

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

“Допущено до захисту ”
Зав. кафедрою ЕТС та ЕМ
к.т.н., професор
_____ Плешков П.Г.
“ ____ ” _____ 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ

на тему:

**Проектування надійної та енергоефективної системи
електропостачання заводу продовольчих товарів із
застосуванням сучасних технічних рішень
Design of a reliable and energy-efficient power supply
system for a food factory using modern technical
solutions**

Виконав студент 4 курсу групи ЕЕ-23мб
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
_____ Ігор ГРЕБЕНЮК
« ____ » _____ 2026 р.

Керівник проекту
доц, канд.техн.наук
_____ Іван САВЕЛЕНКО
« ____ » _____ 2026 р.

Рецензент _____

м. Кропивницький

Міністерство освіти і науки України
Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет будівництва, транспорту та енергетики

Кафедра електротехнічних систем та енергетичного менеджменту

Освітній ступінь бакалавр

Спеціальність 141«Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

_____ Плешков П.Г.

«_____» _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТА

_____ Гребенюка Ігоря Олеговича

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи (проекту) Проектування надійної та енергоефективної системи електропостачання заводу продовольчих товарів із застосуванням сучасних технічних рішень

Design of a reliable and energy-efficient power supply system for a food factory using modern technical solutions

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

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

3. Строк подання студентом роботи до захисту 4.06.2026 р.

4. Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи (проекту) Розробити систему електропостачання заводу продовольчих товарів, згідно завдання: Виконати розрахунок електричних навантажень заводу. Побудувати графіки електричних навантажень. Виконати вибір варіантів схем електропостачання. Виконати розрахунки режимів реактивної потужності, вибору трансформаторів та струмів КЗ. Вибрати високовольтне захисне та комутаційне обладнання. Розробити спеціальний розділ.

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Розрахунок електричних навантажень</i>	9.05.26	
2	<i>Побудова графіків електр. навантажень</i>	10.05.26	
3	<i>Вибір напруги і електричних схем електропостачання</i>	15.05.26	
4	<i>Режими реактивної потужності</i>	18.05.26	
5	<i>Розрахунок струмів КЗ</i>	19.05.26	
6	<i>Вибір низьковольтного обладнання</i>	20.05.26	
7	<i>Спеціальний розділ</i>	23.04.26	
8	<i>Оформлення пояснювальної записки</i>	29.05.26	
9	<i>Виконання графічної частини</i>	3.06.26	

Дата видачі завдання

Підпис керівника _____

« ____ » _____ 2026 р.

Завдання прийнято до виконання

Підпис студента _____

« ____ » _____ 2026 р.

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: 69 с.; 7 рис.; 23 табл.; 8 джерел

Гребенюк І. Проектування надійної та енергоефективної системи електропостачання заводу продовольчих товарів із застосуванням сучасних технічних рішень.– Рукопис.

Design of a reliable and energy-efficient power supply system for a food factory using modern technical solutions

Кваліфікаційна робота за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти за спеціальністю 141 - «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». - Центральноукраїнський національний технічний університет. - м. Кропивницький, 2026 р.

В кваліфікаційній роботі розроблено систему електропостачання заводу продовольчих товарів із застосуванням відновлювальних джерел енергії з метою підвищення енергоефективності та надійності електроспоживання і виконаний згідно завдання.

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

В спеціальному розділі розглянуто питання інтеграції дахових фотоелектричних станцій у систему електропостачання підприємства.

електропостачання, відновлювальні джерела, енергоефективність, сонячні електростанції.

ABSTRACT

Qualification work: 69 p.; 7 Fig.; 23 tables; 8 sources

HREBENIUK I. Design of a reliable and energy-efficient power supply system for a food factory using modern technical solutions – Manuscript.

Проектування надійної та енергоефективної системи електропостачання заводу продовольчих товарів із застосуванням сучасних технічних рішень

Кваліфікаційна робота за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти за спеціальністю 141 - «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». - Центральноукраїнський національний технічний університет. - м. Кропивницький, 2026 р.

В кваліфікаційній роботі розроблено систему електропостачання заводу продовольчих товарів із застосуванням відновлювальних джерел енергії з метою підвищення енергоефективності та надійності електроспоживання і виконаний згідно завдання.

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

В спеціальному розділі розглянуто питання інтеграції дахових фотоелектричних станцій у систему електропостачання підприємства.

електропостачання, відновлювальні джерела, енергоефективність, сонячні електростанції.

ЗМІСТ

Вступ.....	7
1. Розрахунок електричних навантажень.....	9
1.1 Розрахунок освітлювальних навантажень	9
1.2 Розрахунок силових навантажень.....	11
2. Побудова графіків електричних навантажень.....	21
3. Побудова картограми навантажень	27
4. Вибір напруг і схем зовнішнього і внутрішнього електропостачання	29
4.1. Вибір напруги схеми зовнішнього електропостачання	29
4.2. Вибір напруги і схем внутрішнього електропостачання	34
5. Режими реактивної потужності системи електропостачання.....	35
5.1. Розрахунок балансу реактивної потужності	35
5.2. Вибір кількості, потужності та місця розташування компенсуючих пристроїв.....	40
6. Розрахунок струмів короткого замикання і вибір високовольного обладнання	42
6.1. Розрахунок струмів короткого замикання	42
6.2. Вибір кабелів напругою 10 кВ для високовольної мережі заводу.....	49
6.3. Вибір високовольного обладнання	50
7. Дослідження ефективності та надійності впровадження дахових сонячних електростанцій	54
7.1. Дослідження можливості впровадження дахових сонячних електростанцій	55
7.2 Оцінка просторового потенціалу та обмежень розміщення фотоелектричних масивів	57
7.3 Балансове моделювання та визначення рівня покриття сумарних навантажень.....	58
7.4. Обґрунтування конфігурації обладнання та систем накопичення енергії.....	62
7.5 Техніко-економічне обґрунтування та розрахунок термінів окупності проекту	64
7.6 Розрахунок надійності електропостачання та оцінка збитків від перерв у живленні.....	66
Висновки	68
Перелік використаної літератури	69

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		Гребенюк І.О.			Проектування надійної та енергоефективної системи електропостачання заводу продовольчих товарів із застосуванням сучасних	Літера	Аркуш	Аркушів
Перевірів		Савеленко І.В.					6	69
Н. Контр.						<i>ЕЕ-23мб, ЦНТУ</i>		
Затв.		Плешков П.Г.						

