

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  
\_\_\_\_\_ П. Плешков  
“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2025 р.

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

на тему:

**«Проектування системи електропостачання  
хлібоприймального підприємства  
Design of the power supply system of a grain receiving  
enterprise»**

Виконав здобувач вищої освіти  
IV курсу, групи ЕЕ-22мб  
ОПП «Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка»  
спеціальності 141 «Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка»  
\_\_\_\_\_ С. Додатко  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

Керівник роботи  
доцент, канд. техн. наук  
\_\_\_\_\_ О. Сіріков  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

Рецензент \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

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

Факультет *будівництва, транспорту та енергетики*

Кафедра *електротехнічних систем та енергетичного менеджменту*

Рівень вищої освіти *перший (бакалаврський)*

Галузь знань *14 «Електрична інженерія»*

Спеціальність

*141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»*

Освітньо-професійна програма

*Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка*

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри ЕТС та ЕМ

\_\_\_\_\_ П. Плешков

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

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

*Додатко Сергія Вікторовича*

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи *Проектування системи електропостачання хлібоприймального підприємства*

*Design of the power supply system of a grain receiving enterprise*

2. Керівник роботи *Сіріков Олександр Іванович, к.т.н., доцент*

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

3. Строк подання роботи до захисту *05.06.2025 р.*

4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи *Мета: проектування системи електропостачання хлібоприймального підприємства.*

*Завдання: 1. Вступ. 2. Розрахунок електричних навантажень. 3. Побудова графіків електричних навантажень підприємства. 4. Побудова картограм електричних навантажень. 5. Вибір напруги і електричних схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання підприємства. 6. Режими реактивної потужності системи електропостачання. 7. Вибір кількості, потужності трансформаторів підстанцій підприємства. 8. Розрахунок струмів коротких замкнень та вибір високовольтного обладнання і високовольтних мереж системи електропостачання. 9. Спеціальний розділ. Розробка системи електрозбереження 10. Заключение. 11. Література.*

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

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

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Вступ.</i>	<i>03.03</i>	
2	<i>Розрахунок електричних навантажень підприємства</i>	<i>10.03</i>	
3	<i>Побудова графіків електричних навантажень підприємства</i>	<i>17.03</i>	
4	<i>Побудова картограм електричних навантажень</i>	<i>24.03</i>	
5	<i>Вибір напруги і електричних схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання підприємства</i>	<i>31.03</i>	
6	<i>Режими реактивної потужності системи електропостачання</i>	<i>07.04</i>	
7	<i>Вибір кількості, потужності трансформаторів підстанцій підприємства</i>	<i>14.04</i>	
8	<i>Розрахунок струмів коротких замкнень та вибір високовольтного обладнання і високовольтних мереж системи електропостачання</i>	<i>21.04</i>	
9	<i>Спеціальний розділ. Розробка системи електрозбереження</i>	<i>28.04</i>	
10	<i>Заключення</i>	<i>05.05</i>	
11	<i>Література</i>	<i>12.05</i>	
12	<i>Оформлення розрахунково-пояснювальної записки та графічних матеріалів</i>	<i>19.05</i>	
13	<i>Виконання презентації графічних матеріалів кваліфікаційної роботи</i>	<i>05.06</i>	

Дата видачі завдання

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 р.

Підпис керівника

\_\_\_\_\_ Сіріков О.І.  
(прізвище та ініціали)

Завдання прийнято до виконання

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 р.

Підпис здобувача

\_\_\_\_\_ Додатко С.В.  
(прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: 64 с.; 9 рис.; 25 табл.; 9 джерел

**Додатко С. В. Проектування системи електропостачання хлібоприймального підприємства. – Рукопис.**

Кваліфікаційна робота першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», ОПП «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». – ЦНТУ, Кропивницький, 2025 рік.

В даній кваліфікаційній роботі спроектована системи електропостачання хлібоприймального підприємства.

В першому розділі приведена коротка характеристика технологічного процесу виробництва, а також вихідні данні для проектування. В другому розділі проведено розрахунок силових електричних навантажень, а також розрахунок освітлювальних навантажень. В третьому розділі побудовані графіки електричних навантажень та розраховано їх характеристики. В четвертому розділі виконані розрахунки для побудови картограми навантажень та обрано місце розташування ЦРП. В п'ятому розділі розглянуто питання вибору схем електропостачання шляхом техніко-економічного порівняння варіантів зовнішнього та внутрішнього електропостачання. В шостому розділі розглянуто питання компенсації реактивної потужності: обрано потужність компенсуючих пристроїв та місце їх розташування. В сьомому розділі проведено вибір кількості та потужності трансформаторних підстанцій. В восьмому розділі розраховано струми короткого замкнення в схеми електропостачання, а також проведено вибір сучасного електрообладнання. Спеціальний розділ присвячений системі електрозбереження. Розглянутий загальний підхід та можливі заходи по електрозбереженню. Проведений розрахунок економії електроенергії при переводі трансформаторних підстанцій підприємства на оптимальний графік роботи.

**Ключові слова:** електричне навантаження, вибір схем зовнішнього електропостачання, компенсація реактивної потужності, вибір силового електрообладнання, електрозбереження

## ABSTRACT

Qualification work: 64 p.; 9 Fig.; 25 tables; 9 sources

### **Dodatko S. V. Design of the power supply system of a grain receiving enterprise. - Manuscript.**

Qualification work of the first (bachelor's) level of higher education in specialty 141 "Electrical Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics", EPP "Electrical Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics". – Central National Technical University, Kropyvnytskyi, 2025.

In this qualification work, the power supply system of a grain receiving enterprise is designed.

The first section provides a brief description of the technological process of production, as well as the initial data for design. The second section calculates the power electrical loads, as well as the calculation of lighting loads. The third section builds the graphs of electrical loads and calculates their characteristics. The fourth section performs calculations to build a load map and selects the location of the DCP. The fifth section considers the issue of choosing power supply schemes by means of a technical and economic comparison of external and internal power supply options. The sixth section considers the issue of reactive power compensation: the power of compensating devices and their location are selected. The seventh section selects the number and power of transformer substations. The eighth section calculates the short-circuit currents in power supply schemes, and modern electrical equipment is selected. A special section is devoted to the electricity saving system. The general approach and possible electricity saving measures are considered. The calculation of electricity savings when transferring the enterprise's transformer substations to the optimal operating schedule is performed.

**Key words:** electrical load, selection of external power supply schemes, reactive power compensation, selection of power electrical equipment, electricity saving

## ЗМІСТ

1.	Вступ. Коротка характеристика технологічного процесу хлібоприймального підприємства.....	7
2.	Розрахунок електричних навантажень хлібоприймального підприємства.....	12
2.1.	Розрахунок силових електричних навантажень хлібоприймального підприємства в електричних мережах до 1000 В.....	12
2.2.	Розрахунок освітлювальних навантажень хлібоприймального підприємства .....	12
2.3.	Розрахунок електричних навантажень хлібоприймального підприємства в силових мережах вище 1000 В.....	12
3.	Побудова графіків електричних навантажень хлібоприймального підприємства.....	22
4.	Побудова картограм електричних навантажень хлібоприймального підприємства та вибір місця розташування головної понижувальної підстанції або центрального розподільчого пристрою. ....	27
5.	Техніко-економічне обґрунтування схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання хлібоприймального підприємства.....	30
5.1	Техніко-економічне обґрунтування схем зовнішнього електропостачання підприємства .....	30
5.2	Техніко-економічне обґрунтування схем внутрішнього електропостачання хлібоприймального підприємства. ....	35
6.	Режими реактивної потужності системи електропостачання хлібоприймального підприємства .....	37
6.1	Розрахунок балансу реактивної потужності та вибір компенсуючих пристроїв хлібоприймального підприємства .....	37
6.2	Вибір кількості та місць розташування компенсуючих пристроїв хлібоприймального підприємства. ....	42
7.	Вибір кількості, потужності трансформаторів підстанцій хлібоприймального підприємства .....	43
8.	Розрахунок струмів коротких замкнень та вибір високовольтного обладнання і мереж хлібоприймального підприємства .....	44
9.	Спеціальний розділ. Розробка системи електрозбереження хлібоприймального підприємства.....	50
10.	Заклучення.....	63
11.	Література .....	64

					<b>КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ</b>					
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	Проектування системи електропостачання хлібоприймального підприємства			Літ.	Аркуш	Аркушів
Розроб.		Додатко С.В.								6
Перевір.		Сіріков О.І.			<b>ЦНТУ гр. ЕЕ-22мб</b>					
Н. Контр.		Сіріков О.І.								
Затв.		Плешков П.Г.								





Подальший шлях формування партій йде через підсилосний транспортер і норію, встановлену в робочій башті, на ковшові ваги з дистанційним управлінням. Потім вологе зерно відправляють на сушку.

Для прийому зерна з автомобільного транспорту передбачено приймальне спорудження на чотири проїзди. Зерно на залізо дорожній транспорт подають по двом лініям, що дає можливість одночасно завантажувати два вагона через люки в даху.

Підприємство належить до другої категорії по пожежо- та вибухонебезпеці. В зв'язку з цим на території елеватора постійно протягом доби та року в режимі бойової готовності діє пожежне депо. По безперебійності електропостачання хлібоприймальне підприємство відноситься до другої категорії. Живлення може бути здійснено від підстанції енергосистеми напругою 35 або 10 кВ. Трансформатори працюють окремо. Відстань від підстанції до підприємства 5,6 км. В зв'язку із специфікою технологічного процесу підприємство працює в одну, дві та три зміни в залежності від сезону року та інших виробничих причин. Дані про електроприймачі по підрозділам підприємства наведені в табл. 1.

Таблиця 1. Вихідні дані для розрахунку електричних навантажень хлібоприймального підприємства

№ п/п	Найменування обладнання	Площа	n	P <sub>н</sub> , кВт	
				Одного	Сумарна
1	2	3	4	5	6
1	<b>Склад №1</b>	1040			
	Галерея		2	7,5	15
	Норія		2	5,5	11
	Транспортер		1	15	15
	Вентилятор		2	11	22
2	<b>Склад №2</b>	1350			
	Галерея		2	7,5	15
	Норія		2	5,5	11
	Транспортер		1	15	15
	Вентилятор		2	11	22
3	<b>Склад №3</b>	1560			
	Галерея		2	10	20
	Норія		2	7,5	15
	Транспортер		2	15	30

1	2	3	4	5	6
	Вентилятор		2	20	40
	Електротельфер		2	4	8
	Сушилка		2	30	60
4	<b>Склад №4</b>	1456			
	Галерея		2	10	20
	Норія		2	7,5	15
	Транспортер		2	15	30
	Вентилятор		2	20	40
	Електротельфер		2	4	8
	Сушилка		2	30	60
5	<b>Склад №5</b>	1170			
	Галерея		2	7,5	15
	Норія		2	5,5	11
	Транспортер		1	15	15
	Вентилятор		2	11	22
6	<b>Склад №6</b>	1144			
	Галерея		2	7,5	15
	Норія		2	7,5	15
	Транспортер		2	10	20
	Вентилятор		2	15	30
7	<b>Склад №7</b>	572			
	Галерея		2	5,5	11
	Норія		2	4,5	9
	Транспортер		1	15	15
	Вентилятор		2	7,5	15
8	<b>Склад №8</b>	968			
	Галерея		2	5,5	11
	Норія		2	5,5	11
	Транспортер		2	10	20
	Вентилятор		2	7,5	15
9	<b>Склад №9</b>	468			
	Галерея		1	5,5	5,5
	Норія		1	5,5	5,5
	Транспортер		1	10	10
	Вентилятор		1	7,5	7,5
10	<b>Склад №10</b>	1170			
	Галерея		2	7,5	15
	Норія		2	5,5	11
	Транспортер		1	15	15
	Вентилятор		2	11	22
11	<b>Склад №11</b>	896			
	Галерея		2	5,5	11

1	2	3	4	5	6
	Норія		2	5,5	11
	Транспортер		2	10	20
	Вентилятор		2	7,5	15
12	<b>Майстерня</b>	256			
	Зварювальний апарат		2	15	30
	Компресор		2	12	24
	Гідравлічний прес		2	10	20
	Наждак		2	4	8
	Вертикально-свердлильний верстат		2	6	12
	Токарний верстат		3	12	36
	Деревообробний верстат		3	10	30
	Фрезерувальний верстат		2	10	20
	Свердлильний		1	2	2
	Дереворозпилювальний верстат		1	18	18
	Кран		2	4	8
13	<b>Склад майстерні</b>	288			
14	<b>ДСП-32</b>	182			
	Вентилятор		9	7,0-40	166
	Поливний насос		1	1,1	1,1
	Норія		2	15	30
	Транспортер		1	3	3
15	<b>Пожежне депо</b>	192			
16	<b>ДСП-50</b>	182			
	Вентилятор		3	55,0	165
	Поливний насос		1	2,5	2,5
	Норія		3	15	45
	Транспортер		1	3	3
	Вентилятор високого тиску		1	15	15
	КЕП		1	4,5	4,5
17	<b>Котельня</b>	368			
	Димосос		2	50	100
	Вентилятор		4	10,0-20	60
	Насос ПЕН 40-65		2	30	60
	Насос ПЕН 65-200		2	100	200
	Насос СВ		2	11	22
18	<b>Контора</b>	440			
	Комп'ютер		10	0,35	3,5
	Оргтехніка		6	0,15-3	7,8
	Електронагрівач		4	2	8
	Кондиціонер		4	1,5-3	9



Таблиця 2.1. Розрахунок електричних навантажень хлібоприймального підприємства в мережі до 1000 В.

