,45	72,92
	<b>Макаронне відділення</b>														
	Макаронні машини	5	3,0	- 3	15	1	0,1	0,5	1,732	2,10					
	Повітряна завіса	3	5,5	- 6	17	1	0,7	1	0,329	11,55					
	сушильні шафи	3	2,0	- 4	9	2	0,6	0,9	0,484	5,40					
	Вентилятори	3	2,2	- 2	7	1	0,6	0,8	0,75	3,96					
	<b>Всього по МВ</b>	14	2,0	- 6	47,1	3	0,5	0,9	0,566	23,01	14	1,3	30,2	13,02	32,89
	<b>Дріжджове відділення</b>														
	Живителі заварочних машин	4	1,0	- 1	4	1	0,1	0,5	1,985	0,50					
	Заварочні машини	4	3,0	- 3	12	1	0,4	0,7	1,169	4,20					
	Технологічні насоси	12	3,0	- 3	36	1	0,7	0,8	0,75	23,40					
	Сантехнічна вентиляція	6	1,1	- 6	20	5	0,6	0,7	1,02	11,88					
	Дріжджезмішувачі	4	1,1	- 2	7	2	0,4	0,8	0,75	2,64					
	Насоси перекачки дріжджей	4	0,5	- 2	5	4	0,6	0,8	0,882	3,24					

продовження таблиці 2.1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	<b>Всього по відділенню</b>	34	0,5 - 6	84	11	0,5	0,8	0,881	45,86	40,42	31	1,2	53,7	40,42	67,18
	<b>Сахарне відділення</b>														
	Дробарки сухарів	4	5,0 - 8	25	2	0,4	0,8	0,75	8,75	6,56					
	Сухарорізки	3	2,2 - 2	7	1	0,4	0,9	0,62	2,31	1,43					
	Електропечі	2	15,0 - 54	69	4	0,5	0,9	0,484	31,05	15,04					
	Електроприводи печей	2	1,7 - 3	4	1	0,7	0,8	0,75	2,94	2,21					
	Варочні агрегати	5	1,5 - 2	8	1	0,5	0,7	1,169	3,38	3,95					
	Преси	3	0,5 - 2	4	4	0,3	0,6	1,333	0,94	1,25					
	Тістозмішувачі	3	1,5 - 3	7	2	0,3	0,6	1,333	2,03	2,70					
	Вентилятори	4	2,5 - 6	16	2	0,7	0,8	0,75	10,40	7,80					
	Живителі	3	1,1 - 2	4	1	0,4	0,6	1,333	1,56	2,08					
	<b>Всього по цеху</b>	29	0,5 - 54	142,7	108	0,4	0,8	0,679	63,35	43,01	5	1,7	105,6	47,31	115,71
	<b>Котельня</b>														
	насоси	8	3,0 - 8	44	3	0,7	0,8	0,75	28,60	21,45					
	димосмок	4	3,0 - 10	26	3	0,7	0,8	0,75	16,90	12,68					
	Сантехнічна вентиляція	9	5,5 - 6	50	1	0,7	0,8	0,75	32,18	24,13					
	вентилятори	10	0,5 - 3	18	6	0,6	0,8	0,75	10,50	7,88					
	<b>Всього по котельній</b>	31	0,5 - 10	137	20	0,6	0,8	0,75	88,18	66,13	27	1,1	100,2	66,13	120,08
	<b>Склад</b>														
	Вентилятори	3	4,5 - 10	22	2	0,6	0,8	0,75	13,05	9,79					
	Кран з ПВ%=	3	10,0 - 10	30	1	0,2	0,5	1,732	6,00	10,39					
	Транспортери	2	2,0 - 10	12	5	0,5	0,7	1,169	6,00	7,01					
	<b>Всього по складу</b>	8	2,0 - 10	63,75	5	0,4	0,7	1,086	25,05	27,19	8	1,6	38,9	29,91	49,11
	<b>Всього на шинях 0,4 кВ.</b>	423	0,1 - 75	1886	750	0,5	0,8	0,794	909	722	50	1,2	1048,3	721,5	1272,66

**Таблиця 2.2. Розрахунок освітлювальних електричних навантажень в мережі 0,4 кВ**

№	Найменування	F, м <sup>2</sup>	ρ <sub>о</sub> , Вт/м <sup>2</sup>	P <sub>в</sub> , кВт	K <sub>с</sub>	tgφ	P <sub>р</sub> , кВт	Q <sub>р</sub> , квар	S <sub>р</sub> , кВА
1	Головний цех(ПЛ 1-3)	1040	12	12,5	0,9	1,73	11,2	19,4	22,4
2	Столярня	80	14	1,2	0,9	1,73	1,1	1,8	2,1
3	Механічна майстерня	237	12	2,8	0,85	1,73	2,4	4,2	4,8
4	Підготовчий цех(ПЛ 4-6)	1040	14	14,6	0,9	1,73	13,1	22,7	26,2
5	Адмінкорпус	1070	18	19,4	0,95	1,73	18,5	32,0	36,9
6	Кондиторська ділянка	400	16	6,2	0,95	1,73	5,9	10,3	11,9
7	Компресорна	170	8	1,4	0,85	1,73	1,2	2,0	2,3
8	Склад готової продукції	80	6	0,5	0,85	1,73	0,4	0,7	0,9
9	Цех очистки	300	6	1,8	0,85	1,73	1,5	2,7	3,1
10	Макаронне відділення	240	14	3,3	0,85	1,73	2,8	4,8	5,6
11	Дріжджове відділення	470	14	6,6	0,8	1,73	5,2	9,1	10,5
12	Сахарне відділення	650	14	9,1	0,85	1,73	7,7	13,3	15,4
13	Котельня	230	8	1,9	0,8	1,73	1,5	2,6	3,0
14	Склад	80	6	0,5	0,6	1,73	0,3	0,5	0,6
15	Гараж	8	1,9	0,6	1,73	1,1	2,0	2,3	2,28
16	Прохідна	6	0,2	0,6	1,73	0,1	0,2	0,3	0,28
17	Магазин	14	0,5	0,6	1,73	0,3	0,5	0,6	0,57
18	Вагова	6	0,8	0,6	1,73	0,5	0,8	1,0	0,96
	Територія заводу	229000	0,2	4,6	0,5	0,48	2,3	1,1	2,5
	Всього						77,2	130,6	151,7

### ***2.3 Розрахунок електричних навантажень в силових мережах вище 1000 В***

Розрахунок електричних навантажень для мереж напругою понад 1000 В на підприємстві виконується із застосуванням методу впорядкованих діаграм. У першу чергу визначають загальну номінальну потужність силових електроприймачів, що підключені до відповідної трансформаторної підстанції.

										Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата						16

При цьому враховуються як споживачі напругою до 1000 В, так і ті, що працюють при вищих рівнях напруги.

Далі обчислюються середні значення активного та реактивного навантаження, на основі яких визначається груповий коефіцієнт використання потужності. Це дозволяє оцінити ступінь ефективності використання електроприймачів у заданому режимі.

Наступним етапом є розрахунок ефективного числа працюючих електроприймачів, що дозволяє перейти до визначення коефіцієнта максимуму та відповідного розрахункового електричного навантаження.

Після цього додаються освітлювальні навантаження, які враховуються окремо від основних силових, з урахуванням їхньої специфіки.

Передзавершальним етапом є включення до загального енергетичного балансу втрат потужності в силових трансформаторах. Визначення цих втрат проводиться за стандартними формулами, які враховують навантажувальні та холості втрати трансформатора залежно від його технічних характеристик.. Втрати в трансформаторах визначаються:

$$\Delta P = n (\Delta P_{xx} + \Delta P_{kз} \cdot K_3^2) \quad (2.15)$$

$$\Delta Q = n \left( \frac{I_{xx}}{100} \cdot S_n + \frac{U_k}{100} \cdot S_n \cdot K_3^2 \right), \quad (2.16)$$

де  $n$  – число трансформаторів;

$\Delta P_{xx}, \Delta P_{kз}$  – втрати відповідно  $xx$  і  $kз$ , кВт;

$I_{xx}$  – струм ; %;

$U_k$  – напруга к.з, %;

$K_3$  – коефіцієнт завантаження трансформатора;

Завершальним етапом є підсумок по ТП середніх силових навантажень, освітлювальних навантажень і втрат в трансформаторах.

Розрахунок електричних навантажень в силових мережах вище 1000 В наведені у таблиці 2.3.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		17

Таблиця 2.3. Розрахунок силових електричних навантажень в мережі 10 кВ

№	Назва вузлів навантаження та груп електроприймачів	Кількість ел. споживачів	Встановлена потужність, кВт		m	Кв	cos	tg	Середнє навантаження за зміну		ne	Км	Розрахункова потужність		
			Одного	Сумарна					Р <sub>ср</sub> , кВт	Q <sub>ср</sub> , квар			Рр, кВт	Qр, квар	Sp, кВА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	ТП№1														
1	Головний цех														
	сілова	88	1,1 - 45	369,1	41	0,42	0,8	0,7	154	113	16	1,3	207	113	236
	освітлювальна												11	19	
	Цех очистки														
	сілова	32	1,1 - 9	98,8	8	0,41	0,6	1,2	41	50	22	1,3	53	51	73
	освітлювальна												2	3	
	Склад														
	сілова	8	2 - 10	63,75	5	0,39	0,7	1,1	25	27	8	1,6	39	30	49
	освітлювальна												5	9	
	Всього по ТП№1														
	сілова	128	1,1 - 45	531,65	40,9	0,41	0,8	0,9	220	191	24	1,3	280	191	339
	освітлювальна												18	31	
	Всього												298	222	372
	БСК													-225	
	З урахуванням БСК												298	-3	
	Втрати в трансформаторі Sn.tr= 400	1											4	22	
	Всього на шинах 10 кВ ТП№1												302	244	389
	ТП№2														
	Адмінкорпус														
	сілова	21	0,1 - 2	39,9	20	0,7	0,8	0,8	28	21	21	1,1	31	21	38
	освітлювальна												19	32	
	Компресорна														
	сілова	20	0,8 - 37	220,4	46	0,65	0,8	0,9	143	124	12	1,2	174	124	214
	освітлювальна												1	2	
	Дріжджове відділення														
	сілова	34	0,5 - 5,5	84	11	0,55	0,8	0,9	46	40	31	1,2	54	40	67
	освітлювальна												5	9	

продовження таблиці 2.4.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	Всього по ТП№ 2														
	силова	75	0,1 - 37	344,3	370	0,63	0,8	0,9	217	185	19	1,2	255	185	315
	освітлювальна												25	43	
	Всього												280	228	361
	БСК													-225	
	З урахуванням БСК												280	3	
	Втрати в трансформаторі Sn.тр= 400	1											4	21	
	Всього на шинях 10 кВ ТП№ 2												283	249	377
	ТП№3														
	Підготовчий цех														
	силова	88	1,1 - 45	369,1	41	0,42	0,8	0,7	154	113	16	1,3	207	113	236
	освітлювальна												11	19	
	Макаронне відділення														
	силова	14	2 - 5,5	47,1	3	0,49	0,9	0,6	23	13	14	1,3	30	13	33
	освітлювальна												3	5	
	Всього по ТП№3														
	силова	102	1,1 - 45	416,2	40,9	0,43	0,8	0,7	177	126	18	1,3	233	126	265
	освітлювальна												14	24	
	Всього												247	151	289
	БСК													-167	
	З урахуванням БСК												247	-16	
	Втрати в трансформаторі Sn.тр= 400	1											3	20	
	Всього на шинях 10 кВ ТП№3												250	170	302
	ТП№ 4														
	Сахарне відділення														
	силова	29	0,5 - 54	142,7	108	0,44	0,8	0,7	63	43	5	1,7	106	47	116
	освітлювальна												8	13	
	Всього														
	Кондиторська ділянка														
	силова	17	0,5 - 40	136,65	80	0,58	0,9	0,5	80	40	7	1,4	109	44	118
	освітлювальна												6	10	
	Макаронне відділення														

продовження таблиці 2.4.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	сілова	14	2 - 5,5	47,1	3	0,49	0,9	0,6	23	13	14	1,3	30	13	33
	освітлювальна												3	5	
	Склад готової продукції														
	сілова	9	1 - 3	18	3	0,66	0,8	0,7	11	8	9	1,2	14	9	17
	освітлювальна												0	1	
	Столярня														
	сілова	11	1,2 - 5,5	35,45	5	0,42	0,6	1,3	15	19	11	1,4	21	19	29
	освітлювальна												1	2	
	Всього														
	Всього по ТП№ 4														
	сілова	80	0,5 - 54	379,9	108	0,51	0,8	0,6	192	124	14	1,3	250	124	279
	освітлювальна												15	25	
	Всього												264	149	303
	БСК													-150	
	З урахуванням БСК												264	-1	
	Втрати в трансформаторі Sn.тр= 400	1											3	20	
	Всього на шинях 10 кВ ТП№ 4												268	169	317
	ТП№ 5														
	Механічна майстерня														
	сілова	18	0,5 - 14	83	28	0,18	0,5	1,6	15	24	12	1,8	27	24	36
	освітлювальна												2	4	
	Котельня														
	сілова	31	0,5 - 10	137	20	0,64	0,8	0,8	88	66	27	1,1	100	66	120
	освітлювальна												2	3	
	Гараж														
	сілова														
	освітлювальна														
	Всього по ТП№ 5												1	2	
	сілова	49	2,5 - 14	220	5,6	0,47	0,8	0,9	103	90	31	1,2	125	90	154
	освітлювальна												5	9	
	Всього												130	99	163
	БСК													-150	

продовження таблиці 2.4.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	З урахуванням БСК												130	-51	
	Втрати в трансформаторі Sn.тр= 160	1											2	10	
	ТПП№ 5												132	109	171
	Всього на шинях 10 кВ														
	Всього по заводу														
	силова	423	0,1 - 75	1886,05	750	0,48	0,8	0,8	909	722	50	1,2	1048	722	1273
	освітлювальна												77	131	
	Всього												1126	852	1412
	Компенсуючі пристрої													-917	
	Всього з врахуванням КП-0,4												1126	-65	1127
	Втрати в трансформаторах	5											16	92	
	Всього по заводу												1142	28	1142
	Компенсуючі пристрої 10 кВ														
	Всього на шинях 10 кВ												1142	28	1142
													tgφ <sub>сис</sub> =	0,15	
													tgφ=	0,02	

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

### 3. ПОБУДОВА ГРАФІКІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ПІДПРИЄМСТВА

У роботі необхідно побудувати графіки електричних навантажень для активної та реактивної потужності в зимовий і літній періоди, а також сформуванати річний графік навантаження за тривалістю. Для підприємства харчової промисловості, використовуються типові добові графіки споживання активної та реактивної потужності. При побудові літніх графіків навантаження значення активної й реактивної потужності зменшуються на 15%, що враховує сезонне зниження енергоспоживання.