Вступ

Важливим напрямом розвитку сучасних систем електропостачання є впровадження інтелектуальних засобів керування, автоматизованих систем контролю та обліку електроенергії, цифрових пристроїв релейного захисту та автоматики, а також технічних рішень, спрямованих на підвищення енергоефективності та використання відновлюваних джерел енергії. Зокрема, перспективним напрямом є інтеграція дахових фотоелектричних станцій (сонячних панелей) у систему електропостачання підприємства, що дозволяє частково покривати власні потреби в електроенергії, знижувати навантаження на зовнішні мережі та скорочувати витрати на енергоресурси. Водночас застосування сучасних систем енергетичного моніторингу (Energy Management System, EMS), автоматизованих систем контролю та обліку електроенергії (АСКОЕ), а також технологій диспетчеризації та дистанційного збору даних забезпечує оперативний контроль параметрів електроспоживання, виявлення неефективних режимів роботи обладнання та прийняття обґрунтованих рішень щодо оптимізації енергоспоживання. Використання зазначених технологій сприяє підвищенню надійності електропостачання, зменшенню технологічних втрат електроенергії та покращенню техніко-економічних показників роботи підприємства.

Мета роботи полягає у розробці проєкту надійної, безпечної та економічно обґрунтованої системи електропостачання заводу продовольчих товарів із застосуванням новітніх енергоефективних технологій та обладнання.

Основні завдання дослідження:

1. Проаналізувати особливості технологічного процесу підприємства харчової галузі.
2. Виконати розрахунок електричних навантажень по цехах та підприємству в цілому.

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

3. Розробити раціональну схему заводського та внутрішньоцехового електропостачання.
4. Здійснити вибір сучасного силового, комутаційного та захисного обладнання.
5. Запропонувати технічні рішення для підвищення енергоефективності та надійності системи електропостачання.
6. Виконати техніко-економічне обґрунтування прийнятих проєктних рішень.

Об'єкт дослідження: система електропостачання промислового підприємства харчової галузі.

Предмет дослідження: методи проєктування та сучасні апаратні рішення, спрямовані на підвищення надійності та оптимізацію енергоспоживання в системах електропостачання.

Практичне значення отриманих результатів. Запропоновані у роботі проєктні рішення можуть бути використані при будівництві нових або реконструкції та енергомодернізації діючих систем електропостачання харчових підприємств для забезпечення їх стабільної роботи та зниження питомих витрат на електроенергію.

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

1. Розрахунок електричних навантажень

Розрахунок електричних навантажень є одним із найважливіших етапів проектування системи електропостачання підприємства. У розділі визначено розрахункові навантаження електроприймачів виробничих та допоміжних підрозділів заводу з урахуванням особливостей технологічного процесу та режимів роботи обладнання. На підставі отриманих значень здійснюється подальший вибір основного електрообладнання та обґрунтування технічних рішень щодо побудови надійної та енергоефективної системи електропостачання.

1.1 Розрахунок освітлювальних навантажень

Розрахунок освітлювального навантаження виконується за питомою потужністю освітлювального навантаження на одиницю корисної площі приміщення. Сучасні промислові LED-світильники забезпечують ту саму або кращу освітленість при питомій потужності приблизно в 2.5–3 рази меншій. Тобто нова p_0 складатиме орієнтовно 2-5 Вт/м².

Встановлена потужність освітлювальних ЕП для цехів круп'яного заводу 1:

$$P_y = p_0 \cdot F \cdot 10^{-3} = 3,5 \cdot 12555 \cdot 10^{-3} = 45,94 \text{ кВт}$$

де $p_0 = 3,5$ – питома потужність освітлювального навантаження, Вт/м²; $F = 12555$ – площі приміщення, м².

Розрахункове навантаження освітлювальних ЕП, кВт:

$$P_p = K_c \cdot P_y = 45,94 \cdot 0,85 = 37,4 \text{ кВт}$$

де $K_c = 0,85$ – коефіцієнт попиту.

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

Розрахункове навантаження:

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi = 37,4 \cdot 0,32 = 12,28 \text{ кВар,}$$

Для інших підрозділів заводу розрахунок освітлювальних навантажень зводимо до таблиці 1.1.

Таблиця 1.1. Розрахунок освітлювальних навантажень

№	Найменування	F, м ²	P ₀ , Вт/м ²	P _в , кВт	K _с	cos	P _р , кВт	Q _р , квар	S _р , кВА
1	Круп'яний завод №1	12555	3,5	43,94	0,85	0,95	37,4	12,28	39,32
	Крупощех	5400	3,5	18,90	0,85	0,95	16,07	5,28	16,91
	Цех вибою та розфасування	2925	3,5	10,24	0,8	0,95	8,19	2,69	8,62
	Цех готової продукції	2160	3,5	7,56	0,8	0,95	6,05	1,99	6,37
	Цех виготовлення м'ясу	2160	3,5	7,56	0,9	0,95	6,80	2,24	7,16
2	Круп'яний завод №2	12150	3,5	42,53	0,82	0,95	34,87	11,46	36,71
	Цех вибою	6210	3,5	21,74	0,8	0,95	17,39	5,72	18,30
	БСК	3105	3,5	10,87	0,8	0,95	8,69	2,86	9,15
	Цех кормосумішей	3105	3,5	10,87	0,85	0,95	9,2	3,04	9,72
3	Склади	1683	2,1	3,53	0,6	0,95	2,12	0,70	2,23
4	Їдальня	2448	4,9	12,0	0,9	0,95	10,2	3,35	10,73
5	Автогараж	2574	2,8	7,2	0,9	0,95	6,1	2,01	6,45
6	Склад готової продукції	4356	2,1	9,1	0,6	0,95	5,5	1,80	5,78
7	Котельня	1764	2,1	3,7	0,6	0,95	2,2	0,73	2,34
8	Заводоуправління	5202	4,9	25,5	0,9	0,95	22,9	7,54	24,15
9	Цех виготовлення комбікормів	10800	3,5	37,8	0,9	0,95	32,1	10,56	33,82
10	Ремонтна майстерня	4500	4,2	18,9	0,8	0,95	15,1	4,97	15,92
11	Склад готової продукції	4500	2,8	12,6	0,6	0,95	7,6	2,48	7,96
12	Склад сировини	4446	2,1	9,3	0,6	0,95	5,6	1,84	5,90
12	Територія комбінату	283500	0,07	19,8	0,6	0,95	11,9	3,91	12,53
	Всього						194	63,64	203,83

1.2 Розрахунок силових навантажень

Розрахункове активне навантаження круп'яного заводу 1:

$$P_p = P_{cm} \cdot K_m = 688,6 \cdot 1,1 = 755 \text{ кВт}$$

де P_{cm} – середнє активне навантаження за найбільш завантажену зміну; K_m – коефіцієнт максимуму навантаження.