№ п/п	Найменування обладнання	п	Рн, кВт		Ки	Cos	tg	Середнє		К <sub>м</sub>	Розрахункове			
			Одного	Сумарна				Рер, кВт	Qер, квар		Рр, кВт	Qр, квар	Sp, кВА	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	<b>Склад №1</b>													
1	Галерея	2	7,5	15	0,7	0,85	0,62	10,5	6,5					
2	Норія	2	5,5	11	0,8	0,8	0,75	8,8	6,6					
3	Транспортер	1	15	15	0,5	0,8	0,75	7,5	5,6					
4	Вентилятор	2	11	22	0,8	0,85	0,62	17,6	10,9					
	Всього по складу №1	7	5,5-15	63	0,70	0,83	0,67	44,4	29,64	7	1,21	53,7	32,6	62,8
	<b>Склад №2</b>													
5	Галерея	2	7,5	15	0,7	0,85	0,62	10,5	6,5					
6	Норія	2	5,5	11	0,8	0,8	0,75	8,8	6,6					
7	Транспортер	1	15	15	0,5	0,8	0,75	7,5	5,6					
8	Вентилятор	2	11	22	0,8	0,85	0,62	17,6	10,9					
	Всього по складу №2	7	5,5-15	63	0,70	0,83	0,67	44,4	29,64	7	1,21	53,7	32,6	62,8
	<b>Склад №3</b>													
9	Галерея	2	10	20	0,7	0,85	0,62	14,0	8,7					
10	Норія	2	7,5	15	0,8	0,8	0,75	12,0	9,0					
11	Транспортер	2	15	30	0,5	0,8	0,75	15,0	11,3					
12	Вентилятор	2	20	40	0,8	0,85	0,62	32,0	19,8					
13	Електротельфер	2	4	8	0,05	0,65	1,17	0,4	0,5					
14	Сушилка	2	30	60	0,9	1	0,00	54,0	0,0					
	Всього по складу №3	12	4,0-30	173	0,74	0,93	0,39	127,4	49,2	12	1,1	140,1	49,2	148,5
	<b>Склад №4</b>													
15	Галерея	2	10	20	0,7	0,85	0,62	14	8,68					
16	Норія	2	7,5	15	0,8	0,8	0,75	12	9,00					
17	Транспортер	2	15	30	0,5	0,8	0,75	15	11,25					
18	Вентилятор	2	20	40	0,8	0,85	0,62	32	19,83					
19	Електротельфер	2	4	8	0,05	0,65	1,17	0,4	0,47					
20	Сушилка	2	30	60	0,9	1	0,00	54	0,00					
	Всього по складу №4	12	4,0-30	173	0,74	0,93	0,39	127,40	49,23	12	1,1	140,1	49,23	148,5

Продовження табл. 2.1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	<b>Склад №5</b>													
21	Галерея	2	7,5	15	0,7	0,85	0,62	10,5	6,5					
22	Норія	2	5,5	11	0,8	0,8	0,75	8,8	6,6					
23	Транспортер	1	15	15	0,5	0,8	0,75	7,5	5,6					
24	Вентилятор	2	11	22	0,8	0,85	0,62	17,6	10,9					
	Всього по складу №5	7	5,5-15	63	0,70	0,83	0,67	44,4	29,6	7	1,21	53,7	32,6	62,8
	<b>Склад №6</b>													
25	Галерея	2	7,5	15	0,7	0,85	0,62	10,5	6,5					
26	Норія	2	7,5	15	0,8	0,8	0,75	12,0	9,0					
27	Транспортер	2	10	20	0,5	0,8	0,75	10,0	7,5					
28	Вентилятор	2	15	30	0,8	0,85	0,62	24,0	14,9					
	Всього по складу №6	8	7,5-15	80	0,71	0,83	0,67	56,5	37,9	8	1,2	67,8	41,7	79,6
	<b>Склад №7</b>													
29	Галерея	2	5,5	11	0,7	0,85	0,62	7,7	4,8					
30	Норія	2	4,5	9	0,8	0,8	0,75	7,2	5,4					
31	Транспортер	1	15	15	0,5	0,8	0,75	7,5	5,6					
32	Вентилятор	2	7,5	15	0,8	0,85	0,62	12,0	7,4					
	Всього по складу №7	7	4,5-15	50	0,69	0,83	0,68	34,4	23,2	7	1,22	42,0	25,6	49,1
	<b>Склад №8</b>													
33	Галерея	2	5,5	11	0,7	0,85	0,62	7,7	4,8					
34	Норія	2	5,5	11	0,8	0,8	0,75	8,8	6,6					
35	Транспортер	2	10	20	0,5	0,8	0,75	10,0	7,5					
36	Вентилятор	2	7,5	15	0,8	0,85	0,62	12,0	7,4					
	Всього по складу №8	8	5,5-10	57	0,68	0,83	0,68	38,5	26,3	8	1,22	47,0	28,9	55,2
	<b>Склад №9</b>													
37	Галерея	1	5,5	5,5	0,7	0,85	0,62	3,9	2,4					
38	Норія	1	5,5	5,5	0,8	0,8	0,75	4,4	3,3					
39	Транспортер	1	10	10	0,5	0,8	0,75	5,0	3,8					
40	Вентилятор	1	7,5	7,5	0,8	0,85	0,62	6,0	3,7					
	Всього по складу №9	4	5,5-10	28,5	0,68	0,83	0,68	19,3	13,2	4	1,31	25,2	14,5	29,1

Продовження табл. 2.1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	<b>Склад №10</b>													
41	Галерея	2	7,5	15	0,7	0,85	0,62	10,5	6,5					
42	Норія	2	5,5	11	0,8	0,8	0,75	8,8	6,6					
43	Транспортер	1	15	15	0,5	0,8	0,75	7,5	5,6					
44	Вентилятор	2	11	22	0,8	0,85	0,62	17,6	10,9					
	Всього по складу №10	7	5,5-15	63	0,70	0,83	0,67	44,4	29,6	7	1,21	53,7	32,6	62,8
	<b>Склад №11</b>													
45	Галерея	2	5,5	11	0,7	0,85	0,62	7,7	4,8					
46	Норія	2	5,5	11	0,8	0,8	0,75	8,8	6,6					
47	Транспортер	2	10	20	0,5	0,8	0,75	10,0	7,5					
48	Вентилятор	2	7,5	15	0,8	0,85	0,62	12,0	7,4					
	Всього по складу №11	8	5,5-10	57	0,68	0,83	0,68	38,5	26,3	8	1,22	47,0	28,9	55,2
	<b>Майстерня</b>													
49	Зварювальний апарат	2	15	30	0,3	0,35	2,68	9,0	24,1					
50	Компресор	2	12	24	0,7	0,8	0,75	16,8	12,6					
51	Гідравлічний прес	2	10	20	0,3	0,6	1,33	6,0	8,0					
52	Наждак	2	4	8	0,12	0,4	2,29	1,0	2,2					
53	Вертикально-свердильний верстат	2	6	12	0,12	0,4	2,29	1,4	3,3					
54	Токарний верстат	3	12	36	0,12	0,4	2,29	4,3	9,9					
55	Деревообробний верстат	3	10	30	0,12	0,4	2,29	3,6	8,2					
56	Фрезерувальний верстат	2	10	20	0,12	0,4	2,29	2,4	5,5					
57	Свердильний	1	2	2	0,12	0,4	2,29	0,2	0,5					
58	Дереворозпилувальний верстат	1	18	18	0,12	0,4	2,29	2,2	4,9					
59	Кран	2	4	8	0,05	0,5	1,73	0,4	0,7					
	Всього по майстерні	22	2,0-18	208	0,23	0,51	1,69	47,3	80,0	22	1,45	68,6	80,0	105,4
	<b>ДСП-32</b>													
60	Вентилятор	9	7,0-40	166	0,9	0,85	0,62	149,4	92,6					
61	Поливний насос	1	1,1	1,1	0,8	0,8	0,75	0,9	0,7					
62	Норія	2	15	30	0,8	0,8	0,75	24,0	18,0					
63	Транспортер	1	3	3	0,5	0,8	0,75	1,5	1,1					
	Всього по ДСП-32	13	1,1-40	200,1	0,88	0,84	0,64	175,78	112,37	10	1,05	184,6	123,6	222,1

Продовження табл. 2.1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	<b>ДСП-50</b>													
64	Вентилятор	3	55	165	0,9	0,85	0,62	148,5	92,0					
65	Поливний насос	1	2,5	2,5	0,8	0,8	0,75	2,0	1,5					
66	Норія	3	15	45	0,8	0,8	0,75	36,0	27,0					
67	Транспортер	1	3	3	0,5	0,8	0,75	1,5	1,1					
68	Вентилятор високого тиску	1	15	15	0,9	0,9	0,48	13,5	6,5					
69	КЕП	1	4,5	4,5	0,7	0,85	0,62	3,2	2,0					
	Всього по ДСП-50	10	2,5-55	235	0,87	0,84	0,64	204,65	130,15	9	1,05	214,9	143,2	258,2
	<b>Котельня</b>													
70	Димосос	2	50	100	0,7	0,8	0,75	70,0	52,5					
71	Вентилятор	4	10,0-20	60	0,7	0,8	0,75	42,0	31,5					
72	Насос ПЕН 40-65	2	30	60	0,8	0,8	0,75	48,0	36,0					
73	Насос ПЕН 65-200	2	100	200	0,8	0,8	0,75	160,0	120,0					
74	Насос СВ	2	11	22	0,8	0,8	0,75	17,6	13,2					
	Всього по котельня	12	11-100	442	0,76	0,8	0,75	337,6	253,2	9	1,1	371,4	278,5	464,2
	<b>Конгора</b>													
75	Комп'ютер	10	0,35	3,5	0,6	0,7	1,02	2,1	2,14					
76	Оргтехніка	6	0,15-3	7,8	0,15	0,4	2,29	1,17	2,68					
74	Електронагрівач	4	2	8	0,2	0,8	0,75	1,6	1,20					
75	Кондиціонер	4	1,5-3	9	0,6	0,8	0,75	5,4	4,05					
	Всього по конгорі	24	0,15-3	28,3	0,36	0,71	0,98	10,27	10,07	19	1,4	14,4	10,07	17,6
	Всього по підприємству	168	0,15-100	1983,9	0,70	0,83	0,67	1395,2	929,7	20	1,04	1451,0	929,72	1723,3

Таблиця 2.2. Розрахунок освітлювального навантаження хлібоприймального підприємства.

№ п\п	Найменування підрозділу	F, м <sup>2</sup>	P <sub>0</sub> , Вт/м <sup>2</sup>	P <sub>у</sub> , кВт	tg	Q <sub>у</sub> , квар	K <sub>с</sub>	P <sub>р</sub> , кВт	Q <sub>р</sub> , квар	S <sub>р,кВА</sub>
1	Склад №1	1040	8	8,32	1,73	14,39	0,8	6,66	11,51	13,3
2	Склад №2	1350	8	10,80	1,73	18,68	0,8	8,64	14,95	17,3
3	Склад №3	1560	8	12,48	1,73	21,59	0,8	9,98	17,27	20,0
4	Склад №4	1456	8	11,65	1,73	20,15	0,8	9,32	16,12	18,6
5	Склад №5	1170	8	9,36	1,73	16,19	0,8	7,49	12,95	15,0
6	Склад №6	1144	8	9,15	1,73	15,83	0,8	7,32	12,67	14,6
7	Склад №7	572	8	4,58	1,73	7,92	0,8	3,66	6,33	7,3
8	Склад №8	968	8	7,74	1,73	13,40	0,8	6,20	10,72	12,4
9	Склад №9	468	8	3,74	1,73	6,48	0,8	3,00	5,18	6,0
10	Склад №10	1170	8	9,36	1,73	16,19	0,8	7,49	12,95	15,0
11	Склад №11	896	8	7,17	1,73	12,40	0,8	5,73	9,92	11,5
12	Майстерня	256	16	4,10	1,73	7,09	0,9	3,69	6,38	7,4
13	Склад майстерні	288	8	2,30	1,73	3,99	0,5	1,15	1,99	2,3
14	ДСП-32	182	12	2,18	1,73	3,78	0,8	1,75	3,02	3,5
15	Пожежне дело	192	14	2,69	1,73	4,65	0,6	1,61	2,79	3,2
16	ДСП-50	182	12	2,18	1,73	3,78	0,8	1,75	3,02	3,5
17	Котельня	368	14	5,15	0,48	2,47	0,8	4,12	1,98	4,6
18	Контора	440	18	7,92	0,48	3,80	0,9	7,13	3,42	7,9
19	Освітлення території	52300	0,1	5,23	1,73	9,05	1	5,23	9,05	10,5
Всього по підприємству				126,11		201,83		101,9	162,2	191,6

Таблиця 2.3. Розрахунок електричних навантажень хлібоприймального підприємства в мережі вище 1000 В.

№ п/п	Найменування обладнання	n	P <sub>н</sub> , кВт		Ки	Cos	tg	Середнє		K <sub>м</sub>	Розрахункове			
			Одного	Сумарна				P <sub>ср</sub> , кВт	Q <sub>ср</sub> , кВт		P <sub>р</sub> , кВт	Q <sub>р</sub> , кВт	Sp, кВА	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	<b>ТП-1</b>													
17	<b>Котельня</b>													
	Силова	12	11-100	442	0,76	0,8	0,8	337,6	253,2	9	1,1	371,4	278,5	464,2
	Освітлення							5,15	2,47			4,12	1,98	4,57
	Всього по котельні											375,5	280,5	468,7
18	<b>Конгора</b>													
	Силова	24	0,15-3	28,3	0,36	0,71	1	10,3	10,1	19	1,4	14,4	10,1	17,6
	Освітлення							7,9	3,8			7,1	3,4	7,9
	Всього по конторі											21,5	13,5	25,4
8	<b>Склад №8</b>													
	Силова	8	5,5-10	57	0,68	0,83	0,7	38,5	26,3	8	1,22	47,0	28,9	55,2
	Освітлення							7,7	13,4			6,2	10,7	12,4
	Всього по складу №8											53,2	39,7	66,3
15	<b>Пожежне депо</b>													
	Освітлення							2,7	4,7			1,6	2,8	3,2
	Всього по пожежному депо											1,6	2,8	3,2
7	<b>Склад №7</b>													
	Силова	7	4,5-15	50	0,69	0,83	0,7	34,4	23,2	7	1,22	42,0	25,6	49,1
	Освітлення							4,6	7,9			3,7	6,3	7,3
	Всього по складу №7											45,6	31,9	55,7
9	<b>Склад №9</b>													
	Силова	4	5,5-10	28,5	0,68	0,83	0,7	19,3	13,2	4	1,31	25,2	14,5	29,1
	Освітлення							3,7	6,5			3,0	5,2	6,0
	Всього по складу №9											28,2	19,7	34,4
	<b>Всього по ТП-1</b>													
	Силова	55	0,15-100	605,8	0,73	0,80	0,74	440,0	326,0	12	1,1	484,0	326,0	583,6
	Освітлення							31,8	38,7			25,7	30,4	39,8
	Всього по ТП-1											509,7	356,4	622,0