На основі графіків навантаження за тривалістю визначаються основні характеристичні параметри: річне споживання активної та реактивної енергії, час використання максимального навантаження, а також тривалість періоду найбільших втрат.

Результати розрахунків наведено в таблицях 3.1 та 3.2, а відповідні графіки зображено на рисунках 3.1–3.5. Для обчислення річних витрат активної та реактивної енергії прийнято наступні вихідні дані: у зимовий період – 147 робочих і 65 вихідних днів, у літній – 105 робочих і 48 вихідних.

Побудова графіків і розрахунки річних енергетичних витрат здійснюються з використанням програмного пакета MS Office XP.

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

## Програма для побудови графіків електричних навантажень

$P =$                     1146                    кВт  
 $Q =$                     954                    кВАр  
 $S =$                     1491                    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:

$W_{зр} =$                     3361697

Річна витрата реактивної електричної енергії, кВАр\*год:

$V_{зр} =$                     2820186

Літні                    Річна витрата активної електричної енергії, кВт\*год:

$W_{лр} =$                     2060469

Річна витрата реактивної електричної енергії, кВАр\*год:

$V_{лр} =$                     1712256

Вихідні дні:

Зимові                    Річна витрата активної електричної енергії, кВт\*год:

$W_{зв} =$                     443332

Річна витрата реактивної електричної енергії, кВАр\*год:

$V_{зв} =$                     429729

Літні                    Річна витрата активної електричної енергії, кВт\*год:

$W_{лв} =$                     278276

Річна витрата реактивної електричної енергії, кВАр\*год:

$V_{лв} =$                     269738

Загальна річна витрата активної електричної енергії, кВт\*год:

$W_{лр} = W_{зр} + W_{лр} + W_{зв} + W_{лв} =$                     6143772

Загальна річна витрата реактивної електричної енергії, кВАр\*год:

$V_{лв} = V_{зр} + V_{лр} + V_{зв} + V_{лв} =$                     5231909

Час використання максимального навантаження, год:

$T_m =$                     5411

Час максимальних втрат, год:

$\tau_m =$                     3875

Виводити на друк ?

Ok

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		23

Таблиця 3.1. Активне навантаження підприємства

Години	Робочий період		Вихідний період	
	Зима	Літо	Зима	Літо
1	745	633	401	341
2	745	604	401	341
3	745	604	401	341
4	745	604	401	341
5	802	682	401	341
6	974	799	344	292
7	1146	974	287	244
8	1146	974	287	244
9	1032	926	229	195
10	1032	926	229	195
11	974	828	229	195
12	974	828	229	195
13	974	828	229	195
14	974	828	229	195
15	974	828	229	195
16	1032	926	229	195
19	1146	974	229	195
18	1146	974	229	195
19	1032	926	229	195
20	1032	896	229	195
21	1032	896	229	195
22	974	799	229	195
23	745	682	287	244
24	745	682	401	341
<i>Wi</i>	22869	19624	6820	5797

Таблиця 3.2. Реактивне навантаження без врахування КП

Години	Робочий період		Вихідний період	
	Зима	Літо	Зима	Літо
1	592	503	363	308
2	592	503	363	308
3	592	503	363	308
4	592	503	363	308
5	668	568	363	308
6	782	665	286	243
7	954	811	239	203
8	954	811	239	203
9	906	770	239	203
10	906	770	239	203
11	811	689	239	203

продовження таблиці 3.2.

Години	Робочий період		Вихідний період	
	Зима	Літо	Зима	Літо
12	811	689	239	203
13	811	689	239	203
14	811	689	239	203
15	811	689	239	203
16	906	770	239	203
19	954	811	239	203
18	954	811	239	203
19	906	770	239	203
20	878	746	239	203
21	878	746	239	203
22	782	665	239	203
23	668	568	334	284
24	668	568	363	308
<i>Wi</i>	19185	16307	6611	5620

За даними в таблицях 3.1-3.2 побудовані графіки електроспоживання хлібзаводу. Добові графіки споживання приведені на рис. 3.1-3.4. На рисунку 3.5. приведений річний графік.