Груповий коефіцієнт використання:

$$K_n = \frac{\sum_{i=1}^n P_{cm}}{\sum_{i=1}^n P_n} = 688,6 / 1056 = 0,7$$

де P_{cm} , P_n – середня і встановлена потужність групи ЕП з однаковим режимом роботи; n – число груп ЕП з різними режимами роботи.

Ефективне число ЕП у групі:

$$m = \frac{P_{n \max}}{P_{n \min}} = 45 / 2,6 = 18,$$

де $P_{n \max}$, $P_{n \min}$ – встановлена потужність найбільш і найменш потужного ЕП.

При $m \geq 3$, $K_n > 0,2$ значення n_E :

$$n_E = \frac{2 \sum P_n}{P_{n \max}} = 2 \cdot 1056 / 45 = 47.$$

Розрахункове реактивне навантаження групи ЕП:

$$Q = Q_{cm} = 554,2 \text{ так як } n_E = 47 > 10,$$

де Q_{cm} – середнє реактивне навантаження за найбільш завантажену зміну:

$$Q_{cm} = P_{cm} \cdot \operatorname{tg} \varphi = 688,6 \cdot 0,8 = 554,2 \text{ квар.}$$

Розрахунковий максимум навантаження:

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

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{755^2 + 554,2^2} = 937 \text{ кВА}$$

Розрахунок навантажень до 1000 В зведений в таблиці 1.2

Наведемо приклад розрахунку силових навантажень в мережі вище 1000 В на прикладі ТП№1,2. Навантаження ТП складають: Крупоцех, Цех вибою та розфасування, Цех готової продукції, Цех виготовлення м'ясопродукції, Їдальня, Ремонтна майстерня.

Загальна силова потужність 949 кВт, освітлювальна 150 кВт, разом 1099 кВт та 852 квар відповідно.

Втрати в силових трансформаторах:

$$\Delta P = n (\Delta P_x + \Delta P_k \cdot K_z^2) = 3 (1,31 + 7,6 \cdot 0,62) = 12 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q = n$$

$$\left(n \left(\frac{I_x}{100} S_{н.тр} + \frac{U_k}{100} \cdot S_{н.тр} \cdot K_{з.тр}^2 \right) \right) = 3 \left(\frac{2}{100} 630 + \frac{5,5}{100} 630 \cdot 0,6^2 \right) = 78 \cdot \text{квар.}$$

де

$$K_z = \frac{S_p}{S_n} = \frac{1100}{3 \cdot 630} = 0,6;$$

S_p – розрахункове навантаження трансформаторів ТП1,2.

Після визначення значень втрат підводиться загальний підсумок по ТП1,2 розрахункових і середніх силових навантажень, освітлювальних навантажень і втрат в трансформаторах ТП.

Розрахунок навантажень вище 1000 В приведений в таблиці 1.3.

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

Таблиця 1.2. Розрахунок електричних навантажень в мережі до 1000 В

№	Назва вузлів навантаження та груп електроприймачів	Кіл. ЕП	Встановлена потужність, кВт		m	K _в	cosj	tgj	Середнє навантаження за зміну		п _{еф}	K _м	Розрахункова потужність		
			Одного	Сума					P _{ср}	Q _{ср}			P _p	Q _p	S _p
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	Завод хлібопродуктів														
	Круп'яний завод №1														
	<u>Крупоцех</u>														
	Повітряний нагнітач	2	45 - 45	90	1	0,5	0,7	1	45,0	45,9					
	Плющильні установки	2	45 - 45	90	1	0,7	0,8	0,8	63,0	47,3					
	Зерношліфувальні машини	20	22 - 22	440	1	0,8	0,8	0,8	330,0	247,5					
	Вентилятори	10	19 - 19	185	1	0,7	0,8	0,8	120,3	90,2					
	Очисні машини	6	5,5 - 7,5	42	1,4	0,8	0,8	0,9	31,5	27,8					
	Всього по крупоцеху	40	5,5 - 45	847	8,2	0,7	0,8	0,8	589,8	458,6	38	1,09	644	459	790
	<u>Цех вибою та розфасування</u>														
	Фасувально-пакувальна машини	4	7,5 - 7,5	30	1	0,5	0,7	1	13,5	13,8					
	Машини повздовжнього шва	4	5,5 - 5,5	22	1	0,5	0,8	0,9	9,9	8,7					
	Групова упаковка	2	7,5 - 7,5	15	1	0,4	0,7	1	6,0	6,1					
	Всього по цеху	10	5,5 - 45	67	8	0,4	0,7	1	29,4	28,6	3	1,99	58	31	66
	<u>Цех готової продукції</u>														
	Стрічкові транспортери	2	4,0 - 4	8	1	0,5	0,7	1	4,0	4,1					
	вентилятори	2	4,0 - 4	8	1	0,6	0,8	0,9	4,8	4,2					
	Конвейєри стічкові	2	4,0 - 4	8	1	0,6	0,7	1	4,8	4,9					
	Всього по цеху	6	4,0 - 45	24	11	0,6	0,7	1	13,6	13,2	1	2,20	30	15	33

продовження таблиці 1.1.