Продовження табл. 2.3.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	КП 0,4 кВ												200	
	Всього по ТП-1 з КП											509,7	156,4	533,2
	Втрати в тр-рах ТП-1 2×400											7,8	32,8	
	Всього на шинах 10 кВ ТП-1											517,52	189,18	551,0
	<b>ТП-2</b>													
16	<b>ДСП-50</b>													
	Силова	10	2,5-55	235	0,87	0,84	0,6	204,7	130,1	9	1,05	214,9	143,2	258,2
	Освітлення							2,2	3,8			1,7	3,0	3,5
	Всього по ДСП-50											216,6	146,2	261,3
6	<b>Склад №6</b>													
	Силова	8	7,5-15	80	0,71	0,83	0,7	56,5	37,9	8	1,2	67,8	41,7	79,6
	Освітлення							9,2	15,8			7,3	12,7	14,6
	Всього по складу №6											75,1	54,3	92,7
5	<b>Склад №5</b>													
	Силова	7	5,5-15	63	0,7	0,83	0,7	44,4	29,6	7	1,21	53,7	32,6	62,8
	Освітлення							9,4	16,2			7,5	13,0	15,0
	Всього по складу №5											61,21	45,56	76,3
4	<b>Склад №4</b>													
	Силова	12	4,0-30	173	0,74	0,93	0,4	127,4	49,2	12	1,1	140,1	49,2	148,5
	Освітлення							11,6	20,2			9,3	16,1	18,6
	Всього по складу №4											149,46	65,35	163,1
10	<b>Склад №10</b>													
	Силова	7	5,5-15	63	0,7	0,83	0,7	44,4	29,6	7	1,21	53,7	32,6	62,8
	Освітлення							9,4	16,2			7,5	13,0	15,0
	Всього по складу №10											61,2	45,6	76,3
	<b>Всього по ТП-2</b>													
	Силова	44	2,5-55	614	0,78	0,87	0,58	477,4	276,5	22	1,07	510,8	276,5	580,8
	Освітлення							41,7	72,1			33,4	57,7	66,7
	Всього по ТП-2											544,1	334,3	638,6
	<b>КП 0,4 кВ</b>												332	

Продовження табл. 2.3.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	Всього по ТП-2 з КП											544,1	2,3	544,1
	Втрати в тр-рах ТП-2 2×400											8,0	33,5	
	Всього на шинах 10 кВ ТП-2											552,12	35,71	553,3
	<b>ТП-3</b>													
1	<b>Склад №1</b>													
	Силова	7	5,5-15	63	0,7	0,83	0,7	44,4	29,6	7	1,21	53,7	32,6	62,8
	Освітлення							8,3	14,4			6,7	11,5	13,3
	Всього по складу №1											60,4	44,1	74,8
2	<b>Склад №2</b>													
	Силова	7	5,5-15	63	0,7	0,83	0,7	44,4	29,6	7	1,21	53,7	32,6	62,8
	Освітлення							10,8	18,7			8,6	14,9	17,3
	Всього по складу №2											62,4	47,6	78,4
3	<b>Склад №3</b>													
	Силова	12	4,0-30	173	0,74	0,93	0,4	127,4	49,2	12	1,1	140,1	49,2	148,5
	Освітлення							12,5	21,6			10,0	17,3	20,0
	Всього по складу №3											150,1	66,5	164,2
11	<b>Склад №11</b>													
	Силова	8	5,5-10	57	0,68	0,83	0,7	38,5	26,3	8	1,22	47,0	28,9	55,2
	Освітлення							7,2	12,4			5,7	9,9	11,5
	Всього по складу №11											52,7	38,9	65,5
12	<b>Майстерня</b>													
	Силова	22	2,0-18	208	0,23	0,51	1,7	47,3	80,0	22	1,45	68,6	80,0	105,4
	Освітлення							4,1	7,1			3,7	6,4	7,4
	Всього по майстерні											72,3	86,4	112,7
13	<b>Склад майстерні</b>													
	Освітлення							2,3	4,0			1,2	2,0	2,3
	Всього по майстерні											1,2	2,0	2,3
14	<b>ДСП-32</b>													
	Силова	13	1,1-40	200,1	0,88	0,84	0,6	175,8	112,4	10	1,05	184,6	123,6	222,1
	Освітлення							2,2	3,8			1,7	3,0	3,5
	Всього по майстерні											186,3	126,6	225,3

Продовження табл. 2.3.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	Освітлення території заводу							5,23	9,05			5,2	9,0	10,5
	Всього по ТП-3													
	Силова	69	1,1-40	764,1	0,63	0,83	0,68	477,8	327,2	46	1,07	511,2	327,2	607,0
	Освітлення							52,6	91,0			42,8	74,1	85,6
	Всього по ТП-3											554,1	401,3	684,1
	КП 0,4 кВ												400	
	Всього по ТП-3 з КП											554,08	1,31	554,1
	Втрати в тр-рах ТП-3 2×400											8,18	34,07	
	Всього на шинах 10 кВ ТП-3											562,25	35,38	563,4
	<b>Всього по заводу на шинах 10 кВ</b>													
	Силова	168	0,15-100	1983,9	0,70	0,83	0,67	1395,2	929,7	20	1,04	1451,0	929,7	1723,3
	Освітлення							126,1	201,8			101,9	162,2	
	Всього по ТП з урахуванням освітлення							1521,3	1131,5			1552,9	1092,0	1898,4
	КП 0,4 кВ												932,0	
	Всього по ТП з КП											1552,9	160,0	1561,1
	Втрати в тр-рах ТП 6×400											24,0	100,3	
	Всього по заводу на шинах ТП 10 кВ											1576,84	260,27	1598,17
	КП 10 кВ												0,00	
	<b>Всього на шинах 10 кВ заводу</b>											<b>1576,84</b>	<b>260,27</b>	<b>1598,2</b>

### 3. Побудова графіків електричних навантажень хлібоприймального підприємства.

Методика розрахунку характеристик графіків електричних навантажень, а також порядок їх побудови, детально викладені в [1–4], тому у цьому розділі вони не розглядаються повторно. Для виконання обчислень та побудови відповідних графіків використано математичний програмний пакет Mathcad, що забезпечує високу точність і наочність результатів. Нижче подано відповідні скріншоти.

#### Побудова графіків роботи підприємства

1. Активне розрахункове навантаження:

$$P_{\max} := 1605.52 \text{ кВт}$$

2. Реактивне розрахункове навантаження:

$$Q_{\max} := 1224.24 \text{ квар}$$

$$T_{\text{лето\_р}} := 105 \quad T_{\text{лето\_в}} := 48$$

$$T_{\text{зима\_р}} := 147 \quad T_{\text{зима\_в}} := 65$$

$$T_{\Gamma} = 365$$

3. Задання графіка навантаження (в %) для кожної ступені графіка (1 - для активної потужності, 2 - для реактивної потужності):

Робочі дні

	1	2
1	45	62
2	45	62
3	45	62
4	45	65
5	45	65
6	45	85
7	80	95
8	82	95
9	90	95
10	100	100
11	90	95
12	80	90
13	70	90
14	60	80
15	60	80
16	60	80
17	65	90
18	55	70
19	45	65
20	45	65
21	45	62
22	45	62
23	45	62
24	45	62

Вихідні дні

	1	2
1	20	25
2	20	25
3	20	25
4	20	25
5	20	25
6	20	25
7	20	25
8	20	25
9	15	20
10	15	20
11	15	20
12	15	20
13	15	20
14	15	20
15	15	20
16	15	20
17	15	20
18	20	25
19	20	25
20	20	25
21	20	25
22	20	25
23	20	25
24	20	25

4. Обчислення сходинок графіка навантаження:

1. літні робочі дні
2. зимні робочі дні
3. літні вихідні дні
4. зимні вихідні дні

Power\_1 =

	1	2	3
1	614	645	891
2	614	645	891
3	614	645	891
4	614	676	914
5	614	676	914
6	614	885	1077
7	1092	989	1473
8	1119	989	1493
9	1228	989	1577
10	1365	1041	1716
11	1228	989	1577
12	1092	937	1438
13	955	937	1338
14	819	832	1168
15	819	832	1168
16	819	832	1168
17	887	937	1290
18	751	728	1046
19	614	676	914
20	614	676	914
21	614	645	891
22	614	645	891
23	614	645	891
24	614	645	891

Power\_2 =

	1	2	3
1	722	759	1048
2	722	759	1048
3	722	759	1048
4	722	796	1075
5	722	796	1075
6	722	1041	1267
7	1284	1163	1733
8	1317	1163	1757
9	1445	1163	1855
10	1606	1224	2019
11	1445	1163	1855
12	1284	1102	1692
13	1124	1102	1574
14	963	979	1374
15	963	979	1374
16	963	979	1374
17	1044	1102	1518
18	883	857	1231
19	722	796	1075
20	722	796	1075
21	722	759	1048
22	722	759	1048
23	722	759	1048
24	722	759	1048

Power\_3 =

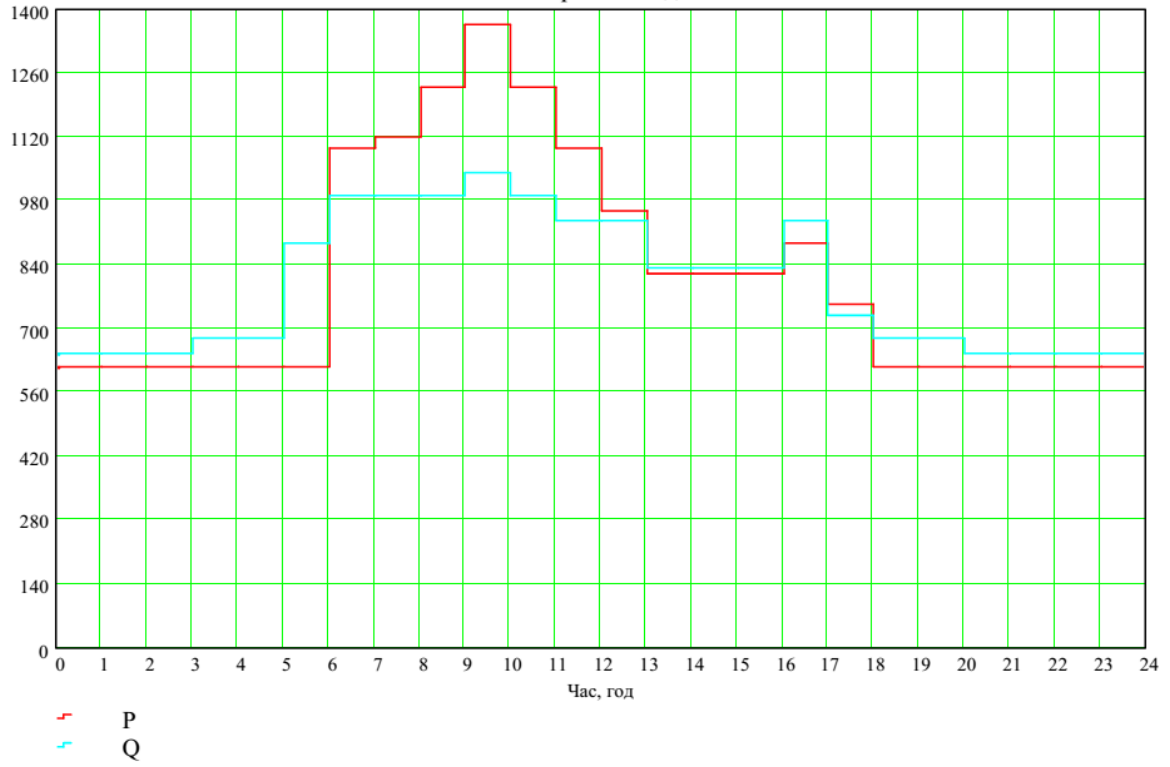
	1	2	3
1	273	260	377
2	273	260	377
3	273	260	377
4	273	260	377
5	273	260	377
6	273	260	377
7	273	260	377
8	273	260	377
9	205	208	292
10	205	208	292
11	205	208	292
12	205	208	292
13	205	208	292
14	205	208	292
15	205	208	292
16	205	208	292
17	205	208	292
18	273	260	377
19	273	260	377
20	273	260	377
21	273	260	377
22	273	260	377
23	273	260	377
24	273	260	377

Power\_4 =

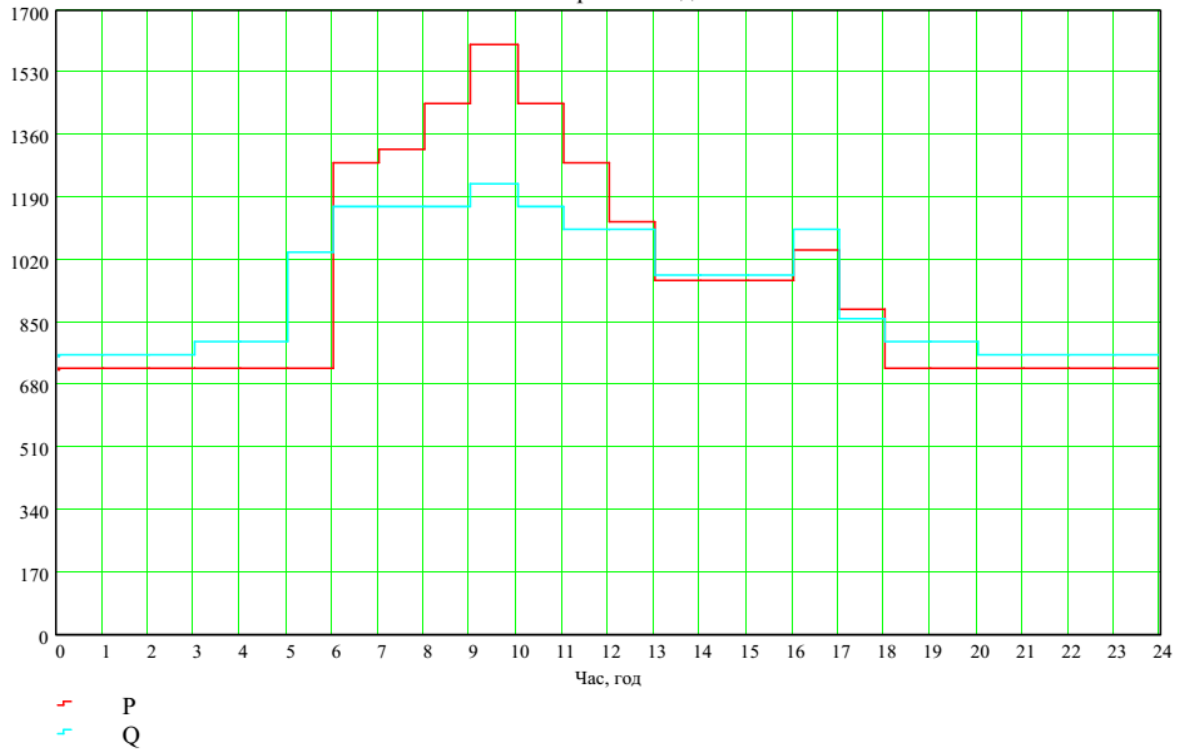
	1	2	3
1	321	306	444
2	321	306	444
3	321	306	444
4	321	306	444
5	321	306	444
6	321	306	444
7	321	306	444
8	321	306	444
9	241	245	343
10	241	245	343
11	241	245	343
12	241	245	343
13	241	245	343
14	241	245	343
15	241	245	343
16	241	245	343
17	241	245	343
18	321	306	444
19	321	306	444
20	321	306	444
21	321	306	444
22	321	306	444
23	321	306	444
24	321	306	444