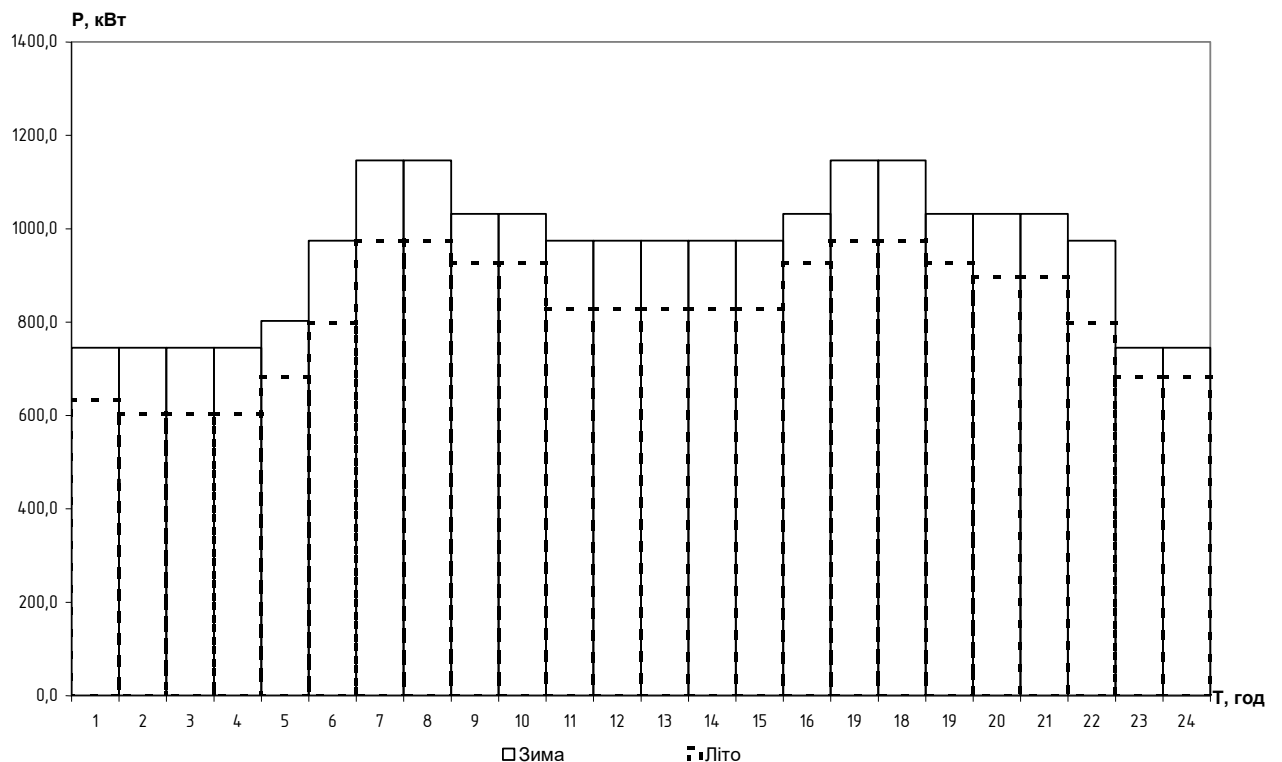


Рис. 3.1 Споживання активної потужності в робочий день

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

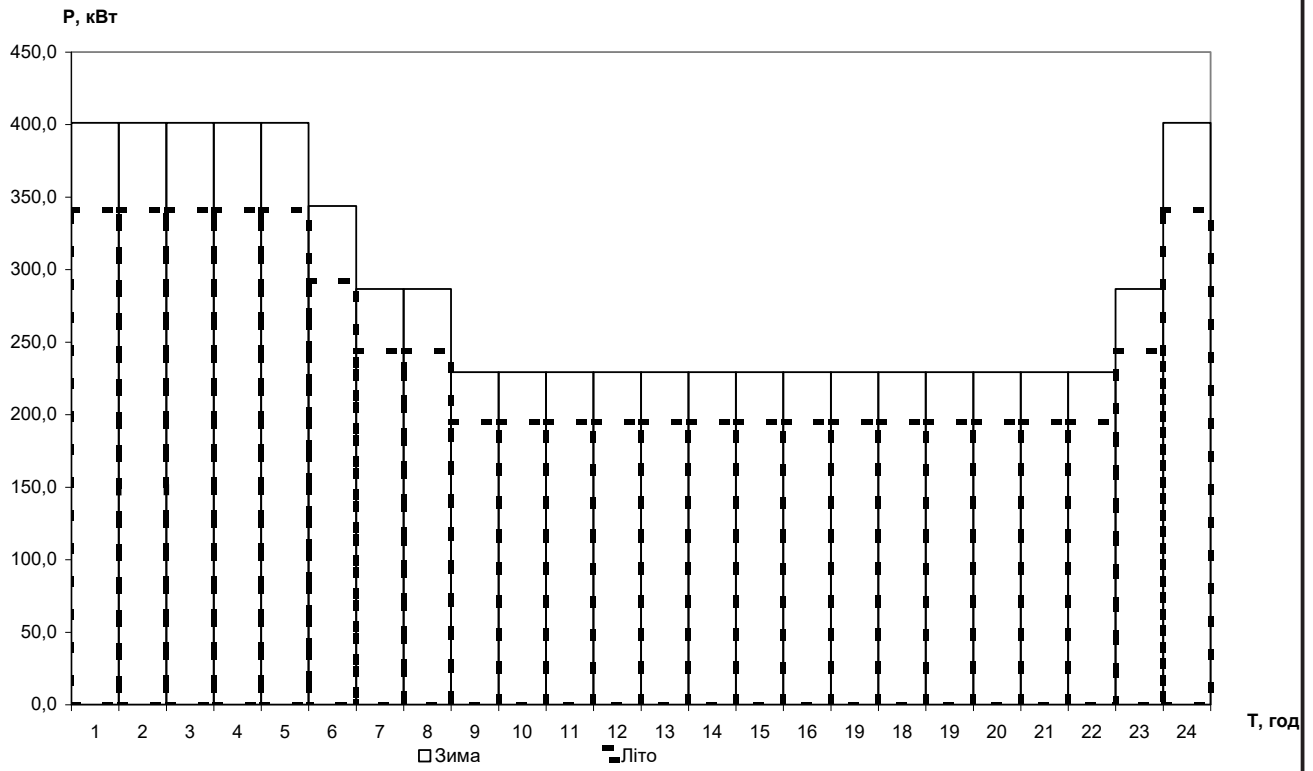


Рис. 3.2 Споживання активної потужності у вихідний день

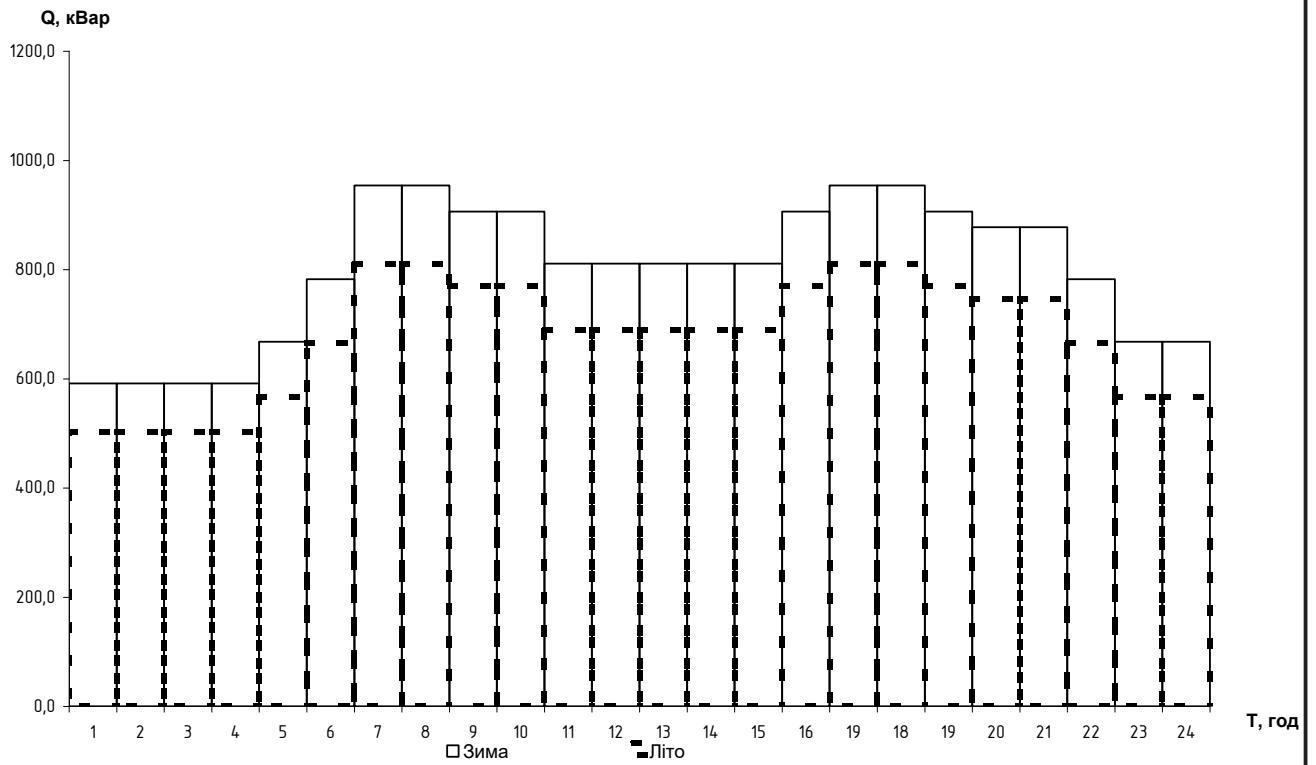


Рис. 3.3 Споживання реактивної потужності в робочий день

					Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата	26

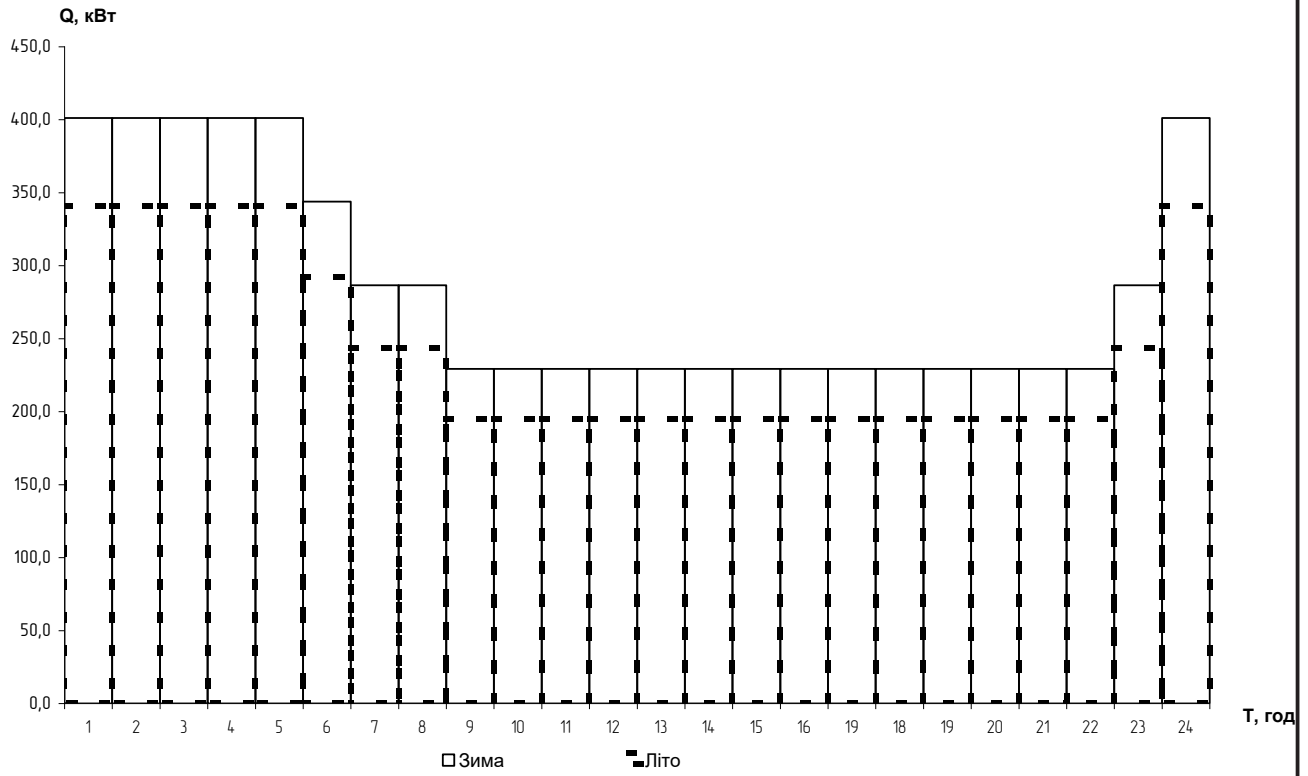


Рис. 3.4 Споживання реактивної потужності у вихідний день

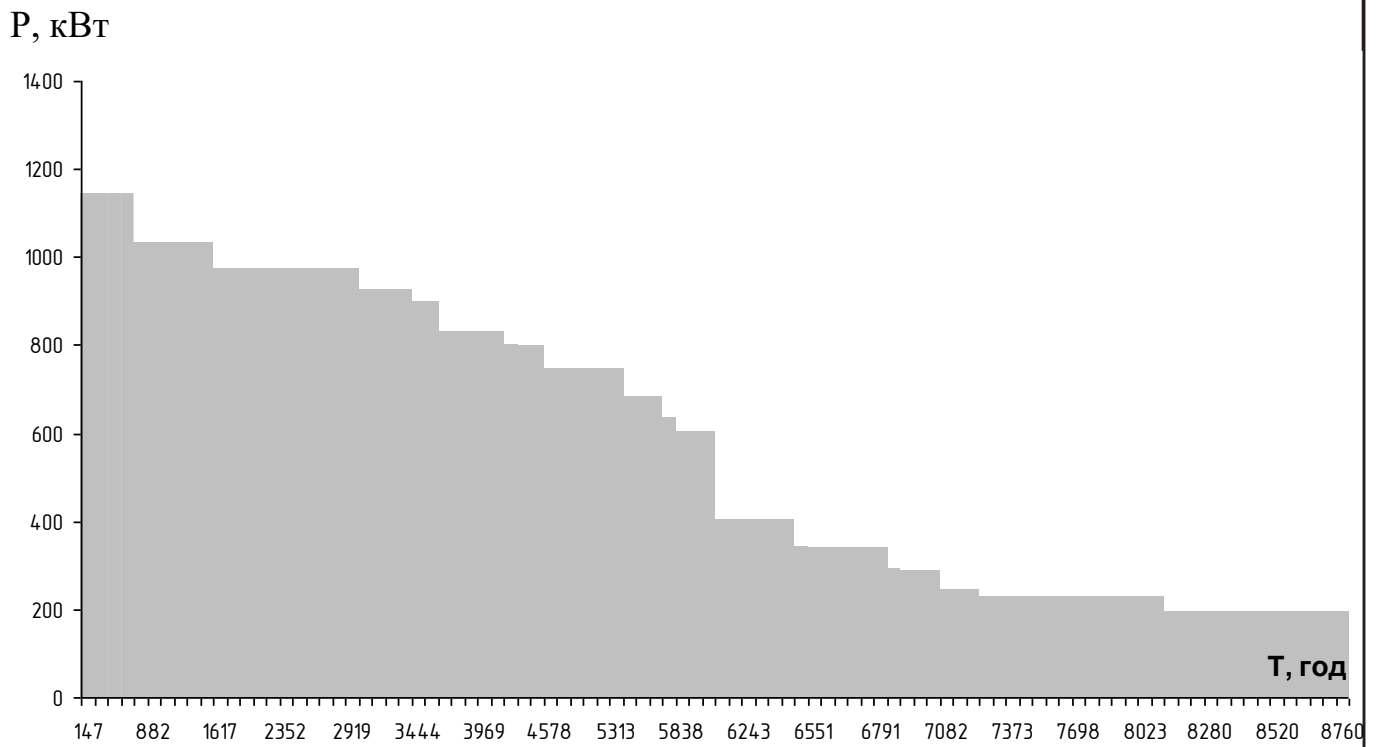


Рис. 3.5 Річний графік навантаження за тривалістю

					Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата	27

#### 4. ПОБУДОВА КАРТОГРАМИ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Проектування системи електропостачання підприємства передбачає оптимальне розміщення головної заводської та цехових трансформаторних підстанцій на території об'єкта. Для визначення доцільного їх розташування на генеральному плані підприємства будується картограма навантажень, яка відображає розподіл електричних споживачів у вигляді кругів. Площа кожного круга в заданому масштабі відповідає розрахунковому електричному навантаженню цеху.

На основі картограми навантажень, яка також включає координати розміщення цехів на генплані, визначається центр електричних навантажень (ЦЕН) — точка, що характеризує середнє положення усіх споживачів електроенергії підприємства.

Розташування розподільчої підстанції доцільно обирати зі зміщенням відносно ЦЕН у напрямку до джерела живлення. Такий підхід дозволяє мінімізувати втрати електроенергії, запобігаючи зворотному потоку потужності та скорочуючи довжину кабельних ліній.

Картограма навантажень подана на кресленні генерального плану підприємства, що використовується як основа для визначення розташування центру електричних навантажень.

Координати центру електричних навантажень

$$X_0 = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot x_i}{\sum_{i=1}^n P_i} = 146452/1125 = 130 \text{ м}$$
$$Y_0 = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot y_i}{\sum_{i=1}^n P_i} = 132654/1125 = 117 \text{ м}$$

З урахуванням результатів розрахунків, напрямку живлення від енергосистеми та розташування високовольтного обладнання, встановлено, що отримане положення центру електричних навантажень (ЦЕН) за координатами розрахунку припадає на межі виробничої зони. Оскільки

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		28

розміщення підстанції у цій зоні є недопустимим з технічних і безпекових міркувань, положення ЦЕН коригується — його координати зміщуються у напрямку джерела живлення. Такий підхід дозволяє забезпечити технічну доцільність та енергоефективність при розміщенні головної знижувальної підстанції.

Уточнені координати ЦЕН мають наступні значення:

$$X_0 = 150 \text{ м}; Y_0 = 117 \text{ м}$$

Дані координати приймаємо, для подальших розрахунків в роботі.

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата					29

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

№ по плану	Найменування	Ррсил, кВт	Рросв, кВт	Рр, кВт	m	R, мм	a	x, м	y, м	P*x, кВт м	P*y, кВт м
1	Цех №1	207	12	219	0,3	17	20	95	80	20846	17555
2	Столярня	21	1	23	0,3	5	19	145	150	3268	3380
3	Механічна майстерня	27	3	29	0,3	6	35	57	120	1676	3529
4	Цех №2	251	15	265	0,3	18	20	125	133	33157	35279
5	Адмінкорпус	31	19	51	0,3	8	138	125	65	6361	3308
6	Кондиторська ділянка	109	6	115	0,3	12	19	135	135	15585	15585
7	Компресорна	174	1	175	0,3	15	3	154	54	26980	9461
8	Склад готової продукції	14	1	14	0,3	4	13	100	155	1446	2242
9	Цех очистки	53	2	54	0,3	12	80	65	4357	3540	3540
10	Макаронне відділення	30	3	33	0,3	7	35	135	110	4519	3682
11	Дріжджове відділення	54	7	60	0,3	9	39	125	90	7527	5419
12	Сахарне відділення	106	9	115	0,3	12	28	115	120	13187	13760
13	Котельня	100	2	102	0,3	7	43	125	4390	12761	12760,55
14	Склад	39	0	39	0,3	4	80	80	3154	3154	3154,20
	Всього по заводу	1048	77	1126						146453	132654

X<sub>0</sub>= 130

Y<sub>0</sub>= 117

## 5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ СХЕМ ЗОВНІШНЬОГО ТА ВНУТРІШНЬОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Вибір рівня напруги живильних та розподільчих мереж визначається сукупністю факторів, серед яких: величина споживаної потужності, віддаленість підприємства від джерела живлення, номінальна напруга цього джерела, а також одинична потужність електроприймачів.

Схема зовнішнього електропостачання обирається з урахуванням вимог надійності та економічної доцільності. Рівень надійності схеми визначається відповідно до категорії електроприймачів підприємства. Якщо серед них наявні споживачі I категорії, система електропостачання повинна мати не менше двох незалежних джерел живлення.

На практиці кількість технічно можливих варіантів електропостачання зазвичай обмежується двома або трьома, що залежить від доступних рівнів напруги в найближчих точках приєднання до енергосистеми.