1	2	3	4			5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	<u>Цех виготовлення м'ясів</u>																
	Фасувальні апарати	2	7,5	-	7,5	15	1	0,4	0,7	1	6,0	6,1					
	Ланцюгові транспортери	1	4,0	-	4	4	1	0,5	0,7	1	2,0	2,0					
	Повітряний фільтр	2	2,6	-	3	5,1	1	0,5	0,7	1	2,6	2,6					
	Норії	4	19	-	19	74	1	0,5	0,7	1	33,3	34,0					
	Сушильні шафи	2	10	-	10	20	1	0,6	0,8	0,8	12,0	9,0					
	Всього по цеху	11	2,6	-	19	118	7	0,5	0,7	1	55,9	53,7	11	1,38	77	54	94
	Всього по заводу	67	2,6	-	45	1056	18	0,7	0,8	0,8	688,6	554,2	47	1,10	755	554	937
	Круп'яний завод №2																
	<u>Цех вибою</u>																
	Фасувально-пакувальні лінії	6	0,1	-	0,1	0,72	1	0,4	0,7	1	0,3	0,3					
	Зашивочні машини	4	0,3	-	0,3	1	1	0,5	0,7	1	0,5	0,5					
	Стрічкові транспортери	2	3,0	-	3,0	6	1	0,5	0,7	1	3,0	3,1					
	Вентилятори радіальні	2	4,0	-	4,0	8	1	0,7	0,8	0,9	5,2	4,6					
	Всього по цеху	14	0,1	-	4	16	33	0,6	0,7	0,9	8,9	8,4	8	1,4	12	9	15
	<u>Цех готової продукції</u>																
	Розсійники	12	55	-	55	660	1	0,6	0,7	1,2	396,0	463,0					
	Підживлювачі шлюзові	13	13	-	13	173	1	0,4	0,7	1,1	69,2	78,7					
	Конвейер скребковий	2	5,5	-	5,5	11	1	0,5	0,7	1	5,5	5,6					
	Конвейер шнековий	9	14	-	14	126	1	0,5	0,7	1	63,0	64,3					
	Конвейер стрічковий	6	2,8	-	2,8	16,8	1	0,6	0,7	1	9,2	8,9					
	Сепаратор повітряний	10	1,5	-	4,0	30	3	0,4	0,6	1,3	11,1	14,8					
	Сепаратор зерноочисний	4	2,6	-	2,6	10,4	1	0,4	0,6	1,3	4,2	5,5					
	Сортувальна машина	4	2,2	-	2,2	8,8	1	0,4	0,6	1,1	615,9	684,1					
	Всього по цеху	71	1,5	-	55	1118	37	1,1	0,7	1,1	1232	1368,3	41	1,0	1232	1368	1841
	<u>Цех кормосумішей</u>																
	Трієр	2	5,2	-	5,2	10,4	1	0,3	0,5	1,7	3,1	5,4					

продовження таблиці 1.1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	Зернові пропарювачі	4	5,1 - 5,1	20,4	1	0,4	0,6	1,3	8,2	10,9					
	Вентилятори радіальні	4	46 - 46	182	1	0,6	0,8	0,9	109,2	96,3					
	Вентилятори привідні	8	7 - 14	84	2	0,7	0,9	0,6	54,6	33,8					
	Каміннєвідбірник	2	2 - 2	3	1	0,3	0,5	1,7	0,9	1,6					
	Пожежні насоси	3	10 - 15	35	2	0,6	0,7	1	21,0	21,4					
	Компресори	2	5 - 10	15	2	0,7	0,9	0,6	9,8	6,0					
	Всього по цеху	27	2 - 46	354	30	0,6	0,8	0,9	208,5	178,5	16	1,2	255	179	311
	Всього по заводу №2	112	0 - 55	1488	458	1,0	0,7	1,1	1449	1555,2	54	1,0	1449	1555	2126
	Склади														
	Вентилятори	3	4,5 - 20	46,5	4	0,6	0,8	0,8	27,9	20,9					
	Транспортери	2	2,0 - 10	16	5	0,5	0,7	1,2	8,0	9,4					
	Всього по складу	8	2,0 - 20	77,5	10	0,5	0,7	0,9	38,9	35,5	8	1,4	55	39	68
	Їдальня														
	Електричні плити	4	5,0 - 40	150	8	0,6	0,8	0,8	90,0	67,5	4				
	Вентилятори	3	1,0 - 3	8	3	0,7	0,8	0,8	5,6	4,2	3				
	Морозильні камери	2	1,0 - 5	10	5	0,6	0,7	1	5,5	5,6	2				
	Технологічна лінія	2	1,0 - 5	10	5	0,6	0,8	0,9	6,0	5,3	2				
	Всього по Їдальні	11	1,0 - 40	178	40	0,7	0,8	0,8	107,1	80,3	9	1,25	107	88	139
	Автогараж														
	Вентилятори	5	1,0 - 5	16	5	0,7	0,8	0,8	11,2	8,4					
	Компресори	2	10 - 15	20	2	0,7	0,8	0,8	13,0	9,8					
	Зварювальна ділянка	3	1 - 15	40	15	0,3	0,4	2,7	12,0	32,1					
	Токарні станки	3	10 - 14	23	1	0,3	0,7	1,2	5,8	6,7					
	Шліфувальні станки	2	1,0 - 5	10	5	0,3	0,7	1,2	2,5	2,9					
	Всього по автогаражу	15	1,0 - 15	109	15	0,4	0,6	1,3	44,5	57,7	15	1,23	54	58	79
	Склад готової продукції														
	Транспортери	2	1,0 - 4	8	4	0,6	0,8	0,8	4,8	3,6					

продовження таблиці 1.1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	Вентилятори	5	1,0 - 3	15	3	0,7	0,8	0,8	9,8	7,3					
	Машини мікроклімату	2	1,0 - 3	6	3	0,5	0,8	0,9	3,0	2,6					
	Всього по складу	9	1,0 - 4	29	4	0,7	0,8	0,7	17,6	13,6	9	1,22	21	15	26
	<u>Котельня</u>														
	Технологічні насоси	12	3,0 - 80	84	27	0,7	0,8	0,8	58,8	44,1					
	Димососи	2	1,0 - 50	50	50	0,7	0,8	0,8	35,0	26,3					
	Живильні насоси	2	5,0 - 100	85	20	0,7	0,8	0,8	55,3	41,4					
	Вентилятори	6	3,0 - 5	22	2	0,7	0,8	0,8	14,3	10,7					
	Всього по котельні	22	1,0 - 100	241	100	0,7	0,8	0,8	163,4	122,5	5	1,18	193	135	235
	<u>Заоводуправління</u>	20	2,0 - 24	440	12	0,7	0,8	0,8	308,0	231,0	20	1,1	348	231	418
	<u>Елеватор</u>														
	Привод барабана	4	4 - 4	16		0,8	0,7	0,9	12,6	11,5					
	Пиловий шнек	6	0,6 - 0,6	3		0,8	0,8	0,9	2,4	2,0					
	Шлюзовий затвор	4	0,8 - 0,8	3		0,8	0,7	0,9	2,4	2,2					
	Норії	4	20 - 40	120		0,7	0,8	0,7	81,6	57,0					
	Аспірація	6	5 - 7,5	32		0,7	0,8	0,9	21,8	19,2					
	Вентилятори	3	22 - 22	66		0,8	0,8	0,8	52,1	40,5					
	Поворотні круги	6	1 - 5	25		0,1	0,7	1,2	2,8	3,2					
	Компресор	2	2,2 - 3	5		0,4	0,8	0,8	2,0	1,7					
	Цепнік відходів	5	2,2 - 3	11		0,8	0,7	1,0	9,1	9,6					
	Всього по елеватору	40	0,6 - 40	281	73	0,7	0,8	0,8	186,8	146,8	14	1,2	221	147	266
	Комбікормовий завод														
	<u>Цех виготовлення комбікормів</u>														
	Гранулятори	10	10 - 200	560	20	0,8	0,8	0,8	448,0	336,0					
	Лінія первинної обробки	4	1,0 - 20	80	20	0,7	0,8	0,9	52,0	45,9					