- 1 - активна потужність
- 2 - реактивна потужність
- 3 - повна потужність

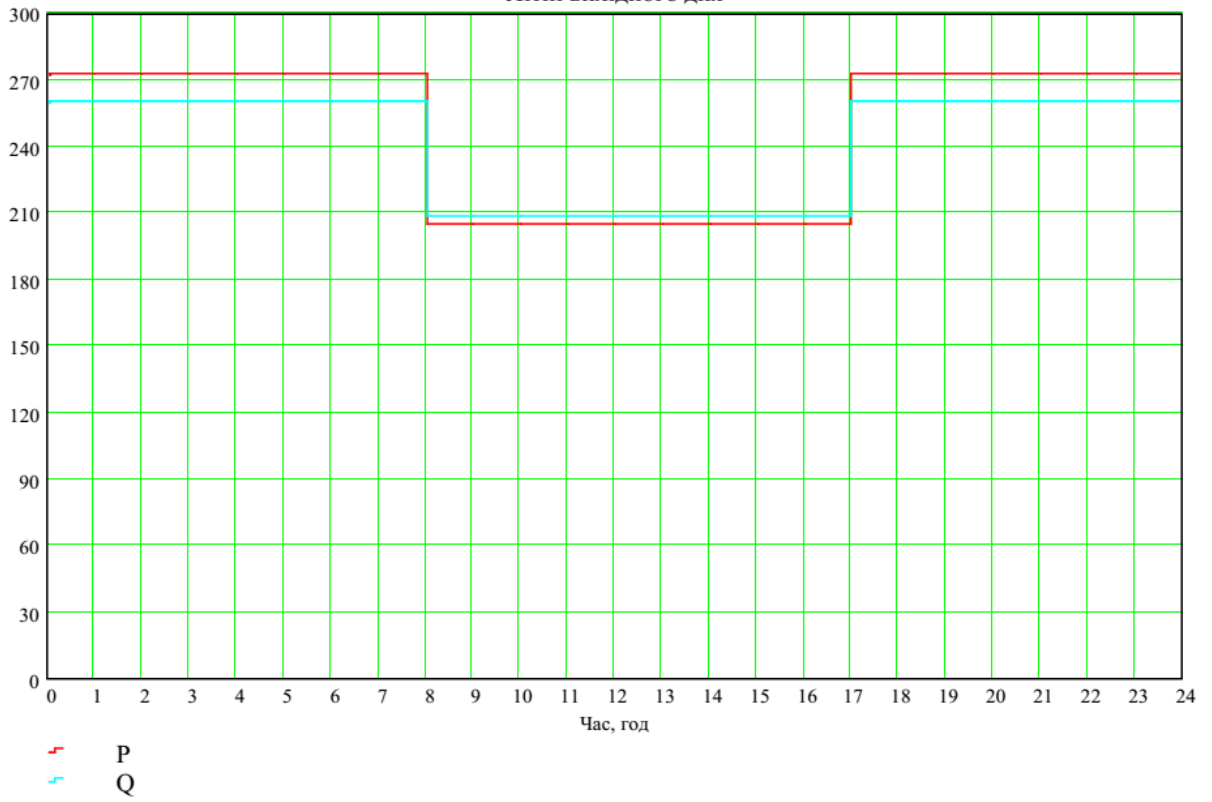

Літні робочого дня



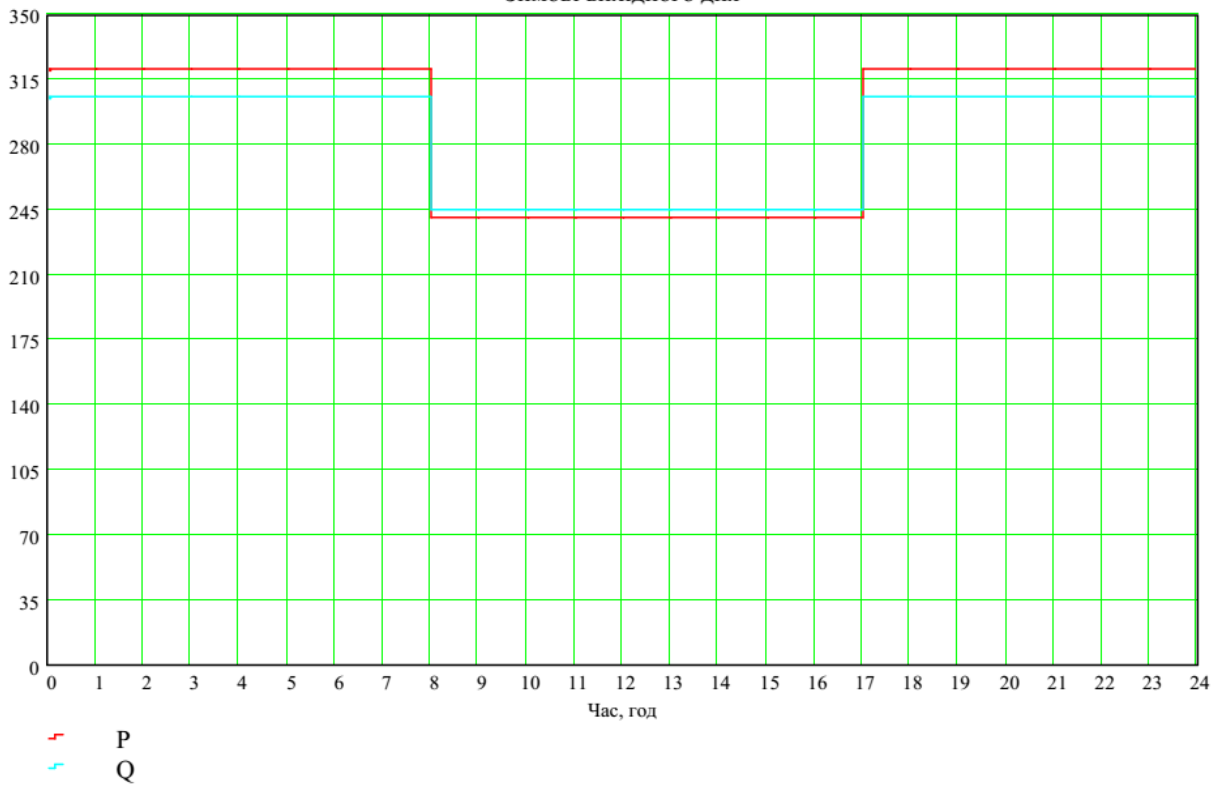
Зимові робочого дня



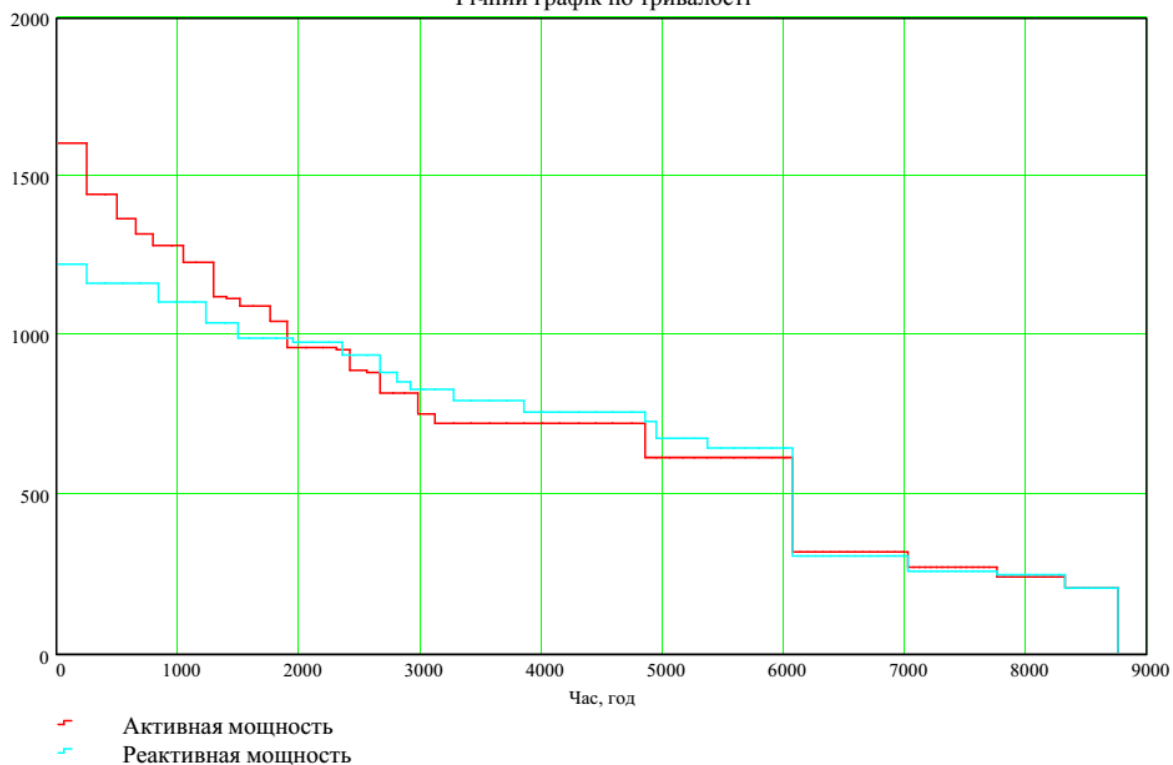
Літні вихідного дня



Зимові вихідного дня



Річний графік по тривалості



Споживання активної енергії за літню вихідну добу, кВт·год:  $W_{\text{лето\_в}} = 5936$

Споживання активної енергії за літню робочу добу, кВт·год:  $W_{\text{лето\_р}} = 19542$

Споживання активної енергії за зимову вихідну добу, кВт·год:  $W_{\text{зима\_в}} = 6984$

Споживання активної енергії за зимову робочу добу, кВт·год:  $W_{\text{зима\_р}} = 22991$

Споживання реактивної енергії за літню вихідну добу, квар·год:  $V_{\text{лето\_в}} = 5775$

Споживання реактивної енергії за літню робочу добу, квар·год:  $V_{\text{лето\_р}} = 19137$

Споживання реактивної енергії за зимову вихідну добу, квар·год:  $V_{\text{зима\_в}} = 6795$

Споживання реактивної енергії за зимову робочу добу, квар·год:  $V_{\text{зима\_р}} = 22514$

Річне споживання активної енергії, кВт·год:  $W_{\Gamma} = 6170543$

Річне споживання реактивної енергії, квар·год:  $V_{\Gamma} = 6037740$

Кількість годин використання максимуму потужності, год:  $T_{\text{max}} = 4276$

Річний час максимальних втрат, год:  $\tau = 2601$


#### 4. Побудова картограм електричних навантажень хлібоприймального підприємства та вибір місця розташування головної понижувальної підстанції або центрального розподільчого пристрою.

Розрахунок проведемо за методикою з [2-4].

Для прикладу наведемо побудову для Складу №1, приймемо, що масштаб  $m = 0,1$  кВт/мм<sup>2</sup>:

Радіус кола для Складу №1:

$$R_1 = \sqrt{\frac{P_1}{\pi m}} = \sqrt{\frac{60,36}{\pi \cdot 0,1}} = 14 \text{ мм},$$

Сектор, що відповідає освітлювальному навантаженню Складу №1:

$$\alpha_i = \frac{P_{i.осв} \cdot 360}{P_1} = \frac{6,66 \cdot 360}{60,36} = 40^\circ.$$

Розрахунок радіус кіл і секторів для інших будівель і приміщень хлібоприймального підприємства є подібним, результати розрахунку наведені в табл. 4.

Розрахуємо координати центру електричних навантажень (ЦЕН) хлібоприймального підприємства:

$$X_0 = \frac{\sum_{i=1}^n X_i \cdot P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} = 286546,90/1706,39 = 168 \text{ м},$$

$$Y_0 = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i \cdot P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} = 206516/1706,39 = 121 \text{ м}.$$

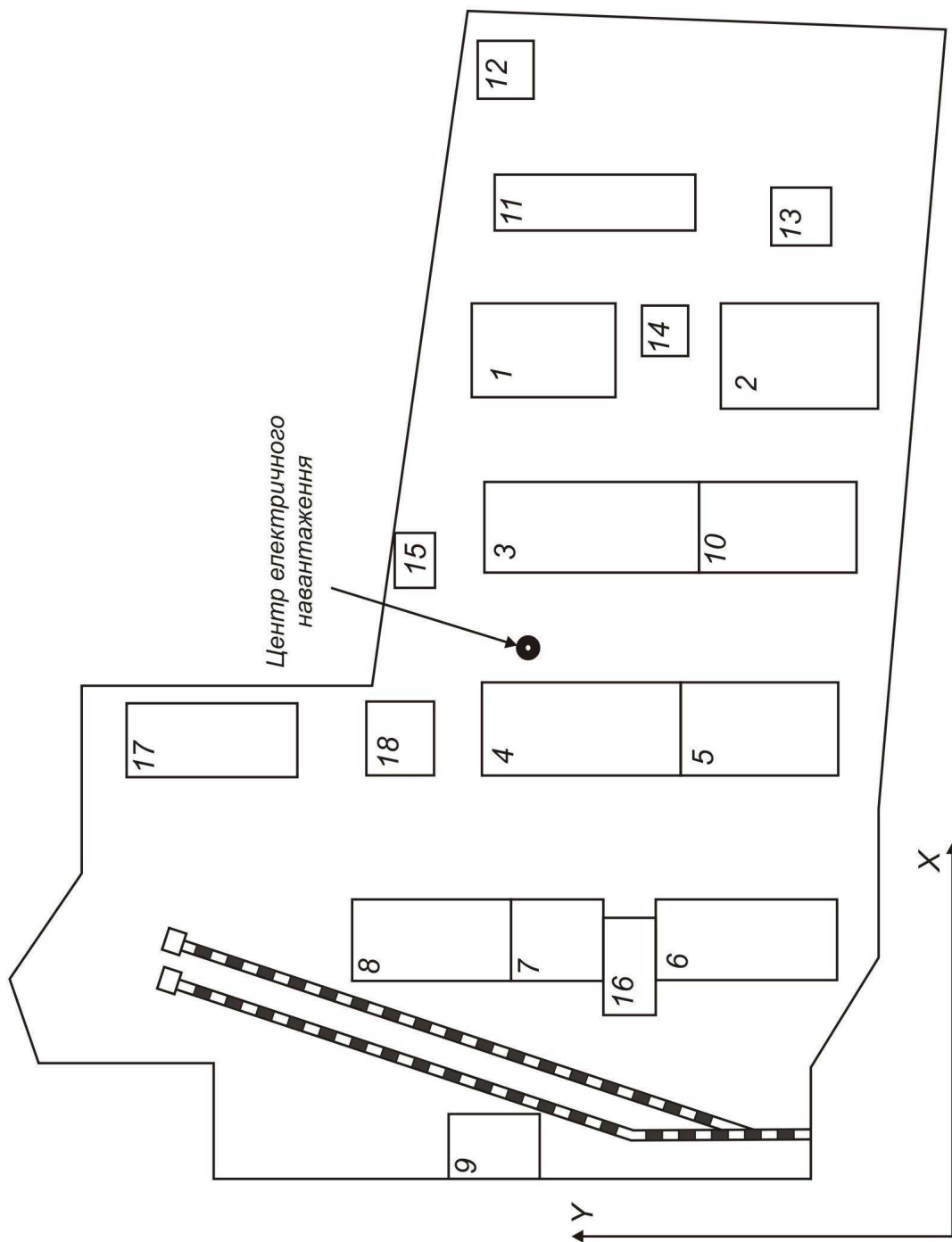
Отже, ЦЕН хлібоприймального підприємства знаходиться в точці з координатами  $X = 168$  м,  $Y = 121$  м. Генплан хлібоприймального підприємства з нанесенням ЦЕН показано на рис. 4.