Розглянуті варіанти енергопостачання представлені на рисунку 5.1. Оптимальний варіант обирається на основі порівняльного аналізу приведених витрат, розрахованих для кожної альтернативної схеми:

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

Живлення заводу доцільно здійснювати від трансформаторної підстанції ТП, яка приєднана підстанції енергосистеми. Оскільки безпосереднє проектування схеми електропостачання заводу від підстанції енергосистеми є технічно необґрунтованим, для подальших розрахунків приймається варіант живлення від міської розподільчої мережі напругою 10 кВ через ТП-2.

Для оцінки ефективності електропостачання розглядаються два варіанти:

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

Варіант 1 — без встановлення розподільчого пункту (РП), із живленням заводу безпосередньо магістральними лініями від ТП-277;

Варіант 2 — із встановленням РП-10 кВ, що забезпечує централізоване розподілення живлення на території заводу.

2 варіант – живлення заводу з встановленням РП-10 кВ

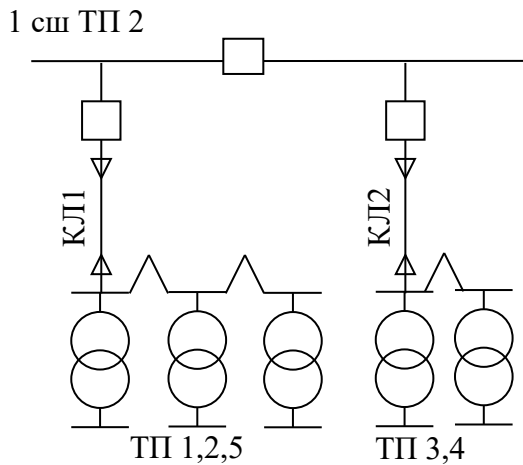


Рис 5.1.(а) Перший варіант електропостачання

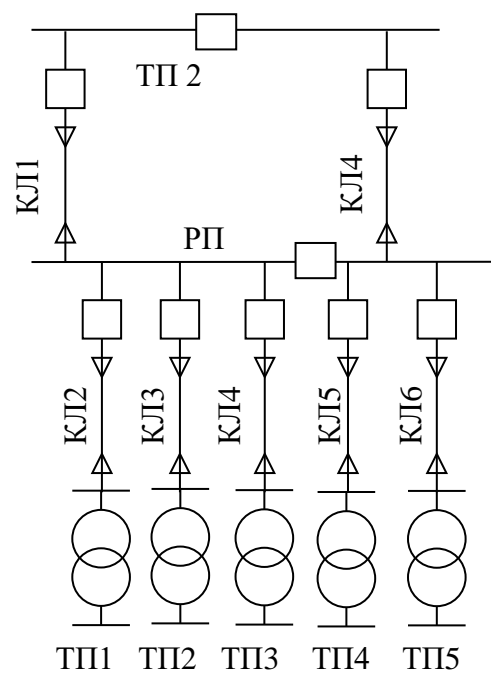


Рис 5.1(б) Другий варіант електропостачання

Варіант №1.

Живлення споживачів здійснюється за кабельними лініями 10 кВ безпосередньо від шин ТП- 277 напругою  $U_H = 10$  кВ; віддаленість від заводу  $l = 0,23$  км.

$$I_p = \frac{S_p}{N \cdot \sqrt{3} U_n} = \frac{1320}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 35,4 \text{ А}$$

Площа перерізу кабельної лінії:

$$F_{ек} = I_p / J_{ек} = 35,41 / 1,4 = 25,33 \text{ мм}^2$$

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

де  $j_{ек} = 1,4 \text{ А/мм}^2$  – економічна щільність струму приймається при  $T_m = 3875$  год.

Приймаємо стандартний переріз  $35 \text{ мм}^2$  кабеля. Приймаємо кабель марки ААШв – 10 (3 х 35). Кількість  $n = 1$

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

$$I_{доп}' = I_{доп} \cdot K_{п} = 115 \cdot 1 = 115 \text{ А};$$

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

Коефіцієнт попереднього завантаження кабеля

$$K_з = I_p / (n \cdot I_{доп}') = 35,4 / (1 \cdot 115) = 0,3$$

При виході зі строю однієї лінії, інша забезпечить живлення навантаження:

$$I_{авар}' = n \cdot I_{доп}' \cdot K_{а.п} = 1 \cdot 115 \cdot 1,4 = 155 > I_{р.ав} = 72 \text{ А}$$

Живлення забезпечуватиметься нормально.

Втрати енергії в лінії:

$$\Delta \mathcal{E}_1 = \Delta P_{л} \tau = 0,35 \cdot 3875 = 1356 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

$$\Delta P_{л} = \Delta P_{1км} \cdot l_{\Sigma} \cdot K_з^2 = 8 \cdot 0,4 \cdot 0,3^2 = 0,35279 \text{ кВт}$$

Сумарна довжина кабельної лінії

$$l_{\Sigma} = l \cdot n_{л} = 2 \cdot 0,2 = 0,4 \text{ км}$$

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

$$C_{втрат} = \Delta \mathcal{E}_1 \cdot C_0 = 1356 \cdot 10,32 = 13996 = 13,9 \text{ тис. грн.}$$

де  $C_0$  – вартість 1 кВт·год електроенергії; згідно з діючими тарифами  $C_0 = 10,32$  грн/кВт·год.

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

Розрахунок інших елементів схеми приведеній в таблицях 5.1-5.7

Таблиця 5.1. Розрахунок перерізу ліній магістральних ліній

№ КЛ	Sp, кВА	n	Ip,	Ip.ав, А	Fек, мм <sup>2</sup>	Fст, мм <sup>2</sup>	Марка кабеля	Ідоп, А	Кз
ТП№2- ТП2	1232	1	72	142,43	50,9	70	ААШв(3х 70 )	165	0,3
ТП2- ТП1	840	1	48,6	97,11	34,7	35	ААШв(3х 35 )	115	0,42
ТП1- ТП5	112	1	6,5	12,95	4,6	35	ААШв(3х 35 )	115	0,055
ТП№2- ТП3	1120	1	64,7	129,48	46,2	50	ААШв(3х 50 )	140	0,45
ТП3- ТП4	560	1	30,8	64,74	22	35	ААШв(3х 35 )	115	0,3

Таблиця 5.2. Розрахунок втрат електроенергії в схемі електропостачання

№ КЛ	Sp, кВА	n	Ip,	Кз	l,км	ΔРл, кВт	ΔЕл, кВт*год	Со, грн/кВт	С <sub>втр</sub> , тис. грн
ТП№2- ТП2	1482	1	72	0,3	0,23	20	77268	10,32	797,4
ТП2- ТП1	840	1	49	0,42	0,01	16	61070	11,32	691,31
ТП1- ТП5	112	1	6	0,055	0,04	0,3	1085	12,32	13,367
ТП№2- ТП3	1120	1	65	0,45	0,23	21	80988	13,32	1078,8
ТП3- ТП4	560	1	31	0,3	0,03	6,4	24606	14,32	352,36
Всього							245016		2933,2

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

Таблиця 5.3. Розрахунок перерізу кабельних ліній в схемі з РП

№ КЛ	Sp, кВА	n	Ip,	Ip.a в, А	Fек, мм2	Fст, мм2	Марка кабеля	Iдоп, А	Kз
ТП№2 - РП	1481	1	86	171	61	70	ААШв(3х70)	165	0,5
РП-ТП1	389	1	22	45	16	35	ААШв(3х35)	115	0,2
РП-ТП2	377	1	22	44	16	35	ААШв(3х35)	115	0,2
РП-ТП3	302	1	17	35	12	35	ААШв(3х35)	115	0,2
РП-ТП4	317	1	17	24	12	35	ААШв(3х35)	115	0,2
РП-ТП5	171	1	9	13	7	35	ААШв(3х35)	115	0,1

Таблиця 5.4. Розрахунок втрат електроенергії в схемі електропостачання з РП

№ КЛ	Sp, кВА	n	Ip,	Kз	l,км	ΔРл, кВт	ΔЕл, кВт*год	Со, грн/кВт	С <sub>втр</sub> , тис. грн
ТП№2РП	1481	1	86	0,5	0,2	29	111654	10,32	1152,3
РП-ТП1	389	1	22	0,2	0,0	3	13067	10,32	134,85
РП-ТП2	377	1	22	0,2	0,1	3	12330	10,32	127,25
РП-ТП3	302	1	17	0,2	0,1	2	7905	10,32	81,58
РП-ТП4	317	1	17	0,2	0,03	2	7874	10,32	81,26
РП-ТП5	171	1	9	0,1	0,1	1	2290	10,32	23,634
							155120		1600,8

Таблиця 5.5. Розрахунок капітальних вкладень по варіантам

№ вар.	Найменування елемента схеми	Одиниця	Кількість	Вартість одиниці, тис.грн	Вартість всього, тис.грн	
I	Шафи КРУ з вимикачами 10 кВ, що встановлюються на ТП	шт	2	225	450	
	Кабельні лінії:			0	0	
	ААШв (3х70)	км	0,23	230	52,9	
	ААШв (3х50)	км	0,23	210	48,3	
	ААШв (3х35)	км	0,08	190	15,2	
	Вимикачі навантаження	шт	6	185	1110	
	Траншея	км	0,6	132	79,2	
	Всього			0	1755,6	
	II	Шафи КРУ з вимикачами 10 кВ, що встановлюються на РП	шт.	8	225	1800
		Трансформатори напруги на РП			0	0
Кабельна лінія:				0	0	
ААШв (3х70)		км	0,23	230	52,9	
ААШв (3х35)			0,24	190	45,6	
Траншея		км	0,48	132	63,36	
Всього				0	1961,9	

Таблиця 5.6. Розрахунок експлуатаційних витрат

№	Найменування елемента схеми	К <sub>ж</sub> , тис. грн.	Р <sub>а<sub>ж</sub></sub> , %	С <sub>а<sub>ж</sub></sub> , тис. грн.	Р <sub>е<sub>ж</sub></sub> , %	С <sub>е<sub>ж</sub></sub> , тис. грн.	С <sub>ж</sub> , тис. грн.
I	Шафи КРУ 10 кВ, що встановлюються на ЦРП	450	15	67,5	5	22,5	90
	Кабельні лінії з врахуванням траншеї	195,6	5	9,78	5	9,78	19,56
	Вимикачі навантаження	1110	15	166,5	5	55,5	222
	Всього			0		0	331,56
II	Шафи КРУ 10 кВ, що встановлюються на ЦРП	1800	15	270	5	90	360
	Кабельні лінії з врахуванням траншеї	161,86	5	8,093	5	8,093	16,186
	Всього						376,19

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

Таблиця 5.7. Зведені витрати по варіантам порівняння

Показники	Варіант	
	1	2
Капіталовкладення	1756	1962
Поточні затрати	332	376
Вартість втрат електроенергії	2933	1601
Зведені затрати	3475	2212

Вибираємо другий варіант, тому що зведені витрати менше ніж в першому варіанті. Для електропостачання хлібзаводу використовуємо схему з установкою РП на території заводу.

Для внутрішніх розподільчих мереж підприємства прийнято напругу 10 кВ, а в цехових мережах для живлення силових і освітлювальних електроприймачів — напругу 380/220 В.

З урахуванням конфігурації навантажень і вимог до надійності, для внутрішнього електропостачання підприємства прийнято радіальну схему розподілу електроенергії.

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

## 6. РЕЖИМИ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

З метою зниження втрат електроенергії в трансформаторах, повітряних і кабельних лініях, а також для оптимізації параметрів елементів системи електропостачання, застосовується компенсація реактивної потужності. Основними засобами компенсації є конденсаторні установки.

Частина реактивної потужності може надходити безпосередньо від енергосистеми, за умови економічної доцільності, визначеної нормативним значенням середньозваженого тангенса, кута зсуву фаз. Решта необхідного обсягу реактивної потужності компенсується на рівні підприємства за допомогою локальних пристроїв.

Початковим етапом проектування системи компенсації є визначення обсягу реактивної потужності, яку можливо передати з мережі середньої напруги до мережі низької напруги. Цей показник розраховується з урахуванням кількості силових трансформаторів, через які здійснюється передача.

Після визначення потреби у компенсації та розподілу її за трансформаторними підстанціями, обирається кількість і номінальна потужність компенсуючих пристроїв. Завершальним етапом є вибір принципу регулювання реактивної потужності, що дозволяє забезпечити оптимальний режим роботи електроенергетичної системи підприємства.