продовження таблиці 1.1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	Лінія автоматичного сортування	2	1,0 - 30	60	30	0,5	0,7	1	30,0	30,6					
	Лінія вторинної обробки	6	5,0 - 30	90	6	0,7	0,8	0,8	63,0	47,3					
	Цех дріжжування	2	1,0 - 50	100	50	0,7	0,8	0,8	65,0	48,8					
	Теплопункт	10	1,0 - 40	70	40	0,7	0,9	0,6	49,0	30,4					
	Лінія завантаження	2	1,0 - 5	10	5	0,6	0,8	0,8	6,0	4,5					
	Лінія розвантаження готової продукції	2	1,0 - 10	20	10	0,6	0,8	0,8	12,0	9,0					
	Насоси	5	10 - 50	185	5	0,7	0,8	0,8	129,5	97,1					
	Вентилятори сировинні	8	5,0 - 30	170	6	0,7	0,8	0,8	110,5	82,9					
	Всього по ЦВК	61	1,0 - 200	1395	200	0,7	0,8	0,8	997,5	756,7	14	1,11	1102	757	1337
	<u>Ремонтна майстерня</u>														
	Вентилятори	5	1,0 - 5	25	5	0,7	0,8	0,8	17,5	13,1					
	Компресори	3	10 - 15	40	2	0,7	0,8	0,8	26,0	19,5					
	Зварювальна ділянка	6	1,0 - 15	60	15	0,3	0,4	2,7	18,0	48,2					
	Токарні станки	6	10 - 14	34	1	0,3	0,7	1,2	8,5	9,9					
	Свердлувальні станки	3	1,0 - 5	10	5	0,3	0,7	1,2	2,5	2,9					
	Всього по ремонтній майстерні	23	1,0 - 15	169	15	0,4	0,6	1,3	72,5	93,7	23	1,23	88,81	93,66	129,07
	<u>Склад готової продукції</u>														
	Транспортери	2	1,0 - 4	8	4	0,6	0,8	0,8	4,8	3,6					
	Вентилятори	5	1,0 - 3	15	3	0,7	0,8	0,8	9,8	7,3					
	Машини мікроклімату	2	1,0 - 3	6	3	0,5	0,8	0,9	3,0	2,6					
	Всього по складу ГП	9	1,0 - 4	29	4	0,6	0,8	0,8	17,6	13,6	9	1,22	21,41	14,91	26,09
	<u>Склад сировини</u>														
	Конвейер	2	1,0 - 4	8	4	0,6	0,8	0,8	4,8	3,7					
	Ветиллятори	6	3,0 - 5	22	2	0,7	0,8	0,8	14,3	10,7					

[illegible]

Арк.	№ док-м.

17

Дана		

	Apk.
	19

[illegible]

2. Побудова графіків електричних навантажень

Побудова графіків виконується за значеннями електричних навантажень до компенсації, на базі контрольних графіків електричних навантажень що виконуються раз у півроку.

$$P = 4596 \text{ кВт}; Q = 4169 \text{ кВар}; S = 6205 \text{ кВА}$$

Робочі дні зимові

$$\text{Річна витрата активної електричної енергії, кВт*год: } W_{зр} = 15424143$$

$$\text{Річна витрата реактивної електричної енергії, кВар*год: } V_{зр} = 15624307$$

Робочі дні літні

$$\text{Річна витрата активної електричної енергії, кВт*год: } W_{лр} = 9736306$$

$$\text{Річна витрата реактивної електричної енергії, кВар*год: } V_{лр} = 9486186$$

Вихідні дні зимові:

$$\text{Річна витрата активної електричної енергії, кВт*год: } W_{зв} = 1872644$$

$$\text{Річна витрата реактивної електричної енергії, кВар*год: } V_{зв} = 2118466$$

Вихідні дні літні:

$$\text{Річна витрата активної електричної енергії, кВт*год: } W_{лв} = 1175444$$

$$\text{Річна витрата реактивної електричної енергії, кВар*год: } V_{лв} = 1329745$$

Загальна річна витрата активної електричної енергії, кВт*год:

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

Загальна річна витрата реактивної електричної енергії, кВар*год:

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

Час використання максимального навантаження, год:

$$T_m = \frac{\sqrt{W_p^2 + V_p^2}}{S_p} = \frac{\sqrt{28208535,71^2 + 28558704,13^2}}{6750} = 5947$$

Час максимальних втрат, год:

$$\tau = \left(0,124 + \frac{T_m}{10^4} \right)^2 = \left(0,124 + \frac{5947}{10^4} \right)^2 = 4525$$

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

Для побудови графіків використовуємо програму Графік.xls, що виконана в середовищі MS Excel. Вихідні дані для побудови річного графіку приведені в таблицях 2.1 та 2.2.

Добові графіки електричних навантажень приведені на рисунках 2.1-2.5. Результати розрахунку приведені нижче

Таблиця 2.1. Активне навантаження

Години	Робочий період		Вихідний період	
	Зима	Літо	Зима	Літо
1	4116	3498	1695	1441
2	4116	3786	1695	1441
3	4116	3786	1695	1441
4	4116	3786	1695	1441
5	3970	3540	1695	1441
6	4600	3910	1453	1235
7	4596	4169	1211	1029
8	4596	4169	1211	1029
9	4358	3910	968	823
10	4358	3910	968	823
11	4358	3910	968	823
12	4358	3910	968	823
13	4358	3910	968	823
14	4358	3910	968	823
15	4358	3910	968	823
16	4358	3910	968	823
19	4596	4169	968	823
18	4596	4169	968	823
19	4358	3910	968	823
20	4358	3786	968	823
21	4358	3786	968	823
22	4358	3786	968	823
23	4116	3704	1211	1029
24	4116	3704	1695	1441
Wi	104926	92727	28810	24488