Таблиця 4. Розрахунок картограми електричних навантажень хлібоприміального підприємства.

№	Найменування цеху або відділення	$P_{р\text{ сил}}$ , кВт	$P_{р\text{ осв}}$ , кВт	$\Sigma P_{р}$ , кВт	R, мм	$\alpha$ , град	X, м	Y, м	PX, кВт·м	PY, кВт·м
1	Склад №1	53,7	6,66	60,36	14	40	252	116	15210,72	7002
2	Склад №2	53,7	8,64	62,34	14	50	250	44	15585,00	2743
3	Склад №3	140,1	9,98	150,08	22	24	202	108	30316,16	16209
4	Склад №4	140,1	9,32	149,42	22	22	144	106	21516,48	15839
5	Склад №5	64,6	7,49	72,09	15	37	144	56	10380,96	4037
6	Склад №6	67,8	7,32	75,12	15	35	84	60	6310,08	4507
7	Склад №7	42,0	3,66	45,66	12	29	84	114	3835,44	5205
8	Склад №8	47,0	6,20	53,20	13	42	84	148	4468,80	7874
9	Склад №9	25,2	3,00	28,20	9	38	26	130	733,20	3666
10	Склад №10	53,7	7,49	61,19	14	44	202	50	12360,38	3060
11	Склад №11	58,0	5,73	63,73	14	32	296	102	18864,08	6500
12	Майстерня	68,6	3,69	72,29	15	18	332	128	24000,28	9253
13	Склад майстерні	0,0	1,15	1,15	2	360	290	44	333,50	51
14	ДСП-32	184,6	1,75	186,35	24	3	260	82	48451,00	15281
15	Пожежне депо	0,0	1,61	1,61	2	360	192	154	309,12	248
16	ДСП-50	214,9	1,75	216,65	26	3	78	92	16898,70	19932
17	Котельня	381,3	4,12	385,42	35	4	140	212	53958,80	81709
18	Контора	14,4	7,13	21,53	8	119	140	158	3014,20	3402
	Всього			1706,39					286546,90	206516

## Експлікація споруд

1. Склад №1
2. Склад №2
3. Склад №3
4. Склад №4
5. Склад №5
6. Склад №6
7. Склад №7
8. Склад №8
9. Склад №9
10. Склад №10
11. Склад №11
12. Майстерня
13. Склад майстерні
14. ДСП-32
15. Пожежне дело
16. ДСП-50
17. Котельня
18. Контора



Масштаб 1:2000

Рис. 4. Генплан хлібоприймального підприємства з нанесенням ЦЕН.

## 5. Техніко-економічне обґрунтування схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання хлібоприймального підприємства

Вибір рівня напруги та схеми електропостачання хлібоприймального підприємства здійснено відповідно до методичних рекомендацій з [1-4].

### 5.1 Техніко-економічне обґрунтування схем зовнішнього електропостачання підприємства

Хлібоприймальне підприємство може отримувати електроенергію від підстанції енергосистеми з трьома класами напруги: 150 кВ, 35 кВ або 10 кВ. Проте варіант живлення напругою 150 кВ не розглядається, оскільки встановлена потужність споживача є відносно невеликою і не виправдовує застосування такого високого класу напруги з економічної точки зору. Таким чином, доцільно проаналізувати та порівняти лише два варіанти зовнішнього електропостачання – з напругою 10 кВ і 35 кВ (див. рис. 5.1).

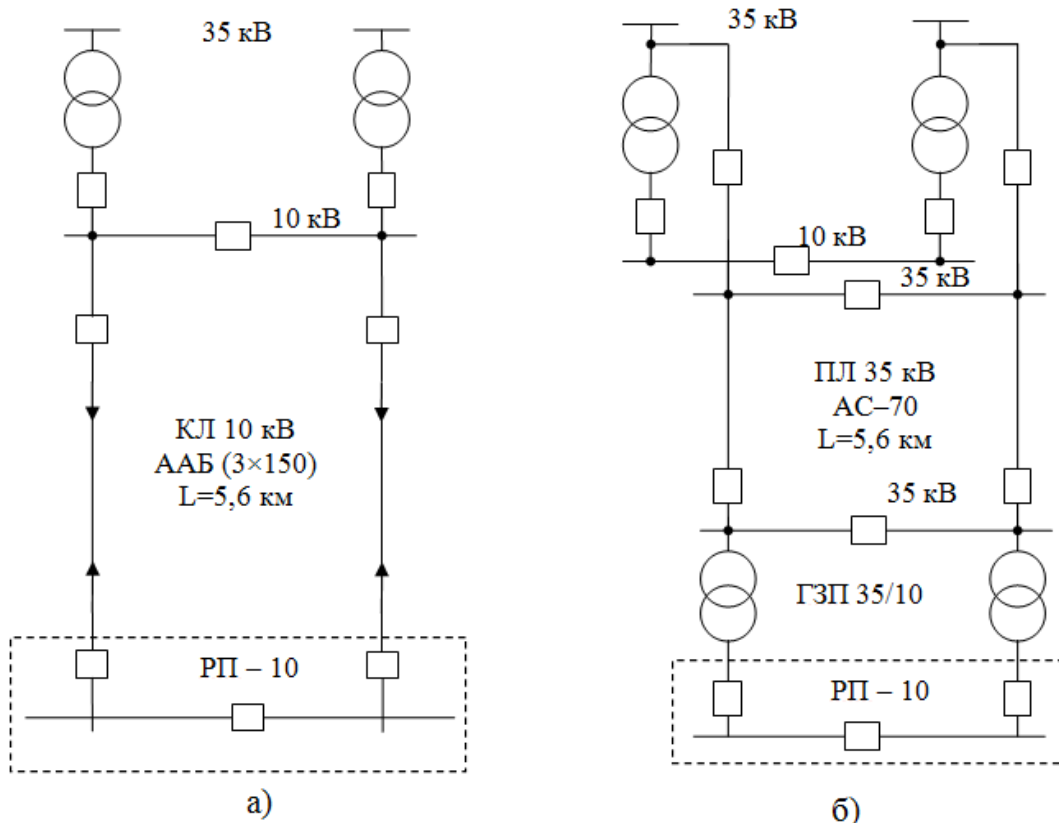


Рис. 5.1. Схеми зовнішнього електропостачання хлібоприймального підприємства.





$$\Delta P_{\text{Л}} = \Delta P_{\text{ІКМ}} \cdot 1_{\Sigma} K_3^2 = 125 \cdot 11,2 \cdot 0,051^2 = 3,64 \text{ кВт},$$

$$\Delta \mathcal{E}_{\text{Л}} = \Delta P_{\text{Л}} \tau = 3,64 \cdot 2601 = 9468 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Втрати електроенергії в трансформаторі п/ст:

$$\Delta \mathcal{E}_{\text{ТР}} = 2(\Delta P_{\text{Х}} t_{\text{вкл}} + \Delta P_{\text{К}} K_3^2 \tau) = 2(2,9 \cdot 8760 + 16,5 \cdot 2601 \cdot 0,51^2) = 73133 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Сумарні втрати в повітряній лінії електропередачі і трансформаторах п/ст:

$$\Delta \mathcal{E} = \Delta \mathcal{E}_{\text{Л}} + \Delta \mathcal{E}_{\text{ТР}} = 9468 + 73133 = 82601 \text{ кВт} \cdot \text{год},$$

а вартість цих втрат складе:

$$C_{\text{ВТР}} = \Delta \mathcal{E} \cdot C_0 = 82601 \cdot 6,9 = 181,7 \text{ тис. грн.}$$

Розрахунок капітальних витрат в схеми електропостачання по варіантам наведено в табл. 5.1.1 - 5.1.3.

Таблиця 5.1.1. Розрахунок капітальних вкладень в схеми електропостачання хлібоприймального підприємства.

№ вар.	Елемент схеми електропостачання	Од. вим.	К-ть	Вартість од. тис. грн	Всього тис. грн
І	Шафи з п/ст. енергосистеми	шт.	2	150	300
	Кабель типу ААБ	км	11,2	104	1164,8
	Укладання в траншею	км	5,6	118,2	661,9
Всього					2126,7
ІІ	ЛЕП 35 кВ на З/Б опорах	км	5,6	535	2996
	КТБП 35/10 кВ	Комплект	1	3097,2	3097,2
Всього					6093,2

Таблиця 5.1.2. Розрахунок поточних витрат в схеми електропостачання хлібоприймального підприємства.

№ вар.	Елементу схеми електропостачання	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.
І	КЛ + траншея	1826,7	5	91,335	2	36,534	127,9
	Шафи з п/ст. енергосистеми	300	15	45	3	9	54
Всього							181,9
ІІ	ЛЕП 35 кВ на З/Б опорах	2996	5	149,8	0,14	4,2	154
	КТБП 35/10 кВ	3097,2	15	464,6	3	92,9	557,5
Всього							711,5



$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i = 0,011 \cdot 5,6 + 0,01 + 0,01 = 0,0816 \frac{1}{\text{рік}},$$

$$T_B = \frac{\sum \lambda_i \cdot T_B}{\lambda} = \frac{0,0616 \cdot 0,8 \cdot 10^{-3} + 0,01 \cdot 1,3 \cdot 10^{-3} + 0,01 \cdot 45 \cdot 10^{-3}}{0,0816} = 6,278 \cdot 10^{-3} \frac{\text{год}}{\text{рік}},$$

$$K_{\pi} = 1,2 \cdot K_{\pi\text{max}} = 1,2 \cdot 6 \cdot 10^{-3} = 7,2 \cdot 10^{-3},$$

$$K_a = \lambda \cdot T_B = 0,0816 \cdot 9,6 \cdot 10^{-3} = 0,783 \cdot 10^{-3},$$

$$K_{\text{ап}} = 0,5 \cdot \lambda \cdot K_{\pi}^2 = 0,5 \cdot 0,0816 \cdot (7,2 \cdot 10^{-3})^2 = 2,16 \cdot 10^{-6},$$

$$K_a^{(2)} = K_a^2 + 2 \cdot K_{\text{ап}} = (0,783 \cdot 10^{-3})^2 + 2 \cdot 2,16 \cdot 10^{-6} = 4,933 \cdot 10^{-6},$$

$$T_a = K_a^{(2)} \cdot 8760 = 4,933 \cdot 10^{-6} \cdot 8760 = 0,0432 \text{ год},$$

$$Y = Y_o \cdot P_{\text{cp}} \cdot T_a = 37,45 \cdot 783,7 \cdot 0,0432 = 1,27 \text{ тис. грн.}$$

Таблиця 5.1.3. Техніко-економічні показники по варіантам електропостачання хлібоприймального підприємства.

Техніко-економічний показник	Варіант схеми	
	1	2
Капітальні вкладення, тис. грн.	2126,7	6093,2
Вартість втрат електроенергії, тис. грн.	527,5	181,7
Збиток, тис. грн.	3,14	1,27
Поточні витрати, тис. грн.	181,9	711,5
Зведені витрати, тис. грн.	967,7	1625,7

На підставі проведеного техніко-економічного порівняння встановлено, що варіант I має кращі показники ефективності та доцільності впровадження. У зв'язку з цим саме цей варіант обрано, як основний для реалізації системи зовнішнього електропостачання хлібоприймального підприємства.

## 5.2 Техніко-економічне обґрунтування схем внутрішнього електропостачання хлібоприймального підприємства.

У внутрішніх розподільчих мережах хлібоприймального підприємства передбачається застосування напруги 10 кВ.

Для виробничих мереж, що забезпечують живлення силового та

освітлювального обладнання, зазвичай використовується трифазна система напругою 380/220 В. Цей рівень є типовим для внутрішнього електропостачання і дозволяє ефективно забезпечувати, як високопотужні технологічні агрегати, так і освітлювальні системи.

Розподіл електроенергії на території хлібоприймального підприємства реалізується за допомогою радіальних, магістральних або комбінованих схем, вибір яких обумовлений конфігурацією об'єкта, величиною навантажень, вимогами до надійності енергозабезпечення, а також техніко-економічною доцільністю. При цьому схема живлення може бути як одно-, так і двоступеневою.

Радіальні схеми зазвичай застосовують для живлення окремих потужних споживачів, таких як насосні станції, компресорні установки чи силові перетворювачі, які розташовані у різних частинах підприємства. Основними перевагами таких схем є простота побудови, зручність обслуговування та висока надійність завдяки незалежному підключенню кожного споживача.

Магістральні схеми використовують у випадках, коли споживачі мають лінійне розміщення або належать до технологічно об'єднаних груп, де зупинка одного агрегату спричиняє зупинку всієї ланки. Вони доцільні також тоді, коли забезпечують зниження витрат на обладнання, зменшення обсягів кабельної продукції та спрощення експлуатації.

Комбіновані схеми поєднують риси обох попередніх типів і найчастіше застосовуються у складних технологічних об'єктах з розгалуженою інфраструктурою. Їхнє використання забезпечує гнучкість системи електропостачання, можливість резервування та адаптацію до майбутніх розширень або змін конфігурації виробничих потужностей.

## 6. Режими реактивної потужності системи електропостачання хлібоприймального підприємства

### 6.1 Розрахунок балансу реактивної потужності та вибір компенсуючих пристроїв хлібоприймального підприємства

Розрахунок балансу реактивної потужності хлібоприймального підприємства виконаємо за методикою викладеною в [1-4].