### ***6.1. Розрахунок балансу реактивної потужності та вибір компенсуючих пристроїв в високовольтних та низьковольтних мережах***

$$P_H = 1125 \text{ кВт}; Q_H = 852 \text{ квар}$$

Сумарне споживання :

$$P_p = P_v + P_H + \Delta P_{\text{тр}} = 0 + 1125 + 16 = 1142 \text{ кВт}$$

$$Q_p = Q_v + Q_H + \Delta Q_{\text{тр}} = 0 + 852 + 92 = 944 \text{ квар}$$

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

Економічно доцільна потужність, що може бути передана від системи:

$$Q_e = P_p \cdot \operatorname{tg} \phi_3 = 1141 \cdot 0,15 = 171 \text{ квар}$$

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

$$Q_{ку} = Q_p - Q_e = 944 - 171 = 773 \text{ квар}$$

Визначаємо мінімальну кількість трансформаторів :

$$N_0 = P_H / (K_3 \cdot S_{H \text{ тр}}) = 1125,5 / (0,7 \cdot 400) = 4,01964$$

Варіант I:  $N = N_0 = 5$

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

$$Q_n = \sqrt{(n \cdot S_m \cdot K_3)^2 - P_n^2} = \sqrt{(5 \cdot 400 \cdot 0,7)^2 - 1125^2} = 865 \text{ кВАр}$$

Потужність компенсуючих пристроїв які потрібно встановити в мережі 0,4 кВ визначаємо з умови балансу реактивної потужності на шинах ТП по (6.6):

$$Q_{кн} = Q_n - Q_p = 852 - 865 = -13 \text{ квар}$$

Приймаємо до встановлення  $Q_{кн} = 867$  квар, з них:

БК потужністю 112,5 квар приймаємо 4 шт.

БК потужністю 150 квар приймаємо 1 шт.

БК потужністю 100 квар приймаємо 1 шт.

БК потужністю 67 квар приймаємо 1 шт.

БК потужністю 50 квар приймаємо 2 шт.

Уточнюємо значення  $Q_p = Q_n - Q_{кн} = 852 - 867 = -14$  квар

Потужність КП, встановлюємих на шинах 10 кВ:

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

$$Q_{кв} = Q_p - Q_{кн} - Q_e = 944 - 867 - 171 = 0 \text{ кВАр}$$

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

$$\Delta P_{ТП} = Q^2_{п} \cdot R_{ек} / U^2_{н} = 14,8^2 \cdot 725 / 10 = 0,0 \text{ кВт}$$

де  $R_{ек} = (\Delta P_{кз} \cdot U^2_{н}) / (N_{тр} \cdot S_{нтр}^2) = (5,8 \cdot 10^2) / (5 \cdot 400) = 725 \cdot 10^{-6} \text{ кОм}$

Втрати активної потужності у низьковольтних батареях конденсаторів:

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		39

Втрати активної потужності у низьковольтних батареях конденсаторів:

$$\Delta P_{\text{кн}} = \Delta P_{\text{пит}} * Q_{\text{кн}} = 0,003 * 867 = 2,6 \text{ кВт}$$

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

Вартість низьковольтних конденсаторних батарей:

$$K_{\text{кн}} = N_{\text{бк}}^{0,4\text{і}} K_{\text{кку}}^{0,4\text{і}} = 4 * 39 + 1 * 47,1 + 1 * 36,7 + 1 * 35,3 + 2 * 32,8 = 340,6 \text{ тис. грн.}$$

Вартість високовольтних конденсаторних батарей:

$$K_{\text{кв}} = N_{\text{бк}}^{10\text{і}} K_{\text{кку}}^{10\text{і}} = 0 \text{ тис. грн.}$$

Вартість комплектних трансформаторних підстанцій:

$$K_{\text{ктп}} = N_{\text{тп}(1)} * K_{\text{тп}(1)} + N_{\text{тп}(2)} * K_{\text{тп}(2)} = 5 * 247,5 = 1237,5 \text{ тис. грн.}$$

де  $N_{\text{тп}(1)}$ ,  $N_{\text{тп}(2)}$ ,  $K_{\text{тп}(1)}$ ,  $K_{\text{тп}(2)}$  – кількість і вартість відповідно одно- та дво- трансформаторних підстанцій;

Витрати на компенсацію реактивної потужності):

$$Z_1 = E_n * (K_{\text{кн}} + K_{\text{кв}} + K_{\text{ктп}}) + (\Delta P_{\text{кн}} + \Delta P_{\text{кв}} + \Delta P_{\text{тп}}) * C_o * \tau_m = 0,12 * (340,63 + 1237,50) + 2,6 * 10,32 * 3875 = 104 \text{ тис. грн.}$$

Варіант II:  $N = N_0 + 1 = 6$

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

$$Q_n = \sqrt{(n \cdot S_m \cdot K_s)^2 - P_n^2} = \sqrt{6 * 400 * 0,7)^2 - 1125^2} = 1247 \text{ кВАр}$$

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

$$Q_{\text{кн}} = Q_n - Q_{\text{п}} = 852 - 1247 = 0 \text{ квар}$$

Не встановлюємо БК на стороні 0,4 кВ

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

$$Q_{\text{кв}} = Q_r - Q_{\text{кн}} - Q_e = 944 - 0 - 171 = 773 \text{ кВАр}$$

Приймаємо до встановки  $Q_{\text{кв}} = 900 \text{ кВАр}$

БК потужністю 450 квар приймаємо 2 шт.

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

$$Q_{\text{кв}} = 900 \text{ кВар}$$

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

$$\Delta P_{\text{ТП}} = Q_{\text{П}}^2 * R_{\text{ек}} / U_{\text{н}}^2 = 852^2 * 604 / 10^2 = 4,4 \text{ кВт}$$

$$\text{де } R_{\text{ек}} = (\Delta P_{\text{кз}} * U_{\text{н}}^2) / (N_{\text{тр}} * S_{\text{нтр}}^2) = (5,8 * 10^2 / (6 * 400)) = 604 * 10^{-6} \text{ КОМ}$$

Втрати активної потужності у високовольтних батареях конденсаторів:

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

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

Вартість низьковольтних конденсаторних батарей:

$$K_{\text{кн}} = N_{\text{бк}}^{0,4i} K_{\text{кк}}^{0,4i} = 0.$$

Вартість високовольтних конденсаторних батарей:

$$K_{\text{кв}} = N_{\text{бк}}^{10i} K_{\text{кк}}^{10i} = 2 * 101 = 201,3 \text{ тис. грн.}$$

Вартість комплектних трансформаторних підстанцій:

$$K_{\text{ктп}} = N_{\text{ТП(1)}} * K_{\text{ТП(1)}} + N_{\text{ТП(2)}} * K_{\text{ТП(2)}} = 4 * 247,5 + 1,0 * 647,5 = 1637 \text{ тис. грн.}$$

Розрахункові витрати на компенсацію реактивної потужності:

$$Z_2 = E_{\text{н}} * (K_{\text{кн}} + K_{\text{кв}} + K_{\text{ктп}}) + (\Delta P_{\text{кн}} + \Delta P_{\text{кв}} + \Delta P_{\text{ТП}}) * C_0 * \tau_{\text{м}} =$$

$$0,12 * (0 + 201,3 + 1637) + (0 + 4,05 + 4,4) * 10,32 * 3875 = 338,2 \text{ тис. грн.}$$

Таблиця 6.1. Баланс реактивної потужності.

Показники	Варіант I	Варіант II	Варіант III
Потужність КП в мережі 0,4 кВ	867	0	0
Потужність КП в мережі 10 кВ	0	900	900
Споживання реактивної потужності	171	171	171
Всього за умовою балансу	1038	1071	1071
Затрати на компенсацію	104	338,2	425,6

Зведені затрати першого варіанту найменші, тому приймаємо для подальшого розрахунку.

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



## 7. РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ, ВИБІР ВИСОКОВОЛЬТНОГО ОБЛАДНАННЯ

Розрахунок струмів короткого замикання є необхідним етапом при виборі та перевірці електричних апаратів, визначенні параметрів релейного захисту та систем автоматики. У процесі такого розрахунку визначаються основні розрахункові величини: діюче значення періодичної складової струму першого періоду (надперехідний струм), максимальне миттєве значення повного струму короткого замикання (ударний струм) та діюче значення усталеного струму.

Для отримання цих параметрів складається розрахункова електрична схема, яка відповідає найгіршому випадку розвитку аварії. Схема враховує конфігурацію мережі, режим роботи трансформаторів, а також стан секційних вимикачів. Далі створюється схема заміщення, в якій елементи системи електропостачання замінюються еквівалентними опорами. Джерела живлення враховуються лише у випадках їх безпосереднього підключення до точки короткого замикання.

Базисні параметри, зокрема потужності та напруги, обираються відповідно до номіналів мережі в точках розрахунку. Усі опори схеми заміщення перераховуються до єдиних базисних умов, що дозволяє визначити результуючі активні та індуктивні опори. У разі якщо активна складова є суттєвою, її враховують у загальному опорі ланцюга короткого замикання.

Розрахунок виконується як у відносних, так і в іменованих одиницях. Після обчислення результуючих опор визначаються основні параметри короткого замикання: надперехідний, ударний та усталений струми. Отримані значення використовуються для перевірки апаратів на термічну та динамічну стійкість, а також для точного налаштування системи релейного захисту.

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

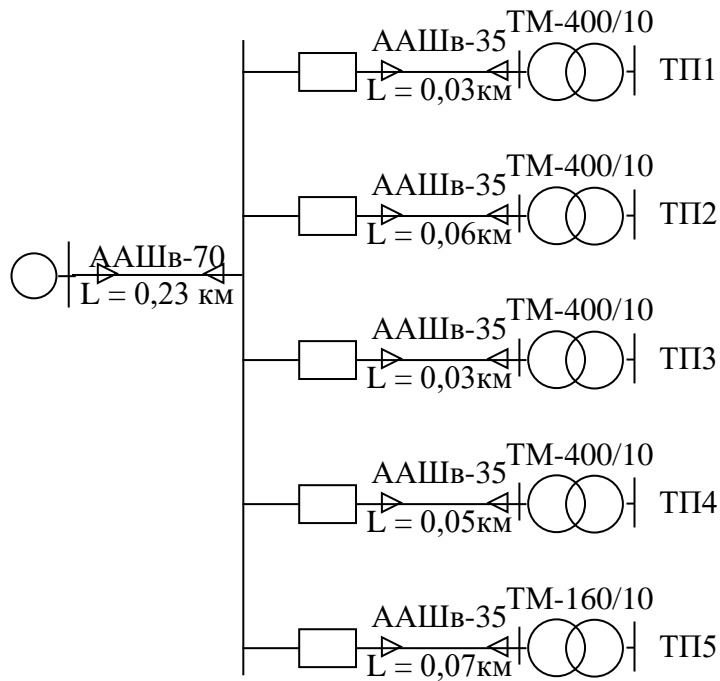


Рисунок 7.1: Розрахункова схема СЕПП

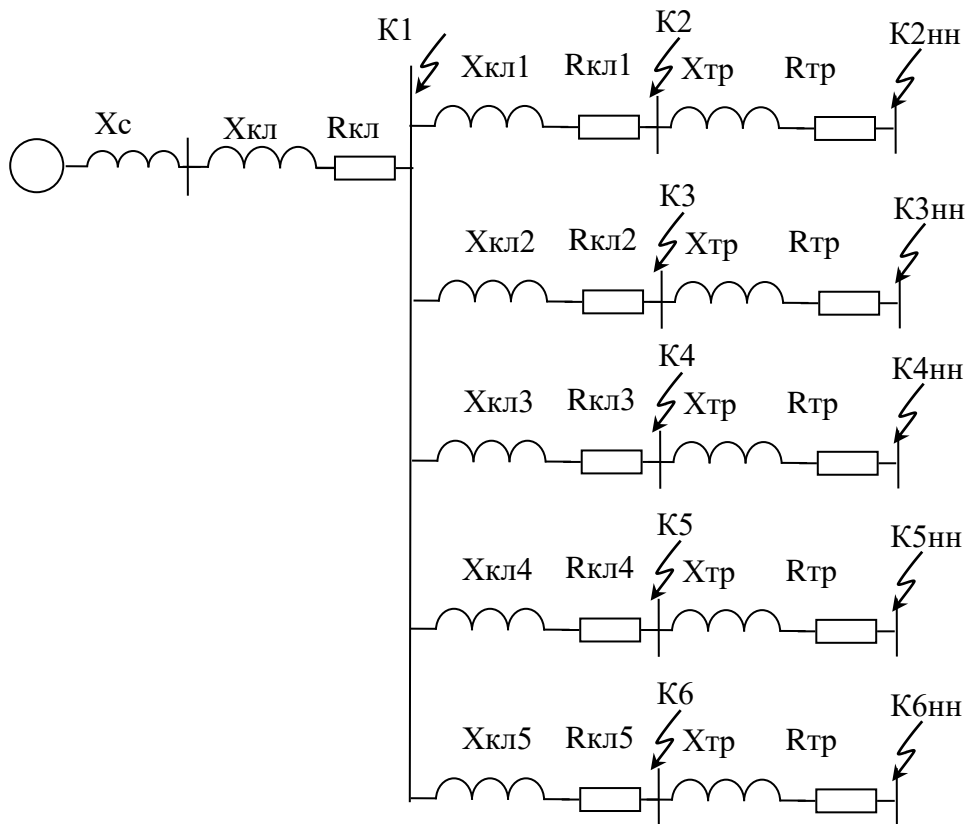


Рис. 7.2. Схема заміщення

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

Виконуємо розрахунок струмів КЗ для першого ТП, для інших зведені в таблиці 7.1.