Таблиця 2.2. Реактивне навантаження без врахування КП

Години	Робочий період		Вихідний період	
	Зима	Літо	Зима	Літо
1	4327	3678	1787	1519
2	4327	3678	1787	1519
3	4027	3678	1787	1519
4	4027	3678	1787	1519
5	4045	3438	1787	1519
6	4169	3798	1411	1199
7	4103	3998	1176	999
8	4103	3998	1176	999
9	4169	3798	1176	999
10	4169	3798	1176	999
11	4169	3798	1176	999
12	4169	3798	1176	999
13	4169	3798	1176	999
14	4169	3798	1176	999
15	4169	3798	1176	999
16	4169	3798	1176	999
19	4103	3998	1176	999
18	4103	3998	1176	999
19	4169	3798	1176	999
20	4027	3678	1176	999
21	4027	3678	1176	999
22	4027	3678	1176	999
23	4233	3598	1646	1399
24	4233	3598	1787	1519
Wi	106288	90345	32592	27703

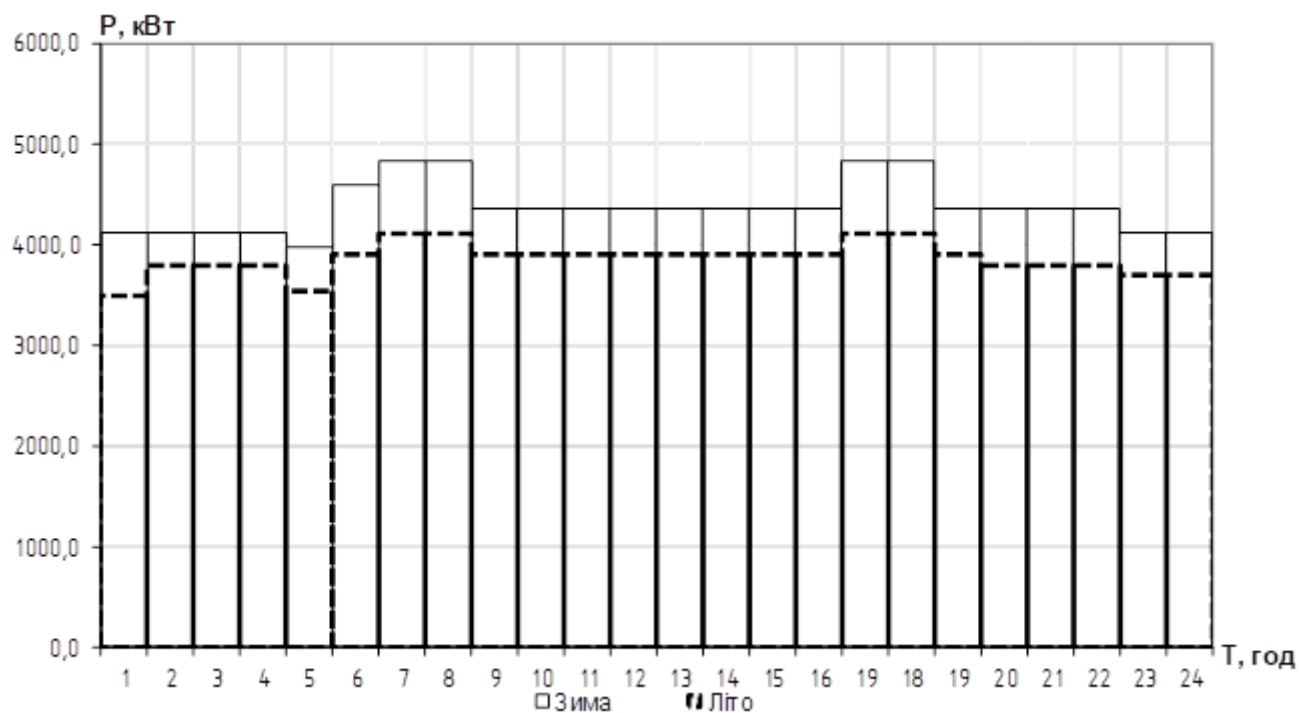


Рис. 2.1. Добовий графік активного навантаження в робочий день

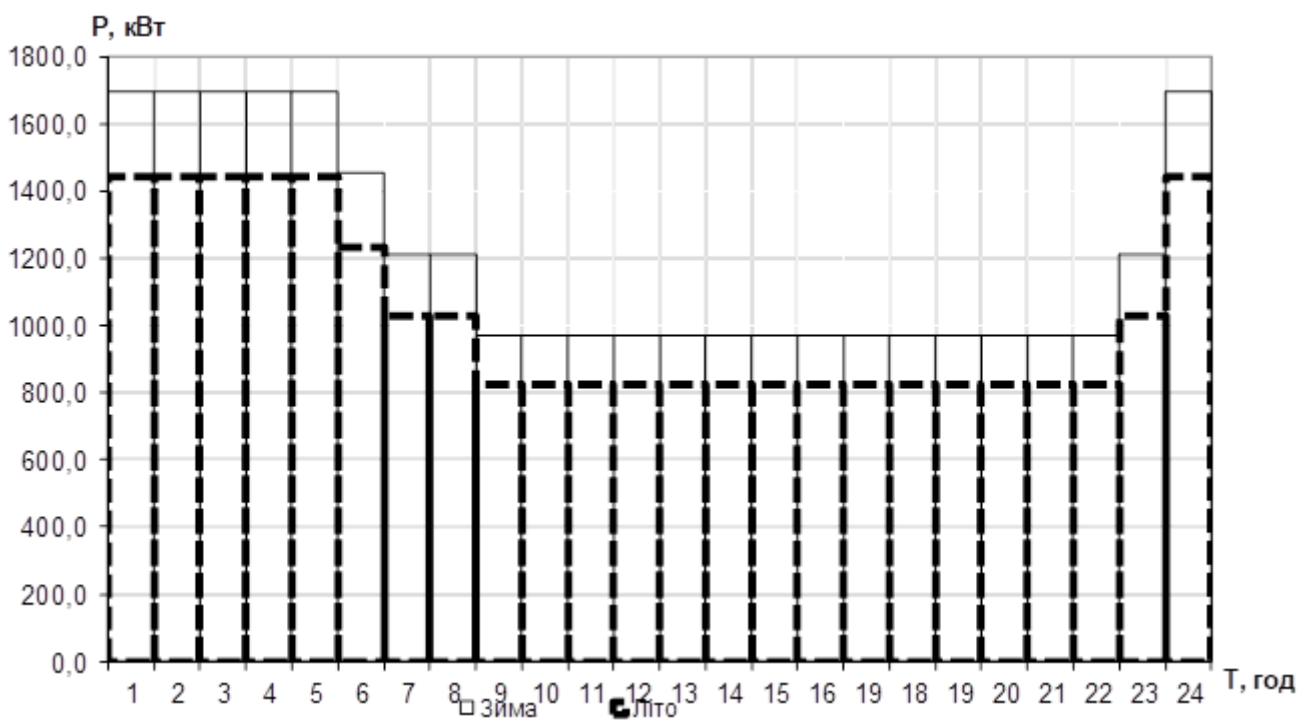


Рис. 2.2. Добовий графік активного навантаження у вихідний день

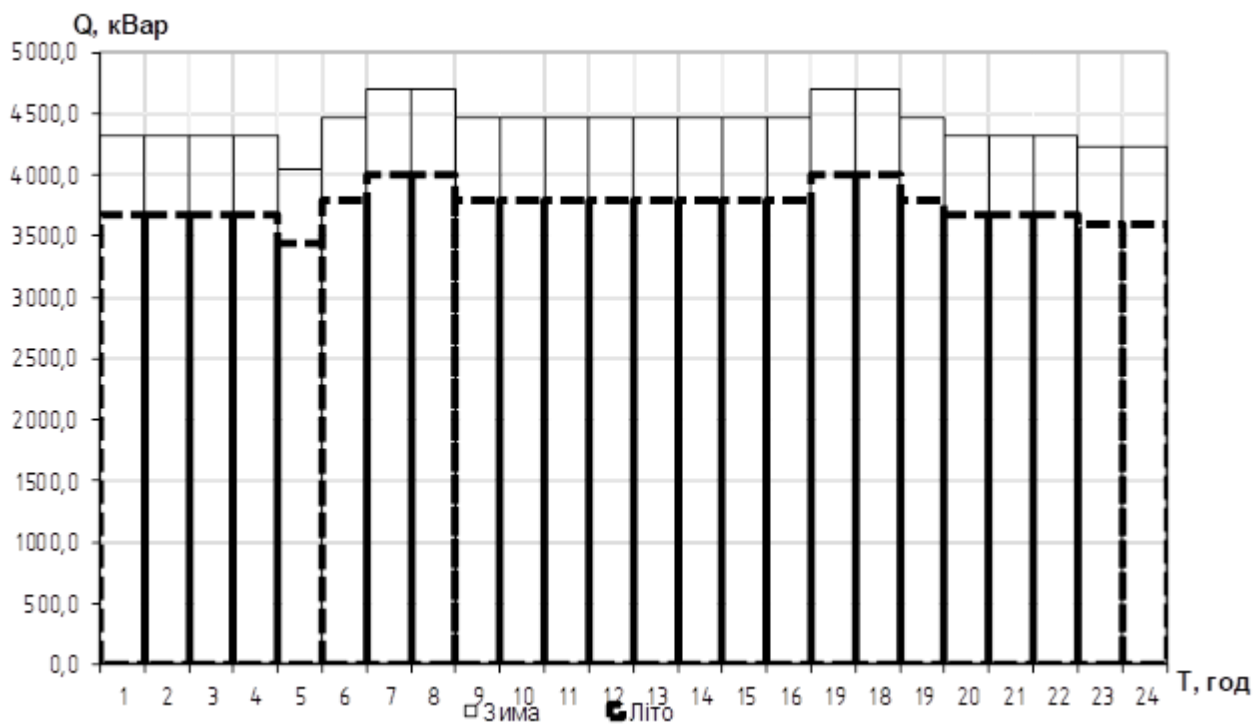


Рис. 2.3. Добовий графік реактивного навантаження в робочий день

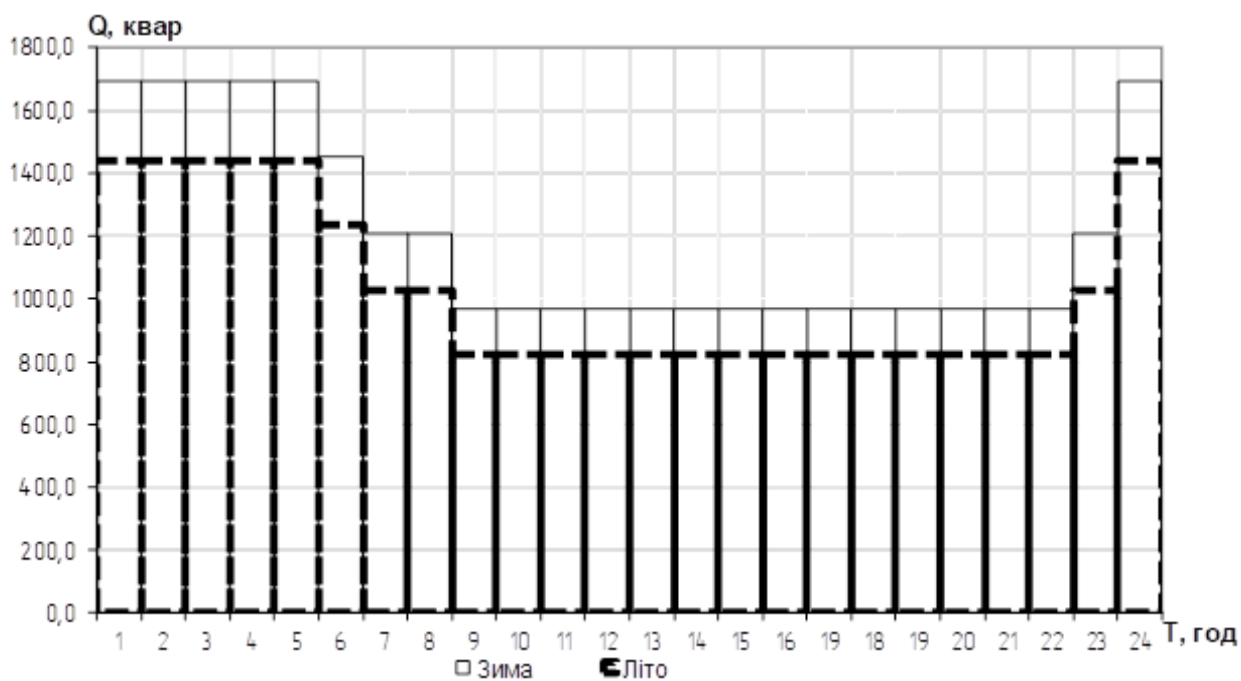


Рис. 2.4. Добовий графік реактивного навантаження у вихідний день

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

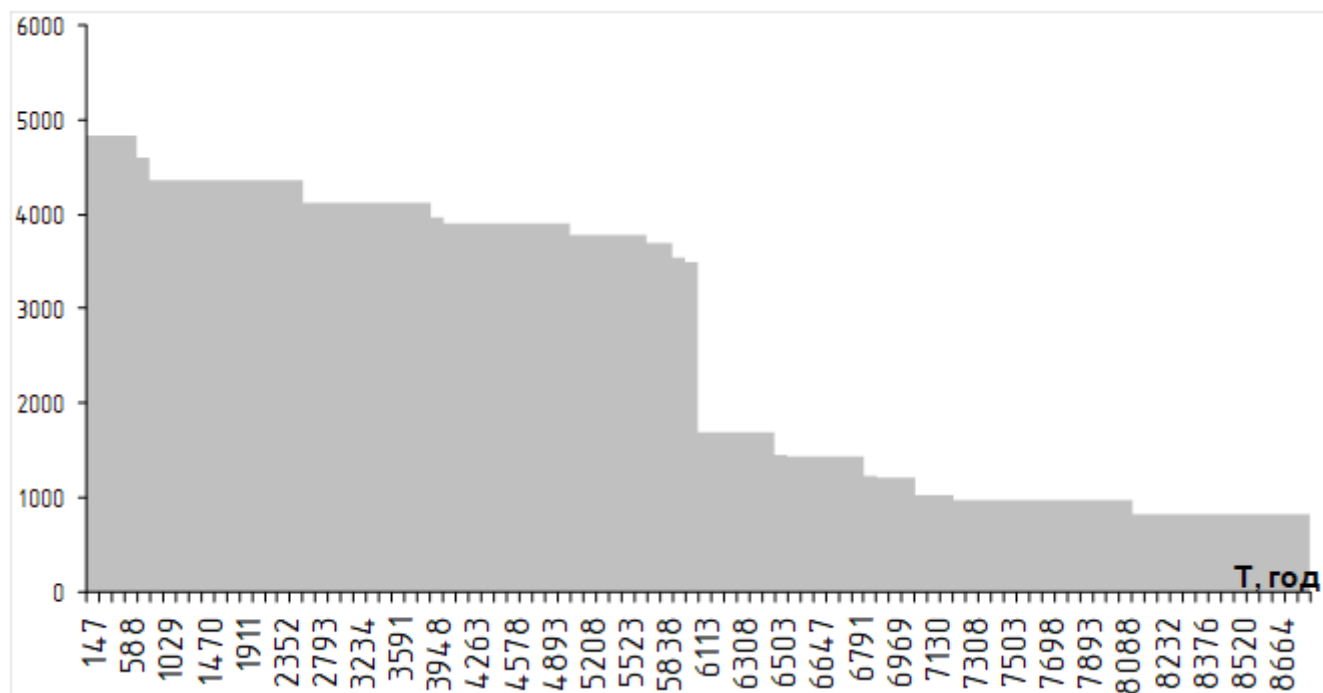