Підсумкове навантаження на шинах 10 кВ ЦРП хлібоприймального підприємства складається з навантаження 0,4 кВ та втрат в трансформаторах ТП.

$$P_p = P_n + \Delta P_{тр} + P_v = 1581,0 + 24,6 + 0 = 1605,6 \text{ кВт},$$

$$Q_p = Q_n + \Delta Q_{тр} + Q_v = 1122,0 + 102,3 + 0 = 1224,3 \text{ квар.}$$

Економічно обґрунтована реактивна потужність системи, що по технічним умовам може бути передана споживачам:

$$Q_e = P_p \cdot \text{tg}\varphi_e = 1605,6 \cdot 0,15 = 240,8 \text{ квар.}$$

Загальна потужність компенсуючих пристроїв по балансу реактивної потужності на межі електричного поділу споживачів та енергосистеми:

$$Q_{кп\Sigma} = Q_p - Q_e = 1224,3 - 240,8 = 983,5 \text{ квар.}$$

Мінімально можлива кількість трансформаторів:

$$N_0 = \frac{P_n}{K_3 \cdot S_{Т.Н}} = \frac{1581,0}{0,7 \cdot 400} = 5,65 \approx 6.$$

Розглянемо три варіанти компенсації реактивної потужності хлібоприймального підприємства при кількості трансформаторів:

$$N = N_0; N = N_0 + 1; N = N_0 + 2.$$

Варіант I. Мінімальна кількість трансформаторів хлібоприймального підприємства  $N = N_0 = 6$ .

Визначаємо реактивну потужність, що може бути передана з мережі 10 кВ хлібоприймального підприємства в мережу 0,4 кВ:

$$Q_{II} = \sqrt{(N \cdot K_3 \cdot S_{Н.Т.})^2 - P_n^2} = \sqrt{(6 \cdot 0,7 \cdot 400)^2 - 1581^2} = 568,2 \text{ квар.}$$

Потужність компенсуючих пристроїв, що встановлюються в мережі до 1000 В визначаємо з умов балансу реактивної потужності на шинах ТП:



де  $\Delta P_{\text{ПІТ}}^{\text{КН}}$ ,  $\Delta P_{\text{ПІТ}}^{\text{КВ}}$  – питомі втрати активної потужності відповідно для низьковольтних і високовольтних БК, що витрачаються на генерацію реактивної потужності, кВт/квар.

Втрати активної потужності, що виникають при передачі реактивної потужності через трансформатори хлібоприймального підприємства:

$$\Delta P_{\text{ТП}} = \frac{Q_{\text{П}}^2}{U_{\text{Н}}^2} \cdot R'_{\text{ЕК}} = \frac{190^2}{10^2} \cdot 0,000573 = 0,207 \text{ кВт},$$

$$\text{де } R'_{\text{ЕК}} = \frac{\Delta P_{\text{К}} \cdot U_{\text{Н}}^2}{N \cdot S_{\text{Т.Н}}^2} = \frac{5,5 \cdot 10^2}{6 \cdot 400^2} = 0,000573 \text{ кОм}.$$

Вартість обраних низьковольтних конденсаторних батарей:

$$K_{\text{КН}} = \sum_{i=1}^n N_{\text{КН}i} \cdot K_{\text{ККУ}0,4i} = 2 \cdot 39530 + 2 \cdot 38060 + 2 \cdot 29225 = 213630 \text{ грн.}$$

де 39530 грн. – вартість комплектної конденсаторної установки 200 квар;

38060 грн. – вартість комплектної конденсаторної установки 166 квар;

29225 грн. – вартість комплектної конденсаторної установки 100 квар.

Вартість КТП хлібоприймального підприємства для варіанта з мінімальною кількістю трансформаторів  $N = N_0$ :

$$K_{\text{КТП}} = N_{\text{КТП-1}} \cdot K_{\text{КТП-1}} + N_{\text{КТП-2}} \cdot K_{\text{КТП-2}} = 0 \cdot 302400 + 3 \cdot 650400 = 1951200 \text{ грн.},$$

де  $N_{\text{КТП-1}}$ ;  $N_{\text{КТП-2}}$  – кількість одно- і двох трансформаторних КТП;

$K_{\text{КТП-1}}$ ;  $K_{\text{КТП-2}}$  – вартість одно- і двох трансформаторних КТП.

Розрахункові витрати на компенсацію реактивної потужності хлібоприймального підприємства для варіанту з мінімальною кількістю трансформаторів:

$$\begin{aligned} Z &= E_{\text{Н}} \cdot (K_{\text{КН}} + K_{\text{КВ}} + K_{\text{КТП}}) + (\Delta P_{\text{КН}} + \Delta P_{\text{КВ}} + \Delta P_{\text{КТП}}) \cdot C_0 \cdot \tau = \\ &= 0,12 \cdot (213630 + 0 + 1951200) + (0,207 + 0 + 4,194) \cdot 6,9 \cdot 2601 = 292226 \text{ грн.} \end{aligned}$$

Розрахунки варіантів компенсації реактивної потужності хлібоприймального підприємства з більшою кількістю трансформаторів ТП  $N = N_0 + 1$  та  $N = N_0 + 2$  є подібним. Нижче наводимо розрахунок без пояснень.

Варіант II  $N = N_0 + 1 = 7$

$$Q_{\text{П}} = \sqrt{(N \cdot K_3 \cdot S_{\text{Н.Т.}})^2 - P_{\text{Н}}^2} = \sqrt{(7 \cdot 0,7 \cdot 400)^2 - 1581^2} = 1158 \text{ квар},$$

$$Q_{KH} = Q_H - Q_{II} = 1122 - 1158 = -36 \text{ квар.}$$

Приймаємо  $Q_{KH} = 532$  квар, згідно з табл. 6.1.

$$Q_{II} = Q_H - Q_{KH} = 1122 - 532 = 590 \text{ квар,}$$

$$Q_{KB} = Q_p - Q_{KH} - Q_e = 1224,3 - 532 - 240,8 = 451,5 \text{ квар.}$$

Приймаємо  $Q_{KB} = 450$  квар.

$$Q_e = Q_p - Q_{KH} - Q_{KB} = 1224,3 - 532 - 450 = 242,3 \text{ квар,}$$

$$\Delta P_{KH} = \Delta P_{ПИТ}^{KH} \cdot Q_{KH} = 0,0045 \cdot 532 = 2,394 \text{ кВт,}$$

$$\Delta P_{KB} = \Delta P_{ПИТ}^{KB} \cdot Q_{KB} = 0,0025 \cdot 450 = 1,125 \text{ кВт,}$$

$$\Delta P_{ПІ} = \frac{Q_{II}^2}{U_H^2} \cdot R'_{ЕК} = \frac{590^2}{10^2} \cdot 0,000491 = 1,709 \text{ кВт,}$$

$$R'_{ЕК} = \frac{\Delta P_{К} \cdot U_H^2}{N \cdot S_{Т.Н}^2} = \frac{5,5 \cdot 10^2}{7 \cdot 400^2} = 0,000491 \text{ кОм,}$$

$$K_{KH} = \sum_{i=1}^n N_{KH_i} \cdot K_{KKУ0,4i} = 2 \cdot 38060 + 2 \cdot 29225 = 134570 \text{ грн,}$$

$$K_{KB} = \sum_{i=1}^n N_{KB_i} \cdot K_{KKУ10i} = 1 \cdot 50325 = 50325 \text{ грн,}$$

$$K_{КТП} = N_{КТП-1} \cdot K_{КТП-1} + N_{КТП-2} \cdot K_{КТП-2} = 1 \cdot 302400 + 3 \cdot 650400 = 2253600 \text{ грн.,}$$

$$З = 0,12 \cdot (134570 + 50325 + 2253600) + (1,709 + 1,125 + 2,394) \cdot 6,9 \cdot 2601 = 331163 \text{ грн.}$$

Варіант III  $N = N_0 + 2 = 8$ .

$$Q_{II} = \sqrt{(N \cdot K_3 \cdot S_{Н.Т.})^2 - P_H^2} = \sqrt{(8 \cdot 0,7 \cdot 400)^2 - 1581^2} = 1587 \text{ квар,}$$

$$Q_{KH} = Q_H - Q_{II} = 1122 - 1587 = -465 \text{ квар.}$$

Приймаємо  $Q_{KH} = 200$  квар, згідно з табл. 6.1.

$$Q_{II} = Q_H - Q_{KH} = 1122 - 200 = 922 \text{ квар,}$$

$$Q_{KB} = Q_p - Q_{KH} - Q_e = 1224,3 - 200 - 240,8 = 783,5 \text{ квар.}$$

Приймаємо  $Q_{KB} = 900$  квар.

$$Q_e = Q_p - Q_{KH} - Q_{KB} = 1224,3 - 200 - 900 = 124,3 \text{ квар,}$$

$$\Delta P_{KH} = \Delta P_{ПИТ}^{KH} \cdot Q_{KH} = 0,0045 \cdot 200 = 0,9 \text{ кВт,}$$

$$\Delta P_{KB} = \Delta P_{ПИТ}^{KB} \cdot Q_{KB} = 0,0025 \cdot 900 = 2,25 \text{ кВт,}$$





## 7. Вибір кількості, потужності трансформаторів підстанцій хлібоприймального підприємства

Кількість та потужність трансформаторів, що встановлюються на цехових трансформаторних підстанціях (ТП), а також місця їх розміщення визначаються з урахуванням низки важливих факторів: категорії електроприймачів за надійністю, вимог до стабільності електропостачання, а також умов компенсації реактивної потужності.

Одинична потужність трансформаторів підбирається, виходячи з питомої щільності електричних навантажень, допустимої перевантажувальної здатності трансформаторів, а також з метою мінімізації обсягів резервного обладнання на складі. У межах даного проєкту передбачається застосування комплектних трансформаторних підстанцій (КТП) з трансформаторами одиничною потужністю 400 кВА. Вибір типу, кількості та місця розміщення ТП наведено у табл. 7.1.

Таблиця 7.1. Вибір кількості, потужності трансформаторів хлібоприймального підприємства та їх місця розташування

n/n	Тип ТП	$S_p$	$K_3$	$K^{ав}_3$	Тип трансформатору	Місце встановлення	Вид розміщення
1	КТП-2×400	545,6	0,68	1,36	ТМ-400	Котельня	Вбудована
2	КТП-2×400	553,89	0,69	1,38	ТМ-400	–	Окремо розташована
3	КТП-2×400	563,82	0,7	1,4	ТМ-400	–	Окремо розташована

## 8. Розрахунок струмів коротких замкнень та вибір високовольтного обладнання і мереж хлібоприймального підприємства

Розрахунок струмів короткого замкнення проводимо в іменованих одиницях за методикою наведеною в [1-3].

Для розрахунку струмів к. з. хлібоприймального підприємства складаємо розрахункову схему, яка зображена на рис. 8.1 та розрахункову схему заміщення яка зображена на рис. 8.2.

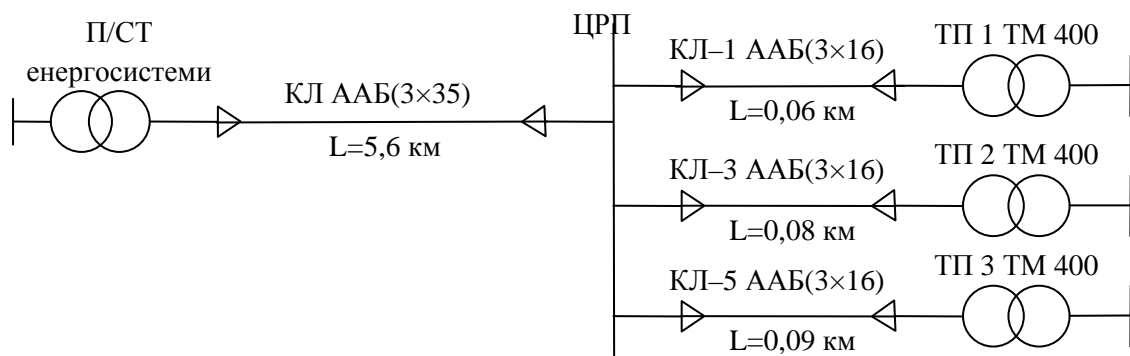


Рис. 8.1. Розрахункова схема ЦРП для обчислення струмів к. з. хлібоприймального підприємства

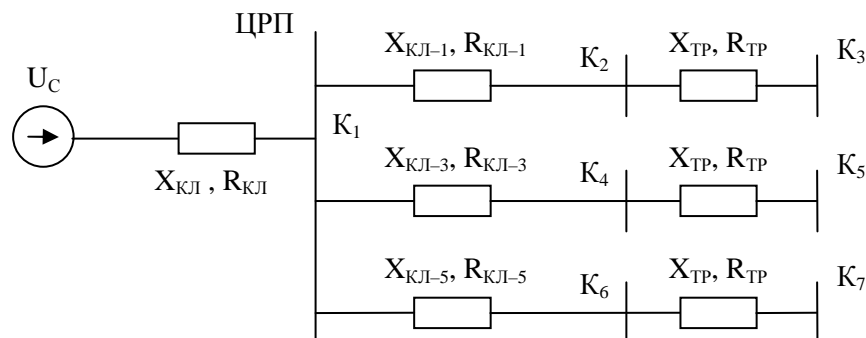


Рис. 8.2. Схема заміщення ЦРП для розрахунку струмів к. з. хлібоприймального підприємства

Розрахуємо значення опорів елементів схеми заміщення (рис. 8.2) системи електропостачання хлібоприймального підприємства:

– трансформатора ТП ТМ 400

$$R = \frac{P_{кз} U_H^2}{S_H^2} = \frac{5,5 \cdot 10^2}{400^2} = 3,44 \text{ Ом,}$$



$$i_y = \sqrt{2}I''(1 + e^{\frac{-0,01}{T_a}}) = \sqrt{2} \cdot 1,21(1 + e^{\frac{-0,01}{0,00034}}) = 1,711 \text{ кА},$$

$$T_a = \frac{X_{\text{екв}}}{\omega \cdot R_{\text{екв}}} = \frac{0,532}{314 \cdot 4,984} = 0,00034 \text{ 1/с}.$$

Розрахунки струмів короткого замкнення для інших точок системи електропостачання хлібоприймального підприємства є подібним і відрізняється лише збільшенням еквівалентного опору до місця к.з. тому тут не наводиться. Результати розрахунку зведені в табл. 8.2.

Таблиця 8.2. Розрахунок струмів короткого замкнення в системі електропостачання хлібоприймального підприємства.

№ т. к. з.	$X_{\text{екв}}$ , Ом	$R_{\text{екв}}$ , Ом	$I_{\Sigma}''$ , кА	$T_a$ , 1/с	$i_{y\Sigma}$ , кА
1	0,532	4,984	1,21	0,00034	1,711
2	0,539	5,1	1,182	0,00034	1,672
3	11,789	8,54	10,411	0,00044	16,237
4	0,541	5,139	1,173	0,00033	1,659
5	11,791	8,579	10,393	0,00044	16,195
6	0,542	5,159	1,169	0,00033	1,653
7	11,792	8,599	10,384	0,00044	16,173

### Вибір електричного обладнання хлібоприймального підприємства

*Вибір кабелів напругою 10 кВ для високовольтної мережі хлібоприймального підприємства.*

Методика щодо вибору КЛ 10 кВ та їх перевірки, яка використана в даному розділі кваліфікаційної роботи детально наведена в [1-4].