Номінальна напруга кабельної лінії  $U_H = 10$  кВ. Лінія виконана проводом марки ААШВ довжиною  $L_1 = 0,2$  км та перерізом  $F = 70$  мм<sup>2</sup>

Параметри лінії від ЦРП до цехової ТП номінальна напруга кабельної лінії  $U_H = 10$  кВ. Лінія виконана кабелем марки ААШВ-10 з  $F_{ст} = 35$  мм<sup>2</sup>, довжиною  $L_{кл} = 0,03$  км. Номінальна потужність трансформатора ТП складає  $S_{тр} = 400$  кВА.

Розрахунок ведемо у відносних величинах.

Приймаємо базисну потужність  $S_б = 100$ , базисна напруга в точці К1  $U_{б1} = 10,5$  кВ; в точці К2  $U_{б2} = 10,5$  кВ; в точці К3  $U_{б3} = 0,4$  кВ.

Визначаємо відносні опори елементів схеми КЗ:

Реактивний опір системи:

$$X_c = S_б / S_{кз} = 100 / 76 = 1,3$$

Реактивний опір лінії напругою 10 кВ до ЦРП :

$$X_{л1} = X_o * L * S_б / U_{б1}^2 = 0,48 * 0,2 * 100 / 11^2 = 0,1$$

Активний опір лінії напругою 10 кВ до ЦРП :

$$R_{л1} = R_o * L * S_б / U_{б1}^2 = 0,06 * 0,2 * 100 / 11^2 = 0,01$$

Для кабельної лінії напругою 10 кВ визначаємо:

Реактивний опір лінії напругою 10 кВ від ЦРП до ТП:

$$X_{кл1} = X_o * L * S_б / U_{б2}^2 = 0,95 * 0,03 * 100 / 11^2 = 0,03$$

Активний опір лінії напругою 10 кВ:

$$R_{кл1} = R_o * L * S_б / U_{б2}^2 = 0,06 * 0,03 * 100 / 11^2 = 0,002$$

Опір трансформатора напругою 10/0,4 кВ

$$R_{тп} = \Delta P_m * S_б / S_{н.тр}^2 = 5,50 * 100000 / 400^2 = 3,4$$

$$X_{тр} = \sqrt{(U_k/100)^2 - (\Delta P_m / S_{н.тр})^2} * S_б / S_{н.тр} =$$

$$\Rightarrow \sqrt{(5,45 / 100)^2 - (5,50 / 400)^2} * 100000 / 400 = 13,2$$

Визначаємо результуючий еквівалентний опір до розрахункової точки КЗ.

Спростуємо схему заміщення за такою послідовністю:

1) результуючий опір до точки К1

$$R_{к1} = R_{л1} = 0,01$$

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



Таблиця 7.1. Розрахунок струмів КЗ

Точка схеми	$R_{к\Sigma}$	$X_{к\Sigma}$	$Z_{к\Sigma}$	$I_{кЗ}, \text{кА}$	$i_{уд}, \text{кА}$	$I_{кЗ}^2, \text{кА}$
ТП1(К2)	0,01	1,4	1,4	3,8	6,4	3,3
ТП1(К2 <sub>нн</sub> )	3,5	14,6	15,0	9,6	20,2	8,4
ТП2(К3)	0,0	1,5	1,5	3,8	6,3	3,3
ТП2(К3 <sub>нн</sub> )	3,5	14,7	15,1	9,6	20,2	8,4
ТП3(К4)	0,02	1,5	1,5	3,8	6,4	3,3
ТП3(К4 <sub>нн</sub> )	3,5	14,6	15,0	9,6	20,2	8,4
ТП4(К5)	0,01	1,4	1,4	3,8	6,4	3,3
ТП4(К5 <sub>нн</sub> )	3,5	14,6	15,0	9,6	20,2	8,4

### 7.1. Вибір кабелів напругою 10 кВ для високовольтної мережі заводу

Згідно з вимогами Правил улаштування електроустановок (ПУЕ), вибір перерізу кабелю повинен базуватися на перевірці за економічною щільністю струму. Економічно доцільний переріз визначається з урахуванням розрахункового струму та нормованого значення струмової щільності. Отримане значення округлюється до найближчого стандартного перерізу згідно з нормативами.

Обраний переріз має також відповідати вимогам допустимого струмового навантаження, з урахуванням поправок на кількість паралельно прокладених кабелів. У випадку прокладання декількох кабелів у спільній траншеї, враховуються поправочні коефіцієнти, що коригують допустиме навантаження в звичайному та післяаварійному режимах.

Окрім цього, переріз кабелю повинен відповідати вимогам термічної стійкості. Для цього проводиться оцінка теплового імпульсу з урахуванням розрахункового термічного коефіцієнта. Лише за умови виконання всіх

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

зазначених критеріїв переріз кабелю може вважатися прийнятним для тривалої експлуатації та безпечної роботи мережі.

Площа поперечного перерізу кабелю :

$$F_e = I_p / (n J_{ек}) = 81,5 / (1 \cdot 1,4) = 58 \text{ мм}^2;$$

де розрахунковий струм:  $I_p = \frac{S_p}{N\sqrt{3}U_n} = \frac{1481}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 81,5 \text{ А.}$

Попередньо, за  $F_e$  приймаємо кабель марки ААШВ-10 перерізом - 70 мм<sup>2</sup> з допустимим струмом  $I_{доп} = 165 \text{ А.}$

Виконуємо перевірку кабеля за допустимим струмовим навантаженням:

$$I_{ав} = K_{п} K_{ав} I_{доп} = 1 \cdot 1,15 \cdot 165 = 190 > I_p=114;$$

де  $K_{п}$  - коефіцієнт прокладки кабелів 1.3.26 [9];  $K_{ав}$  - допустимий коефіцієнт аварійного перевантаження кабеля, приймаємо рівним 1,15.

Мінімальна площа поперечного перерізу кабеля за умовою термічної стійкості:

$$F_{min} = 1/K\sqrt{B_k} = 1/94 \sqrt{4,08} = 21 \text{ мм}^2;$$

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

$B_k$  - тепловий імпульс:

$$B_k = I'^2 (t_b + t_{пз \max}) = 3,9^2 (0,023 + 1,025) = 4,1 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

Зводимо результати вибору кабельних ліній для розподільчих мереж до таблиці 7.2.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		48

Таблиця 7.2. Вибір кабелів 10 кВ

№КЛ	Sp, кВА	n	Ip	Ip.ав	Fек, мм	Марка кабеля	Iдоп, А	Кп	Iав	F <sub>min</sub>	I", кА
ЦРП-ТП1	1481	1	82	114	58	ААШв(3× 70 )	165	1	190	22	3,9
ТП1-ТП2	389	1	21	30	15	ААШв(3× 35 )	115	1	132	22	3,9
ЦРП-ТП3	377	1	22	29	20	ААШв(3× 35 )	115	1	132	22	3,9
ЦРП-ТП4	302	1	17	23	12	ААШв(3х 35 )	115	1	142	22	3,9
ЦРП-ТП5	317	1	17	24	13	ААШв(3х 35 )	115	1	97	22	3,9
ЦРП-ТП6	171	1	9	13	7	ААШв(3х 35 )	115	1	13	22	3,9

### 7.2. Вибір електричних апаратів високої напруги

Вибір вимикачів

В РП 10 кВ доцільно використовувати вимикачі вбудовані в комірці комплектних розподілюючих пристроїв. Це вакуумні вимикачі вітчизняних заводів високовольтної апаратури.

Таблиця 7.3: Вибір ввідних вимикачів по шинах 10 кВ

Умови вибору	Розрахункові дані	Каталожні дані ВР1-20/630
1. $U_{уст} \leq U_{ном}$	$U_{уст} = 10$ кВ	$U_{ном} = 10$ кВ
2. $I_{роб\max} \leq I_{ном}$	$I_{роб\max} = 85$ А	$I_{ном} = 630$ А
3. $I_{нт} \leq I_{отк.ном}$	$I_{нт} = I'' = 3,8$ кА	$I_{отк.ном} = 20$ кА
4. $\sqrt{2} I_{нт} + i_{ат} \leq \sqrt{2} I_{отк.ном} (1 + \beta_n)$	$\sqrt{2} I_{нт} + i_{ат} = \sqrt{2} 3,89 + 0 = 4,4$ кА	$\sqrt{2} I_{отк.ном} (1 + \beta_n) = \sqrt{2} \cdot 20 (1 + 40/100) = 39$ кА
5. $I'' \leq I_{дип}$	$I'' = 3,9$ кА	$I_{дип} = 20$ кА
6. $i_{уд} \leq i_{дип}$	$i_{уд} = 6,6$ кА	$i_{дип} = 52$ кА
7. $B_k \leq I_T^2 \cdot t_T$	$B_k = 137$ кА <sup>2</sup> ·с	$I_T^2 \cdot t_T = 20^3 \cdot 3 = 1200$ кА <sup>2</sup> ·с

$$I_{\text{робмакс}} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{1481}{\sqrt{3} \cdot 10} = 85,6 \text{ А}$$

$$B_k = I''^2 (t_{\text{отк}} + T_a) + 3,89^2 (0,93 + 0,0037) = 137 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$$

$$\text{де } t_{\text{отк}} = t_{\text{рз}} + t_{\text{в}} = 0,5 + 0,03 + 0,4 = 0,93 \text{ с}$$

Таблиця 7.4: Вибір вимикачів на відходящих лініях 10 кВ

Умови вибору	Розрахункові дані	Каталожні дані ВР1-20/630
1. $U_{\text{уст}} \leq U_{\text{ном}}$	$U_{\text{уст}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}$
2. $I_{\text{робмакс}} \leq I_{\text{ном}}$	$I_{\text{робмакс}} = 22 \text{ А}$	$I_{\text{ном}} = 630 \text{ А}$
3. $I_{\text{нт}} \leq I_{\text{отк.ном}}$	$I_{\text{нт}} = I'' = 3,8 \text{ кА}$	$I_{\text{отк.ном}} = 20 \text{ кА}$
4. $\sqrt{2} I_{\text{нт}} + i_{\text{ат}}$ $\leq \sqrt{2} I_{\text{отк.ном}} (1 + \beta_n)$	$\sqrt{2} I_{\text{нт}} + i_{\text{ат}} = \sqrt{2} 3,8 + 0 =$ $4,4 \text{ кА}$	$\sqrt{2} I_{\text{отк.ном}} (1 + \beta_n) =$ $\sqrt{2} \cdot 20 (1 + 40/100)$ $= 39 \text{ кА}$
5. $I'' \leq I_{\text{дип}}$	$I'' = 3,8 \text{ кА}$	$I_{\text{дип}} = 20 \text{ кА}$
6. $i_{\text{уд}} \leq i_{\text{дип}}$	$i_{\text{уд}} = 6,4 \text{ кА}$	$i_{\text{дип}} = 52 \text{ кА}$
7. $B_k \leq I_T^2 \cdot t_T$	$B_k = 7,9 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_T^2 \cdot t_T = 20^3 \cdot 3 =$ $1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

$$I_{\text{робмакс}} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{371,9}{\sqrt{3} \cdot 10} = 21,7 \text{ А}$$

$$B_k = I''^2 (t_{\text{отк}} + T_a) + 3,8^2 (0,525 + 0,0037) = 7,9 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$$

Приймаємо вимикач ВР1-20/630.

### Вибір розрядників

Захист обладнання підстанцій від атмосферних та комутаційних перенапруг здійснюється шляхом встановлення розрядників і обмежувачів перенапруги. Для мереж із номінальною напругою 10 кВ доцільним є застосування обмежувача перенапруг типу ОПН-10/420/12-УХЛ1, який забезпечує надійне обмеження перенапруг до допустимого рівня та захист ізоляції елементів електроустановки.

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

### 7.3. Вибір потужності схем живлення трансформаторів власних потреб (ТВП)

Система власних потреб підстанції відіграє ключову роль у забезпеченні її надійної та безперебійної роботи, що безпосередньо впливає на стабільність електропостачання споживачів.

До складу споживачів цієї системи належать електродвигуни обдуву силових трансформаторів і синхронних компенсаторів, кола оперативного струму, пристрої підігріву вимикачів, відділювачів, короткозамикачів, а також розподільчі шафи з установленим у них обладнанням. Окрім того, система охоплює робоче та аварійне освітлення, а також опалення.

Найбільш критичними елементами є кола оперативного струму, системи релейного захисту, зв'язку, телемеханіки, охолодження трансформаторів, пожежогашіння та електроприймачі компресорного обладнання.

Таблиця 7.5. Навантаження власних потреб.

Вид споживача	Встановлена потужність		cos φ	Навантаження	
	кВт х кількість	Всього, кВт		P <sub>вст</sub> , кВт	Q <sub>вст</sub> , кВт
Підігрів комірок РП – 10 кВ	1х11	11	1	11	-
Освітлення, вентиляція приміщення РП	3	3	1	3	-
Навантаження, що споживають оперативні ланцюги	2	2	1	2	-
<b>Всього:</b>				<b>16</b>	<b>0</b>

Розрахункова потужність споживачів власних потреб:

$$S_{\text{розр}} = K_c \cdot \sqrt{(P_{\text{вст}}^2 + Q_{\text{вст}}^2)} = 0,8 \sqrt{(16^2 + 0^2)} = 13 \text{ кВА}$$

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

## 8. РОЗРОБКА СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОЗБЕРЕЖЕННЯ В ЕЛЕМЕНТАХ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

У науково-технічній практиці чинники енергозбереження доцільно класифікувати на технічні, технологічні, економічні та організаційні.

До технічних факторів економії електроенергії належать:

Зменшення втрат у лініях електропередачі, розподільчих мережах і системах електропостачання, що досягається шляхом використання трансформаторів з підвищеними енергетичними характеристиками (з поліпшеної сталі), впровадженням трансформаторів з регулюванням напруги під навантаженням, а також застосуванням компенсуючих пристроїв.

Зниження втрат на етапі споживання електроенергії за рахунок відповідності встановленої та фактичної потужності, мінімізації втрат у струмопроводах, обмеження роботи обладнання в режимі холостого ходу, раціоналізації побудови цехових мереж та оптимізації режимів роботи силових, освітлювальних і технологічних електроустановок.

Серед технологічних факторів виділяють:

Модернізацію та оновлення виробничого парку шляхом заміни застарілого обладнання більш енергоефективним, а також скорочення втрат, пов'язаних із простоєм і неефективною роботою устаткування.

Удосконалення технологічних процесів, включаючи перехід на більш ефективні методи обробки, наприклад, заміну механообробки штампуванням або фрезерування — прокаткою.

До економічних факторів належать:

Впровадження ефективних механізмів стимулювання раціонального використання електроенергії.

Запровадження плати за використання виробничих фондів, включаючи нормовані оборотні фонди.

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

Удосконалення системи планування потреби в електроенергії та застосування принципів комбінування і спеціалізації виробництва для зменшення енерговитрат.

Організаційні фактори включають:

Покращення систем нормування споживання електроенергії та організації контролю за її використанням.

Модернізацію облікових систем і створення умов для прозорого моніторингу енергоспоживання.

Варто зазначити, що основний потенціал економії електроенергії закладено в технологічних процесах промислового виробництва. Зокрема, для механізмів із прямолінійною енергетичною характеристикою доцільно забезпечувати роботу в зоні максимальної продуктивності для досягнення найменших питомих витрат енергії. Натомість обладнання з параболічною характеристикою (наприклад, відцентрові вентилятори) вимагає окремого аналізу для визначення оптимального енергоспоживаючого режиму, що мінімізує питомі витрати.

### **8.1. Економія електроенергії в електричних мережах**

Річні втрати електроенергії в лініях можливо визначити через наступні співвідношення:

$$1. \Delta W = \sum_{i=1}^n 3I_i^2 R t_i = 3I_{ск}^2 R T_p = 3I_{ср}^2 R T_p K_{\phi}^2 = 3I_M^2 R T_p K_{\phi}^2 K_n^2 = 3I_M^2 R T_p K_v^2$$

$$2. \Delta W = 3I_M^2 R \tau_m$$

Ефективне використання електроенергії в промислових електричних мережах досягається шляхом реалізації комплексу технічних заходів, спрямованих на зниження втрат та покращення режимів роботи системи електропостачання. Одним із таких заходів є зменшення струму в окремих ділянках мережі, яке досягається за рахунок використання резервних ліній або організації їх паралельної роботи. Це дозволяє рівномірно розподілити навантаження і уникнути перевантаження окремих елементів системи.

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

Ще одним важливим напрямом є оптимізація схем електропостачання шляхом виключення з них реакторів, які створюють додаткові втрати енергії. Підвищення напруги в розподільчих мережах також сприяє зменшенню струмів і, відповідно, втрат потужності в лініях.

Особливу увагу слід приділити правильному вибору коефіцієнтів трансформації трансформаторів як на цехових, так і на міських підстанціях. Це забезпечує оптимальне узгодження між рівнями напруги на різних ділянках мережі та знижує втрати при трансформації енергії.

Рациональне розміщення точок струморозподілу, особливо у випадках замкнених або неоднорідних мереж, дає змогу забезпечити симетричний розподіл навантаження та зменшити витрати енергії на її передачу. У цьому ж контексті важливо забезпечити мінімальну несиметрію фазових навантажень, що впливає як на якість електроенергії, так і на тривалість служби обладнання.

Загалом, вибір оптимальної конфігурації та топології електричної мережі, зокрема зменшення довжини ліній електропередачі, дозволяє суттєво знизити питомі втрати електроенергії і підвищити загальну енергоефективність підприємства.

## ***8.2. Економія електроенергії в мережі при переводі її на більш високу напругу***

Економія електричної енергії при застосуванні підвищеної напруги досягається за рахунок зниження струмових втрат у проводах, що обумовлено зменшенням струму та відповідним зростанням перерізу кабелю. При цьому враховується довжина мережі, питомий опір матеріалу провідника, а також тривалість експлуатації. За відсутності заміни провідників економія визначається відповідно до параметрів існуючої мережі.

Під час реконструкції мереж без зміни рівня напруги, що передбачає заміну перерізу кабелів, матеріалу або скорочення довжини ліній, економія електроенергії розраховується шляхом порівняння параметрів до і після

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

модернізації, з урахуванням середньоквадратичного значення струмів та розрахункового періоду.

Втрати електроенергії в трансформаторах складаються з активних втрат, що залежать від режиму роботи і навантаження. Економічний режим роботи трансформаторів визначається оптимальною кількістю одночасно включених агрегатів, що забезпечує мінімальні загальні втрати електроенергії. При цьому підключення або відключення трансформаторів регулюється за умовою досягнення певного коефіцієнта завантаження працюючих пристроїв.

Для підстанцій з трансформаторами різної потужності корисним є побудова кривих залежності втрат від навантаження, що дозволяє визначати оптимальний режим роботи та приймати рішення про включення або виведення трансформаторів з експлуатації.

Значення коефіцієнтів підвищення втрат залежать від типу трансформатора та умов його експлуатації, зокрема від місця встановлення і часу доби.

Зменшення втрат у трансформаторах досягається шляхом правильного вибору кількості і потужності силових пристроїв, відключенням частини трансформаторів у нічний час, виключенням холостих ходів, а також впровадженням автоматизованих систем керування режимами роботи цехових підстанцій.

### **8.3 Економія електроенергії в електродвигунах**

Економія електроенергії в електродвигунах досягається шляхом підвищення середнього навантаження робочих машин, що сприяє зниженню питомих витрат електроенергії. Зменшення навантаження призводить до зниження коефіцієнта корисної дії (ККД) як електродвигуна, так і робочої машини в цілому. Для оцінки економії вводиться поняття питомої витрати енергії на конкретній робочій машині, яка визначається як відношення спожитої двигуном електроенергії до кількості корисної роботи, виконаної за

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

певний період часу. Це дозволяє кількісно оцінити ефективність використання електроенергії в залежності від режиму роботи машини.

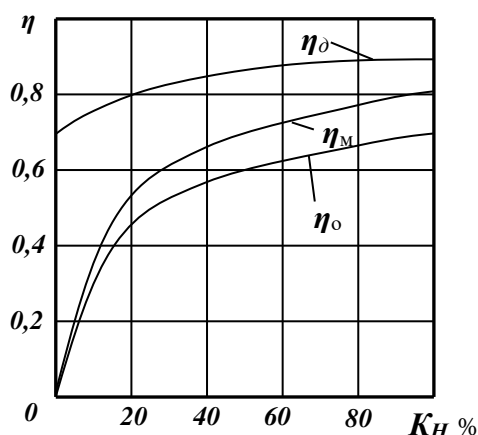


Рис 8.1 Залежність ККД від коефіцієнта навантаження  $K_H$ .  
робочої машини  $\eta_m$  двигуна  $\eta_d$  і всього приводу  $\eta_o$

Питома витрата енергії визначає ефективність використання електроенергії робочими машинами і залежить від їх навантаження та режиму роботи. Вона враховує коефіцієнт корисної дії машини при повному навантаженні, коефіцієнт використання машини, тривалість роботи в робочому режимі та час холостого ходу, а також специфічний коефіцієнт, що залежить від типу і конструкції обладнання.

У разі відсутності холостого ходу питомі витрати енергії зменшуються, а при максимальному навантаженні і повному використанні робочої машини вони досягають мінімального значення. Співвідношення між фактичним режимом роботи і оптимальним визначає коефіцієнт збільшення питомої витрати енергії, що відображає втрати через неповне використання потужності або наявність холостого ходу.

Графічні криві, наведені на відповідному рисунку, дозволяють оцінити потенційну економію енергії, що може бути досягнута шляхом підвищення навантаження робочих машин і зменшення часу їх холостої роботи. На рис 8.2 приведені криві  $\beta = f(k_H)$ , економії енергії, за рахунок підвищення навантаження робочих машин.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		56

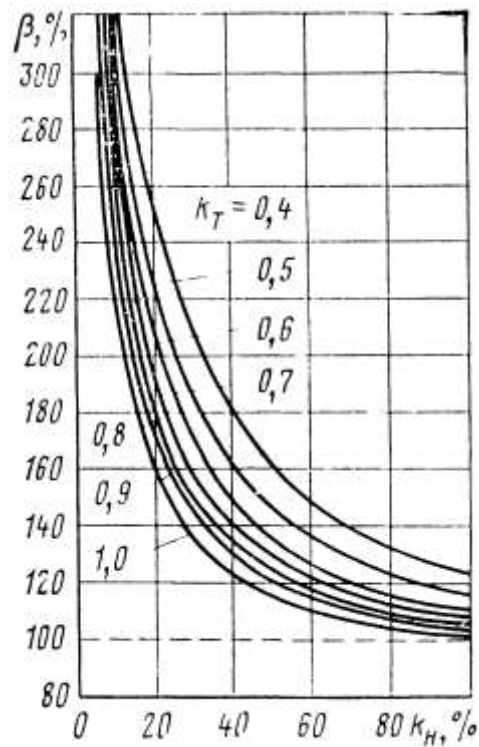


Рис 8.2 Залежність зміни питомих витрат електроенергії від коефіцієнту навантаження робочої машини.

#### 8.4. Установка автоматичних обмежувачів холостого ходу робочих машин

Використання обмежувачів холостого ходу (ХХ) на верстатах з міжопераційним часом 10 секунд і більше завжди сприяє економії електроенергії. Якщо ж міжопераційний час менший за 10 секунд, доцільність застосування таких обмежувачів слід оцінювати за допомогою контрольного розрахунку.

Для визначення потенційної економії та оцінки ефективності обмежувачів ХХ використовують спеціальну діаграму. Щоб скористатися цією діаграмою, необхідно мати такі вихідні дані: середню потужність холостого ходу, яка включає механічну потужність ХХ електроприводу та втрати в сталі електродвигуна; номінальну потужність електродвигуна; тривалість міжопераційного часу; а також кількість циклів роботи за годину.

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

На основі цих параметрів визначають ключові характеристики, які дозволяють за допомогою діаграми оцінити розмір можливого енергозбереження і прийняти рішення щодо економічної доцільності встановлення обмежувачів холостого ходу.

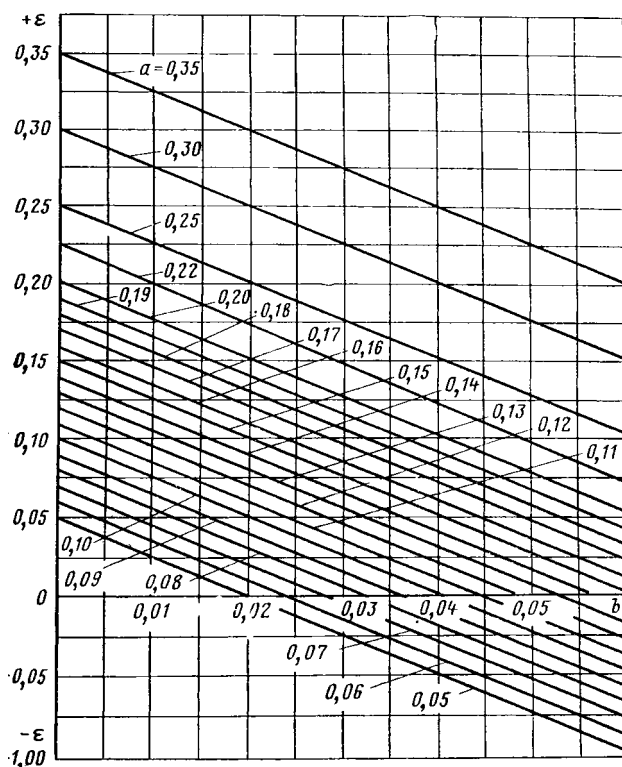


Рис 8.3 Діаграма визначення ефективності обмежувачів холостого ходу.

За заданими параметрами потужності та тривалості роботи на діаграмі визначають показник ефективності системи електропривода. Використовуючи цей показник, розраховують годинну економію електроенергії системи, виражену в кВт·год.

### 8.5. Заміна малоавантажених електродвигунів

Якщо середнє навантаження електродвигуна становить менше 45% від його номінальної потужності, заміна на менш потужний двигун є доцільною без додаткових розрахунків. При навантаженні понад 70% від номіналу заміна, як правило, недоцільна. Для навантажень у межах 45–70% необхідно підтвердити

ефективність заміни шляхом оцінки зменшення сумарних втрат активної потужності в електричній системі та самому двигуні. Ці втрати враховують споживання реактивної потужності, струми холостого ходу, коефіцієнти навантаження та інші параметри двигуна.