В якості прикладу, виберемо кабель для лінії КЛ-1, що йде від ЦРП до ТП 1. Площа поперечного перерізу кабелю КЛ-1 при  $T_{\text{max}} = 4276$  год –  $J_{\text{ек}} = 1,4$  А/мм<sup>2</sup>:

$$F_e = \frac{I_p}{J_{\text{ек}}} = \frac{15,75}{1,4} = 11,6 \text{ мм}^2$$

де розрахунковий струм –  $I_p = \frac{S_p}{n\sqrt{3}U_n} = \frac{564,3}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 16,29$  А.

Приймається кабель типу ААБ (3×16) мм<sup>2</sup> з допустимим довготривалим струмом  $I_{\text{доп}} = 75\text{А}$ .

Перевіряємо обраний кабель за допустимим струмовим навантаженням:

$$I_p \leq I_{\text{доп}} \quad 16,29 \text{ А} \leq 69 \text{ А}$$

$$I_{\text{доп}} = K_{\text{п}} I'_{\text{доп}} \quad I_{\text{доп}} = 0,92 \cdot 75 = 69 \text{ А}$$

де  $K_{\text{п}}$  – коефіцієнт прокладки кабелю, що враховує зниження допустимого струмового навантаження при наявності декількох кабелів в одній траншеї.

Перевірка кабелю за умовою роботи в аварійному режимі

$$I_{\text{ав}} \leq K_{\text{ап}} I_{\text{доп}} \quad 32,58 \leq 1 \cdot 1,3 \cdot 75 \quad 32,58 \leq 97,5$$

де  $K_{\text{ав}}$  – допустимий коефіцієнт аварійного перевантаження кабелю, приймаємо рівним 1,3,  $K_{\text{ап}}$  – коефіцієнт прокладки в аварійному режимі. Для аварійного режиму  $K_{\text{ап}} = 1$  так, як в траншеї лишається один працюючий кабель.

Знайдемо мінімальну площу поперечного перерізу кабелю за умовою термічної стійкості від дії струмів к.з.:

$$F_{\text{min}} = \frac{1}{C} \sqrt{B_k} = \frac{1}{92} \sqrt{0,732 \cdot 10^6} = 9,3 \text{ мм}^2$$

де  $C$  – термічний коефіцієнт, що для алюмінієвих кабелів складає  $C = 92 \text{ А} \cdot \text{с}^{1/2} / \text{мм}^2$ ;

$B_k$  – тепловий імпульс, який можна знайти за виразом:

$$B_k = I_{\text{п.о.}}^2 (t_{\text{отк}} + T_a) = 1,21^2 (0,5 + 0,0) = 0,732 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

де  $t_{\text{отк}}$  – час відключення к.з.

Інші кабелі системи електропостачання хлібоприймального підприємства вибираються аналогічно, розрахунки зведені до табл. 8.3.

Таблиця 8.3. Вибір кабельних ліній 10 кВ хлібоприймального підприємства

№ КЛ	$S_p$ , кВА	n	$I_p$ , А	$I_{p,ав}$ , А	$F_{ек}$ , мм <sup>2</sup>	Марка кабеля	$I_{доп}$ , А	$K_{п}$	$K_{п} I_{доп}$	$K_3$	$K_{ап}$	$K_{п}'$	$K_{ап} K_{п}' I_{доп}$	$B_k$ , кА <sup>2</sup> с	$F_{min}$ , мм <sup>2</sup>
КЛ-1,2	551,0	2	15,9	31,8	11	ААБ(3×16)	75	0,92	69	0,23	1	1,3	97,5	0,732	9
КЛ-3,4	553,3	2	16,0	31,9	11	ААБ(3×16)	75	0,92	69	0,23	1	1,3	97,5	0,732	9
КЛ-5,6	563,4	2	16,3	32,5	12	ААБ(3×16)	75	0,92	69	0,22	1	1,3	97,5	0,732	9

*Вибір високовольтних вимикачів напругою 10 кВ.*

Методика вибору і перевірки високовольтних вимикачів, що застосована в даному розділі кваліфікаційної роботи викладена в [5].

На вводі 10 кВ ЦРП хлібоприймального підприємства встановлюються вакуумні вимикачі типу VM-1S. На лініях, що відходять від ЦРП до ТП встановлюються ті самі вимикачі. Розрахунки по вибору та перевірці обраного вимикача приведені в табл. 8.4. і 8.5.

Таблиця 8.4. Вибір вимикачів 10 кВ на вводах хлібоприймального підприємства.

Параметри мережі	Умови вибору або перевірки	Параметри вимикача
10 кВ	$U_{уст} \leq U_{ном}$	10 кВ
89,7 А	$I_{роб\ форс} \leq I_{ном}$	630 А
1,21 кА	$I_K \leq I_{дин}$	52 кА
1,711 кА	$i_y \leq 1,8\sqrt{2}I_{дин}$	132 кА
1,21 кА	$I_{пт} \leq I_{ном\ відкл}$	20 кА
$\sqrt{2} \cdot 1,21 + 0 = 1,71\text{кА}$	$\sqrt{2}I_{номт} + i_{ат} \leq \sqrt{2}I_{нвідкл} (1 + \beta_n)$	$\sqrt{2} \cdot 20 \cdot (1 + 0,5) = 42,426\text{кА}$
$B_k \leq I_k^2(t_{від} + t_{пз}) =$ $= 1,21^2(1,5 + 0,045) =$ $= 2,26\text{кА}^2\text{с}$	$B_k \leq I_{тер}^2 t_{тер}$	$I_{тер}^2 t_{тер} = 20^2 \cdot 3 = 1200\text{кА}^2\text{с}$

$$i_{ат} = \sqrt{2}I''e^{-\frac{\tau}{T_a}} = \sqrt{2} \cdot 1,21e^{-\frac{0,01}{0,00034}} = 0 \text{ кА}$$

Таблиця 8.5. Вибір вимикачів на лініях до ТП хлібоприймального підприємства.

Параметри мережі	Умови вибору або перевірки	Параметри вимикача
10 кВ	$U_{уст} \leq U_{ном}$	10 кВ
32,6 А	$I_{роб\ форс} \leq I_{ном}$	630 А
1,21 кА	$I_K \leq I_{дин}$	52 кА
1,711 кА	$i_y \leq 1,8\sqrt{2}I_{дин}$	132 кА
1,21 кА	$I_{пт} \leq I_{ном\ відкл}$	20 кА
$\sqrt{2} \cdot 1,21 + 0 = 1,71\text{кА}$	$\sqrt{2}I_{номт} + i_{ат} \leq \sqrt{2}I_{нвідкл} (1 + \beta_n)$	$\sqrt{2} \cdot 20 \cdot (1 + 0,5) = 42,426\text{кА}$
$B_k \leq I_k^2(t_{від} + t_{пз}) =$ $= 1,21^2(1,5 + 0,045) =$ $= 2,26\text{кА}^2\text{с}$	$B_k \leq I_{тер}^2 t_{тер}$	$I_{тер}^2 t_{тер} = 20^2 \cdot 3 = 1200\text{кА}^2\text{с}$

Всі вимикачі встановлені в комірці комплектних розподільчих пристроїв зовнішньої установки типу КРЗ-10 виробництва РЗВА.

*Вибір трансформаторів власних потреб ЦРП хлібоприймального підприємства.*

Вибір трансформаторів власних потреб ЦРП хлібоприймального підприємства проведемо за методикою з [5].

Розрахунок силового навантаження трансформаторів власних потреб ЦРП хлібоприймального підприємства проведемо в стандартному табличному вигляді табл. 8.6.

Таблиця 8.6. Розрахунок навантаження власних потреб ЦРП хлібоприймального підприємства.

№ п/п	Споживач власний потреб ЦРП	P, кВт	Q, квар
1	Обігрів комірок КРП 10 кВ.	14×1	0
2	Навантаження, що споживають оперативні кола	2	0
Всього навантаження власних потреб ЦРП		16	0

Розрахункова потужність споживачів власних потреб ЦРП хлібоприймального підприємства знайдемо з виразу:

$$S_{\text{розр}} = K_C \sqrt{(P_{\text{встр}}^2 + Q_{\text{встр}}^2)} = 0,8 \sqrt{16^2 + 0^2} = 12,8 \text{ кВА.}$$

Мінімально допустима потужність трансформатора власних потреб ЦРП:

$$S_{\text{тр}} \geq \frac{S_{\text{розр}}}{1,4} = \frac{12,8}{1,4} = 9,14 \text{ кВА}$$

Отже, для нашого ЦРП обираємо трансформатор типу ТМ – 25/10 з  $S_{\text{ном}} = 25$  кВА. Коефіцієнт завантаження обраного трансформатора в нормальному режимі роботи складе:

$$K_3 = \frac{S_{\text{розр}}}{n S_{\text{ном}}} = \frac{12,8}{2 \cdot 25} = 0,256.$$





Загалом, основні резерви енергозбереження на промислових підприємствах зосереджені в технологічних процесах та структурі енергоспоживання. Ефективне управління цими факторами сприяє досягненню значного зниження витрат на електроенергію та покращенню енергоефективності підприємства.

*Економія електроенергії в електричних мережах.*

*Загальні положення*

У сучасних умовах зростання вартості електроенергії та підвищення вимог до енергоефективності, зниження втрат електроенергії в електричних мережах є однією з найважливіших задач енергетичного господарства. Економія досягається як за рахунок заходів, спрямованих на зменшення активних  $\Delta P$  та реактивних  $\Delta Q$  втрат.

*Технічні втрати електроенергії*

Основні втрати в електричних мережах виникають в результаті проходження струму через опір провідників. Активні втрати енергії у провідниках визначаються за формулою:

$$\Delta P = I^2 \cdot R,$$

де:  $\Delta P$  – активні втрати потужності, Вт;  $I$  – струм у лінії, А;  $R$  – активний опір лінії, Ом.

Втрати електроенергії за певний період часу  $t$  (у годинах) можна знайти за формулою:

$$\Delta W = \Delta P \cdot t = I^2 \cdot R \cdot t.$$

З урахуванням довжини лінії  $l$  і питомого опору  $\rho$ , опір провідника можна визначити як:

$$R = \rho \cdot l / S,$$

де:  $S$  – переріз провідника,  $\text{мм}^2$ ;  $\rho$  – питомий опір матеріалу,  $\text{Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$ .

### 3. Зниження втрат електроенергії

#### 3.1 Збільшення перерізу провідників

При збільшенні перерізу провідників  $S$  зменшується опір лінії  $R$ , а отже, і втрати потужності:

$$\Delta P \sim 1/S.$$

#### 3.2 Оптимізація режиму напруги

Зменшення втрат досягається також за рахунок підтримки оптимального рівня напруги. Відхилення напруги від номінальної призводить до збільшення струму  $i$ , відповідно, втрат. При зниженні напруги на кінці лінії, згідно із законом Ома:

$$I = P/(U \cdot \cos\varphi).$$

Зменшення напруги  $U$  при незмінній потужності  $P$  призводить до зростання струму  $I$ , а отже, і втрат.

### 4. Компенсація реактивної потужності

Реактивна потужність створює додаткове навантаження на мережу. Компенсація реактивної потужності за допомогою батарей конденсаторів дозволяє зменшити загальний струм у лінії, знизити втрати і покращити коефіцієнт потужності  $\cos\varphi$ .

Потужність конденсаторної батареї  $Q_c$ , необхідна для компенсації реактивної потужності, визначається:

$$Q_c = P(\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2)$$

де:  $P$  – активна потужність споживача, кВт;  $\varphi_1$  – початковий кут зсуву фаз;  $\varphi_2$  – кут після компенсації.

### 5. Оцінка економії електроенергії

Загальна економія електроенергії  $\Delta W_{ек}$  після впровадження заходів з енергозбереження може бути оцінена як різниця між втратами до і після:

$$\Delta W_{ек} = W_{до} - W_{після}.$$

При цьому доцільно враховувати і економічну ефективність, наприклад, термін окупності заходів:

$$T = C_{впров}/C_{ек},$$

де:  $C_{впров}$  – вартість впровадження заходу, грн;  $C_{ек}$  – річна економія витрат на електроенергію, грн/рік.

Виконаний аналіз показав, що основними шляхами зменшення втрат електроенергії в мережах є збільшення перерізу провідників, компенсація реактивної потужності, а також підтримання оптимального рівня напруги. Комплексне впровадження таких заходів забезпечує істотне зниження втрат електроенергії, покращення якості електропостачання та скорочення витрат підприємства.

#### *Економія електроенергії в трансформаторах*

Втрати активної потужності в двообмоточних трансформаторах складаються з постійних (холостого ходу) і змінних (навантажувальних) втрат:

$$\Delta P = \Delta P_0 + \Delta P_k,$$

де:  $\Delta P_0$  – втрати холостого ходу (втрати в сталі магнітопроводу),  $\Delta P_k$  – втрати короткого замикання (втрати в обмотках через струм навантаження).

Втрати енергії в трансформаторі за рік:

$$W_{вт} = \Delta P_0 \cdot T + \Delta P_k \cdot T_{нв} \cdot \beta^2,$$

де:  $T$  – час перебування трансформатора під напругою за рік (зазвичай 8760 год),  
 $T_{нв}$  – час роботи трансформатора під навантаженням,  $\beta$  – середнє відносне навантаження трансформатора (коефіцієнт завантаження трансформатора).

Для підвищення енергоефективності доцільно:

- застосовувати трансформатори з пониженими втратами (енергоефективні),
- відключати резервні трансформатори в періоди мінімального навантаження,
- використовувати трансформатори з регулюванням напруги під навантаженням (РПН),
- забезпечувати балансування фазного навантаження.

Економічно доцільний режим експлуатації трансформаторів полягає у визначенні оптимальної кількості одночасно працюючих трансформаторів, що забезпечує мінімальні втрати електроенергії.

На підстанціях, де встановлені однотипні трансформатори однакової номінальної потужності, кількість трансформаторів, які повинні працювати одночасно, визначається наступними критеріями:

а) у разі зростання навантаження підключення  $(n+1)$ -го трансформатора доцільне з економічної точки зору, якщо коефіцієнт завантаження діючих трансформаторів досягає певного граничного значення.

$$K_3 \geq \sqrt{\frac{n+1}{n}} \sqrt{\frac{\Delta P_{xx} + K_{пв} \Delta Q_{xx}}{\Delta P_{кз} + K_{пв} \Delta Q_{кз}}};$$

б) Навпаки, при зменшенні навантаження відключення одного з трансформаторів є доцільним, коли коефіцієнт завантаження працюючих трансформаторів стане нижчим за економічно обґрунтоване мінімальне значення. Інакше – втрати будуть більшими через недостатнє завантаження декількох трансформаторів.