Варто зазначити, що заміна електродвигуна, навіть якщо вона технічно виправдана, повинна супроводжуватися перевіркою можливості повного завантаження нового двигуна через правильну експлуатацію робочих машин, які ним приводяться в рух. Цей підхід особливо важливий, коли первинний двигун був підібраний із запасом потужності, що призводило до неефективного використання робочого обладнання. Встановлення менш потужного двигуна може закріпити цей стан і перешкодити подальшому підвищенню продуктивності технологічного процесу.

### ***8.6. Енергозбереження в вентиляційних установках***

Скорочення витрат електроенергії у вентиляційних установках досягається за рахунок комплексного впровадження низки заходів. Перш за все, заміна застарілих вентиляторів на сучасні, більш економічні моделі забезпечує значний ефект. Впровадження економічних методів регулювання продуктивності вентиляторів, наприклад багатошвидкісних електродвигунів замість механічних шиберів, дозволяє економити до 20-30% електроенергії. Регулювання подачі повітря через шибери, особливо на всмоктувальній стороні або робочих місцях, а також застосування циліндричних направляючих апаратів для димососів замість дросельного регулювання, додатково знижує витрати електроенергії.

Економію можна також досягти шляхом оптимізації роботи вентиляторів: зміною частоти обертання валу, кута установки лопаток, а також регулюванням напрямку потоків. Ці заходи підвищують ефективність роботи та зменшують енергоспоживання.

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

Усунення дефектів при експлуатації вентиляційних установок є важливою складовою економії. Невірне встановлення, наприклад, перевернуте колесо або збільшені зазори в конструкції вентиляторів, призводять до значного зниження ККД і, відповідно, збільшення енергоспоживання. Неправильне монтажне виконання, втрати герметичності у повітропроводах та неякісне виготовлення елементів системи також збільшують опір і сприяють підвищенню витрат електроенергії.

Автоматизація керування вентиляційними установками є додатковим ефективним заходом. Використання пристроїв блокування індивідуальних витяжних систем, автоматичне регулювання залежно від зовнішньої температури, а також системи керування повітряними завісами забезпечують зниження енергоспоживання від 10% до 70%, залежно від конкретного рішення.

Таким чином, комплексне застосування сучасного обладнання, оптимальних методів регулювання, усунення дефектів і автоматизації дозволяє суттєво зменшити витрати електроенергії у вентиляційних установках підприємств.

### **8.7. Раціональне використання освітлювальних установок**

Впровадження сучасних високоефективних джерел світла, світильників із підвищеним коефіцієнтом корисної дії (ККД), а також удосконалення конструкцій відбивальної арматури і застосування раціональних схем освітлення значно підвищують ефективність електроосвітлювальних систем. Це сприяє збільшенню освітленості робочих місць та суттєвій економії електроенергії.

У промисловості витрати електроенергії на освітлення складають від 5 до 15 % загального споживання, залежно від галузі. Газорозрядні лампи (люмінесцентні, дугові ртутні) завдяки вищому ККД значно ефективніші за лампи розжарювання, які мають лише близько 6 % корисного світлового

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата					60

випромінювання. Заміна ламп розжарювання на газорозрядні дозволяє подвоїти освітленість і забезпечити реальну економію енергії.

При виборі газорозрядних ламп слід враховувати їх особливості, зокрема потребу в баластних опорах для обмеження струму через їх падаючу вольт-амперну характеристику. Енергетична ефективність різних типів джерел світла порівнюється для оцінки потенціалу економії.

Важливо також контролювати час увімкнення освітлення, оскільки порушення графіків призводить до додаткових втрат. Перевищення встановленої потужності світильників та забруднення ламп і світильників значно знижують їх ККД і спричиняють збільшення енергоспоживання. Регулярне очищення світильників є необхідною умовою підтримання ефективності освітлювальної системи.

Підтримання номінального рівня напруги в мережі критично для уникнення перевитрат електроенергії: коливання вище 105 % або нижче 85 % призводять до збільшення споживання. Для стабілізації напруги застосовують спеціальні трансформатори, компенсуючі пристрої та автоматичні системи регулювання.

Світлодіодні джерела світла (LED) останнім часом набувають широкого застосування завдяки своїм численним перевагам. Вони мають високий коефіцієнт корисної дії, що часто перевищує 80-90 %, набагато більший порівняно з газорозрядними і особливо лампами розжарювання. Світлодіоди мають тривалий термін служби — від 25 до 50 тисяч годин експлуатації, що значно знижує витрати на заміну і обслуговування. Крім того, світлодіоди характеризуються миттєвим увімкненням, можливістю точного керування світловим потоком, відсутністю шкідливих речовин, таких як ртуть, і меншою тепловіддачею, що зменшує навантаження на системи охолодження.

Порівняно з газорозрядними лампами, такими як люмінесцентні або дугові ртутні, світлодіоди демонструють вищу світлову віддачу, більш стабільний колір світла і кращу енергетичну ефективність. Газорозрядні лампи, хоч і більш ефективні, ніж лампи розжарювання, мають обмеження, пов'язані з

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата					61

необхідністю застосування баластних пристроїв, що додають втрати електроенергії, а також довшим часом розігріву і нижчою надійністю при частих включеннях.

Ртутні лампи характеризуються високою яскравістю, але мають низький ККД, містять шкідливі речовини, а їх світлові характеристики з часом погіршуються. Дюгові лампи широко використовуються у великих промислових приміщеннях, проте поступаються світлодіодам за енергоефективністю та експлуатаційними характеристиками.

В цілому, світлодіодні джерела світла забезпечують значну економію електроенергії — до 30-50 % порівняно з газорозрядними лампами та в рази більшу в порівнянні з лампами розжарювання. Вони також сприяють підвищенню якості освітлення та зниженню експлуатаційних витрат, що робить їх оптимальним вибором для сучасних промислових систем освітлення.

Таким чином, впровадження світлодіодних технологій є перспективним напрямом для підвищення енергоефективності освітлення на промислових підприємствах, одночасно покращуючи екологічні характеристики і знижуючи загальні витрати на електроенергію.

### **8.7. Розрахунок економії електроенергії від регулювання роботою трансформаторів**

Розрахунок проведемо для першої трансформаторної підстанції.

Визначимо приведені значення активних втрат:

$$\Delta P'_{xx} = \Delta P_{xx} + K_{III} \cdot Q_{xx} = 2,3 + 0,15 \cdot 12,6 = 4,2 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_{xx} = \frac{I_{xx}}{100} S_n = \frac{2}{100} 400 = 12,6 \text{ кВар}$$

$$\Delta P'_{k3} = \Delta P_{k3} + K_{III} \cdot Q_{k3} = 7,6 + 0,15 \cdot 34,7 = 19,9 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_{k3} = \frac{U_{k3}}{100} S_n = \frac{5,5}{100} 400 = 34,7 \text{ кВар}$$

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

Визначимо потужність  $S_A$  при якій приведені втрати потужності будуть однакові як при роботі одного трансформатора так і двох:

$$S_A = S_{нтр} \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P'_{xx}}{\Delta P'_{кз}}} = 400 \sqrt{\frac{2 \cdot 4,16}{19,8}} = 257 \text{ кВА}$$

Розрахунок втрат електроенергії при роботі двох трансформаторів і при роботі з автоматичним регулюванням проведений в Табл. 15.7

Розрахуємо річну втрату електроенергії в обох випадках:

$$\begin{aligned} \Delta W_{2тр} &= \sum_{i=1}^{24} \Delta P_{зр2тр} \cdot 147 + \sum_{i=1}^{24} \Delta P_{зв2тр} \cdot 65 + \sum_{i=1}^{24} \Delta P_{лр2тр} \cdot 105 + \sum_{i=1}^{24} \Delta P_{лв2тр} \cdot 48 = \\ &= 621 \cdot 147 + 215 \cdot 65 + 506 \cdot 105 + 220 \cdot 48 = 169102 \text{ кВт} \cdot \text{год} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta W_{авт.рег} &= \sum_{i=1}^{24} \Delta P_{зравт.рег} \cdot 147 + \sum_{i=1}^{24} \Delta P_{звавт.рег} \cdot 65 + \sum_{i=1}^{24} \Delta P_{лравт.рег} \cdot 105 + \sum_{i=1}^{24} \Delta P_{лвавт.рег} \cdot 48 = 6 \\ &22 \cdot 147 + 132 \cdot 65 + 506 \cdot 105 + 140 \cdot 48 = 159839 \text{ кВт} \cdot \text{год} \end{aligned}$$

Річна економія електроенергії від впровадження автоматичного регулювання доцільного режиму роботи трансформаторної підстанції

$$\Delta W = \Delta W_{2тр} - \Delta W_{авт.рег} = 169102 - 159839 = 9262 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Вартість зекономленої електроенергії

$$E = \Delta W \cdot C_0 = 9262 \cdot 10,32 = 95583 \text{ грн.}$$

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		63

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В роботі виконано розробку системи електропостачання хлібзаводу.

Живлення підприємства можливе лише напругою 10 кВ від розподільчих електромереж міста, тому в роботі виконувалося техніко-економічне порівняння схем електропостачання в встановленням власного розподільчого пункту та живлення підстанцій заводу магістральними лініями. Розрахунки показали, що найбільш привабливим з технічної зору є варіант з встановленням розподільчого пункту (РП). Живлення цехових ТП від РП відбувається за радіальною схемою.

Розрахунок балансів реактивної потужності для обраної схеми електропостачання заводу показав, що прийнята кількість цехових трансформаторів є оптимальною з мінімальними витратами на компенсацію. Компенсуючі пристрої заплановано встановлювати на стороні середньої та низької напруги заводу.

Розрахунки показали, що небажаною є також перекомпенсація реактивної енергії, оскільки в цьому випадку плата за генеровану в мережу енергосистему реактивну потужність збільшується майже в три рази в порівнянні з платою за споживання реактивної потужності. Для підтримання оптимального коефіцієнту потужності в мережі обрано автоматичний регулятор реактивної потужності.

Для комутації елементів схеми електропостачання обрані сучасні вакуумні вимикачі типу ВРЗ.

Підвищення енергоефективності промислових підприємств можливе завдяки комплексному підходу, що охоплює як технічні, так і організаційні заходи. Важливу роль у зменшенні втрат електроенергії відіграє оптимізація електропостачання — через правильний вибір напруг, схем живлення, конфігурацій мереж і кількості трансформаторів. Особливу увагу слід приділяти регулюванню режимів роботи трансформаторів, використанню

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

компенсаційних пристроїв для реактивної потужності, а також скороченню тривалості та енергоспоживання в режимах холостого ходу.

Крім того, впровадження енергоощадного обладнання, як-от сучасні електроприводи, автоматизовані системи керування та високоефективні джерела освітлення, зокрема світлодіоди, дозволяє досягти суттєвої економії електроенергії. Світлодіодні лампи демонструють значні переваги над традиційними газорозрядними, ртутними та дуговими джерелами світла завдяки вищій світловій віддачі, тривалому ресурсу роботи, відсутності шкідливих речовин та нижчим експлуатаційним витратам.

Річна економія електроенергії від автоматичного регулювання режиму роботи трансформаторної підстанції №1 становить 95583 грн.

Таким чином, системне застосування енергозберігаючих технологій та грамотне техніко-економічне обґрунтування проектних рішень створює передумови для підвищення надійності, ефективності та екологічності енергопостачання підприємств.

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

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Збірник завдань та методичні вказівки до курсового проектування по курсу “Електропостачання промислових підприємств”. – Кіровоград. КДТУ, 2000.
2. Методические указания по выполнению курсового проекта по курсу «Электроснабжение промышленных предприятий» - Кіровоград: КДТУ, 2003.
3. Методические указания к курсовому проекту по электроснабжению цеха. – Кіровоград: КНТУ, 2004.
4. ПУЕ. Правила улаштування електроустановок. - Міненерговугілля України, видання офіційне: Київ, 2014. 736с.
5. Основи ефективного використання електричної енергії в системах електроспоживання промислових підприємств : навч. посіб. / [Соловей О. І., Розен В. П., Плешков П.Г. та ін.] ; М-во освіти і науки України, Кіров. нац. техн. ун-т. – Черкаси: видавець Чабаненко Ю., 2015. – 316 с.
6. Гофманн В., Шлаббах Ю., Юст В. Компенсація реактивної потужності: практичний посібник / пер. з англ. — К.: Wiley, 2012. — 284 с.
7. Ель-Хаварі М.Е. Вступ до систем електропостачання. — Нью-Йорк: Wiley-IEEE Press, 2008. — 376 с.
8. Mercier K., Dawson R., Benya J. Energy efficiency of LED lighting. — U.S. Department of Energy, Energy Efficiency and Renewable Energy (EERE), 2012. — 54 p. — Режим доступу: <https://www.energy.gov/eere>
9. International Energy Agency. Targeting 100% LED lighting sales by 2025: report. — Paris: IEA, 2022. — 18 p. — Режим доступу: <https://www.iea.org/reports/lighting>
10. Piprek J. Efficiency analysis of modern LED technologies // Physica Status Solidi A. — 2020. — Vol. 217(13). — P. 1900899.
11. Cree Inc. Performance evaluation of LED lighting in industrial environments. — Durham, NC, USA: Cree, 2020. — 22 p. — Режим доступу: <https://www.cree.com/>.

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