## *Економія електроенергії в електродвигунах.*

### *1. Загальні положення*

Електродвигуни є основними споживачами електроенергії в промисловості, на їх частку припадає до 60–70% загального енергоспоживання. Енергоефективність їх роботи істотно впливає на загальні витрати електроенергії підприємства. Тому впровадження заходів з підвищення енергетичної ефективності електроприводів є важливим напрямом зниження експлуатаційних витрат.

### *2. Технічні заходи енергозбереження*

До основних технічних засобів економії електроенергії в електродвигунах належать:

*Використання двигунів підвищеного класу енергоефективності (IE2, IE3, IE4).*

Такі двигуни мають менші втрати на нагрівання обмоток і магнітопроводу, а отже, вищий ККД:

$$\eta = (P_2/P_1)100\%,$$

де  $P_1$  – споживана потужність,  $P_2$  – корисна (механічна) потужність.

### *Оптимізація вибору потужності двигуна.*

Завищена потужність призводить до роботи двигуна в зоні низького завантаження, що знижує ККД і  $\cos \phi$ . Ефективніше обирати двигун відповідно до розрахункового навантаження з урахуванням пускових характеристик.

*Застосування частотного регулювання обертів* за допомогою перетворювачів частоти. Енергоспоживання електродвигуна при зниженні швидкості обертання без значного зниження навантаження зменшується за кубічним законом:

$$P \sim n^3,$$



$$W_1 = Pt/\eta_1 = 15 \cdot 4000/0,88 = 68181,8 \text{ кВт.}$$

Річне енергоспоживання енергоефективного двигуна:

$$W_2 = Pt/\eta_2 = 15 \cdot 4000/0,92 = 65217,4 \text{ кВт.}$$

Економія електроенергії:

$$\Delta W = W_1 - W_2 = 68181,8 - 65217,4 = 2964,4 \text{ кВт.}$$

За тарифом 6,9 грн/кВт·год щорічна економія становить:

$$\Delta E = 2964,4 \cdot 6,9 = 20454,36 \text{ грн.}$$

Таким чином, заміна навіть одного двигуна дозволяє суттєво знизити експлуатаційні витрати, а при великих масштабах підприємства – досягти значної енергетичної ефективності.

*Розрахунок економії електроенергії від впровадження автоматичного регулювання роботою трансформаторів на двохтрансформаторній підстанції*

Визначимо приведені значення активних втрат:

$$\Delta P'_{xx} = \Delta P_{xx} + K_{пп} \cdot \Delta Q_{xx} = 1,45 + 0,03 \cdot 8,4 = 1,702 \text{ кВт,}$$

$$\Delta P'_{кз} = \Delta P_{кз} + K_{пп} \cdot \Delta Q_{кз} = 5,5 + 0,03 \cdot 18 = 6,04 \text{ кВт,}$$

$$\Delta Q_{xx} = \frac{I_{xx}}{100} S_H = \frac{2,1}{100} 400 = 8,4 \text{ квар, } \Delta Q_{кз} = \frac{U_{кз}}{100} S_H = \frac{4,5}{100} 400 = 18 \text{ квар.}$$

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

$$S_A = S_{н.т} \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P'_{xx}}{\Delta P'_{кз}}} = 400 \sqrt{\frac{2 \cdot 1,702}{6,04}} = 300,3 \text{ кВА}$$

Розрахунок втрат електроенергії при роботі двох трансформаторів і при роботі з автоматичним регулюванням для ТП1 проведений в табл. 9.1

Таблиця 9.1. Розрахунок економії електроенергії від впровадження системи автоматичного регулювання роботи трансформаторів ТП1

Год.	Зимова робоча доба						Зимова вихідна доба					
	P, кВт	Q, кВар	Q <sub>ку</sub> , кВар	S, кВА	ΔP <sub>2тр</sub> , кВт	ΔP <sub>авт.рег</sub> , кВт	P, кВт	Q, кВар	Q <sub>ку</sub> , кВар	S, кВА	ΔP <sub>2тр</sub> , кВт	ΔP <sub>авт.рег</sub> , кВт
1	257,4	255,0	233	258,4	4,7	4,2	114,4	102,8	99	114,5	3,7	2,2
2	257,4	255,0	233	258,4	4,7	4,2	114,4	102,8	99	114,5	3,7	2,2
3	257,4	255,0	233	258,4	4,7	4,2	114,4	102,8	99	114,5	3,7	2,2
4	257,4	267,3	266	257,4	4,7	4,2	114,4	102,8	99	114,5	3,7	2,2
5	257,4	267,3	266	257,4	4,7	4,2	114,4	102,8	99	114,5	3,7	2,2
6	257,4	349,6	332	258,0	4,7	4,2	114,4	102,8	99	114,5	3,7	2,2
7	457,7	390,7	366	458,3	7,4	7,4	114,4	102,8	99	114,5	3,7	2,2
8	469,1	390,7	366	469,7	7,6	7,6	114,4	102,8	99	114,5	3,7	2,2
9	514,9	390,7	366	515,5	8,4	8,4	85,8	82,3	66	87,3	3,5	2,0
10	572,1	411,3	400	572,2	9,6	9,6	85,8	82,3	66	87,3	3,5	2,0
11	514,9	390,7	366	515,5	8,4	8,4	85,8	82,3	66	87,3	3,5	2,0
12	457,7	370,2	366	457,7	7,4	7,4	85,8	82,3	66	87,3	3,5	2,0
13	400,4	370,2	366	400,5	6,4	6,4	85,8	82,3	66	87,3	3,5	2,0
14	343,2	329,0	299	344,6	5,6	5,6	85,8	82,3	66	87,3	3,5	2,0
15	343,2	329,0	299	344,6	5,6	5,6	85,8	82,3	66	87,3	3,5	2,0
16	343,2	329,0	299	344,6	5,6	5,6	85,8	82,3	66	87,3	3,5	2,0
17	371,8	370,2	366	371,9	6,0	6,0	85,8	82,3	66	87,3	3,5	2,0
18	314,6	287,9	266	315,4	5,3	5,3	114,4	102,8	99	114,5	3,7	2,2
19	257,4	267,3	266	257,4	4,7	4,2	114,4	102,8	99	114,5	3,7	2,2
20	257,4	267,3	266	257,4	4,7	4,2	114,4	102,8	99	114,5	3,7	2,2
21	257,4	255,0	233	258,4	4,7	4,2	114,4	102,8	99	114,5	3,7	2,2
22	257,4	255,0	233	258,4	4,7	4,2	114,4	102,8	99	114,5	3,7	2,2
23	257,4	255,0	233	258,4	4,7	4,2	114,4	102,8	99	114,5	3,7	2,2
24	257,4	255,0	233	258,4	4,7	4,2	114,4	102,8	99	114,5	3,7	2,2
	Всього, кВт·год				139,3	134,0	Всього, кВт·год				86,7	50,9

Год.	Літня робоча доба						Літня вихідна доба					
	P, кВт	Q, кВар	Q <sub>ку</sub> , кВар	S, кВА	$\Delta P_{2тр}$ , кВт	$\Delta P_{авт.рег}$ , кВт	P, кВт	Q, кВар	Q <sub>ку</sub> , кВар	S, кВА	$\Delta P_{2тр}$ , кВт	$\Delta P_{авт.рег}$ , кВт
1	218,8	216,8	200	219,5	4,3	3,5	97,3	87,4	66	99,6	3,6	2,1
2	218,8	216,8	200	219,5	4,3	3,5	97,3	87,4	66	99,6	3,6	2,1
3	218,8	216,8	200	219,5	4,3	3,5	97,3	87,4	66	99,6	3,6	2,1
4	218,8	227,2	200	220,5	4,3	3,5	97,3	87,4	66	99,6	3,6	2,1
5	218,8	227,2	200	220,5	4,3	3,5	97,3	87,4	66	99,6	3,6	2,1
6	218,8	297,2	266	221,0	4,3	3,5	97,3	87,4	66	99,6	3,6	2,1
7	389	332,1	332	389,0	6,3	6,3	97,3	87,4	66	99,6	3,6	2,1
8	398,7	332,1	332	398,7	6,4	6,4	97,3	87,4	66	99,6	3,6	2,1
9	437,6	332,1	332	437,6	7,0	7,0	72,9	69,9	66	73,0	3,5	1,9
10	486,3	349,6	332	486,6	7,9	7,9	72,9	69,9	66	73,0	3,5	1,9
11	437,6	332,1	332	437,6	7,0	7,0	72,9	69,9	66	73,0	3,5	1,9
12	389	314,6	300	389,3	6,3	6,3	72,9	69,9	66	73,0	3,5	1,9
13	340,4	314,6	300	340,7	5,6	5,6	72,9	69,9	66	73,0	3,5	1,9
14	291,8	279,7	266	292,1	5,0	4,9	72,9	69,9	66	73,0	3,5	1,9
15	291,8	279,7	266	292,1	5,0	4,9	72,9	69,9	66	73,0	3,5	1,9
16	291,8	279,7	266	292,1	5,0	4,9	72,9	69,9	66	73,0	3,5	1,9
17	316,1	314,6	300	316,4	5,3	5,3	72,9	69,9	66	73,0	3,5	1,9
18	267,4	244,7	233	267,7	4,8	4,4	97,3	87,4	66	99,6	3,6	2,1
19	218,8	227,2	200	220,5	4,3	3,5	97,3	87,4	66	99,6	3,6	2,1
20	218,8	227,2	200	220,5	4,3	3,5	97,3	87,4	66	99,6	3,6	2,1
21	218,8	216,8	200	219,5	4,3	3,5	97,3	87,4	66	99,6	3,6	2,1
22	218,8	216,8	200	219,5	4,3	3,5	97,3	87,4	66	99,6	3,6	2,1
23	218,8	216,8	200	219,5	4,3	3,5	97,3	87,4	66	99,6	3,6	2,1
24	218,8	216,8	200	219,5	4,3	3,5	97,3	87,4	66	99,6	3,6	2,1
	Всього, кВт·год				123,3	113,2	Всього, кВт·год				85,4	48,3

Розрахуємо річну втрату електроенергії в обох випадках:

$$\Delta W_{2тр} = \sum_{i=1}^{24} \Delta P_{зр2тр} \cdot 147 + \sum_{i=1}^{24} \Delta P_{зв2тр} \cdot 65 + \sum_{i=1}^{24} \Delta P_{лр2тр} \cdot 105 + \sum_{i=1}^{24} \Delta P_{лв2тр} \cdot 48 = 133,2 \cdot 147 +$$

$$+ 86,0 \cdot 65 + 117,5 \cdot 105 + 84,7 \cdot 48 = 41575,31 \text{ кВт·год}$$

$$\Delta W_{\text{авт.рег}} = \sum_{i=1}^{24} \Delta P_{\text{зравт.рег}} \cdot 147 + \sum_{i=1}^{24} \Delta P_{\text{завт.рег}} \cdot 65 + \sum_{i=1}^{24} \Delta P_{\text{лравт.рег}} \cdot 105 + \sum_{i=1}^{24} \Delta P_{\text{лввт.рег}} \cdot 48 =$$

$$= 125,5 \cdot 147 + 49,4 \cdot 65 + 104,6 \cdot 105 + 46,8 \cdot 48 = 34894,74 \text{ кВт}\cdot\text{год}$$

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

$$\Delta W = \Delta W_{\text{2тр}} - \Delta W_{\text{авт.рег}} = 41575,31 - 34894,74 = 6680,57 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

Вартість зекономленої електроенергії

$$E = \Delta W \cdot C_0 = 6680,57 \cdot 6,9 = 46095,93 \text{ грн.}$$

Аналогічним чином розрахована економія електроенергії на ТП2 і ТП3. Результати розрахунку наведені в табл. 9.2.

Таблиця 9.2. Результати розрахунку економії електроенергії шляхом перевodu роботи двохтрансформаторних підстанцій на оптимальний режим роботи.

№ ТП	$\Delta W$ , кВт·год	$E$ , грн
ТП1	6680,57	46095,93
ТП2	6231,96	43000,52
ТП3	5957,37	41105,85
Всього	18869,9	130202,31



## 11. Література

1. Шкрабець Ф.П., Плешков П.Г. Основи електропостачання. Навчальний посібник. – Кіровоград: РВЛ КНТУ, 2010.
2. Методичні вказівки до виконання курсового проекту (електропостачання заводу) для студентів 4-5 курсів спеціальності 8.090603 ”Електротехнічні системи електроспоживання” / П.Г. Плешков, А.Г. Котиш, А.Ю. Орлович. – Кіровоград: КДТУ, 2004. – 133 с.
3. Плешков П.Г., Орлович А.Ю., Котиш А.І. Електропостачання промислових підприємств: Навчальний посібник для курсового та дипломного проектування. – Кіровоград: РВЛ КНТУ, 2007.
4. Енергетичний інжиніринг та менеджмент : в 3-х ч. Ч. 1. Проектування ефективних енергетичних систем / П.Г. Плешков, С.В. Серебренніков, О.І. Сіріков, І.В. Савеленко; під редакцією Заслуженого працівника освіти України, кандидата технічних наук, професора Плешкова П.Г. – М-во освіти і науки України, Центральноукр. нац. техн. ун-т. – Кропивницький:ЦНТУ, 2018.– 156 с.
5. Електричне обладнання підстанцій систем електропостачання / [Орлович А.Ю., Плешков П.Г., Козловський О.А., Співак О.В., Котиш А.І., Величко Т.В.]; М-во освіти і науки України, Центральноукр. нац. техн. ун-т. – Кропивницький : Видавець Лисенко В.Ф., 2019. – 272 с
6. Методичні вказівки “Енергозберігаючі режими електропостачання” для студентів спеціальності 8.090603 усіх форм навчання. Частина 2. /Укладачі: Ю.І. Казанцев, П.Г. Плешков. Кіровоград, КДТУ, 2003. – 122 с.
7. Плешков П.Г., Казанцев Ю.І., Орлович А.Ю. Основи енергозбереження та енергозберігаючі режими в система з електропостачання промислових підприємств. Навчальний посібник. – Кіровоград: РВЛ КНТУ, 2007. – 230 с.
8. Енергоефективні системи освітлення для промислових та комунально-побутових споживачів : навч. посіб. / П. Г. Плешков, А. Ю. Орлович, С. В. Серебренніков [та ін.] ; ред. П. Г. Плешков. - Кропивницький : ЦНТУ, 2018. – 246 с.
9. Кваліфікаційна робота бакалавра : метод. рекомендації до структури та оформлення випускної кваліфікаційної роб. для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня зі спец. 141 - Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / [уклад. : П. Г. Плешков, Н. Ю. Гарасьова, А. І. Котиш та ін.] ; М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. – Кропивницький : ЦНТУ, 2023. – 80 с.