Рис. 2.5.Річний графік активного навантаження

3. Побудова картограми навантажень

Для визначення місць розташування ЦЕН на план промислового підприємства наноситься картограма електричних навантажень. На картограмі для кожного цеха визначається радіус кола характерний розрахунковому навантаженню цеха.

При побудові на підприємстві ЦРП його можна зміщати в сторону ЦЕН у напрямку джерела живлення.

Приведемо приклад розрахунку для крупощеху

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

Радіус окружності:

$$R = \sqrt{P_p / \pi} * m = \sqrt{680,4 / 3,14} * 0,5 = 20,81 \text{ мм}$$

Де $m = 0,5$ – масштаб кола, кВт/мм².

Визначимо сектор, що характеризує частку освітлювального навантаження:

$$\alpha = 360 * 36,7 / 680,4 = 19,43^\circ$$

Координати крупощеху на генплані заводу(345:300)

$$X_o = 680,4 * 345 = 2049922,30 \text{ кВт м};$$

$$Y_o = 680,4 * 300 = 1580334,13 \text{ кВт м}.$$

Результати розрахунку ЦЕН заводу зведені до таблиці 3.1

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

Таблиця 3.1. Дані для побудови картограми електричних навантажень та розрахунку умовного центру електричних навантажень.

№ по плану	Найменування	$P^{0,4}_{\text{сил, кВт}}$	$P_{\text{росв, кВт}}$	$P_p, \text{кВт}$	m	$R, \text{мм}$	α	$x, \text{м}$	$y, \text{м}$	$P^*x, \text{кВт м}$	$P^*y, \text{кВт м}$
1	Круп'яний завод №1										
	Крупоцех	643,64	16,07	659,71	0,5	20,49	8,77	345	300	227599,29	197912,43
	Цех вибою та розфасування	58,47	8,19	66,66	0,5	6,51	44,23	345	300	22996,19	19996,69
	Цех готової продукції	29,92	6,05	35,97	0,5	4,79	60,53	345	300	12408,96	10790,40
	Цех виготовлення м'ясу	76,81	6,80	83,61	0,5	7,30	29,29	345	300	28846,60	25084,00
2	Круп'яний завод №2										
	Цех вибою	12,12	17,39	29,50	0,5	4,33	212,16	576	363	16994,77	10710,25
	Цех готової продукції	1231,82	8,69	1240,5	0,5	28,10	2,52	576	363	714536,06	450306,58
	Цех кормосумішей	254,51	9,24	263,75	0,5	12,96	12,61	576	363	151919,63	95741,02
3	Склади	55,42	2,12	57,54	0,5	6,05	13,27	300	420	17261,57	24166,20
4	Їдальня	107,10	10,20	117,30	0,5	8,64	31,29	330	210	38707,65	24632,14
5	Автогараж	54,45	6,13	60,58	0,5	6,21	36,41	171	378	10358,73	22898,25
6	Склад готової продукції	21,41	5,49	26,90	0,5	4,14	73,45	216	471	5810,30	12669,69
7	Котельня	192,75	2,22	194,98	0,5	11,14	4,10	630	159	122834,65	31001,13
8	Заводоуправління	347,92	22,94	370,86	0,5	15,37	22,27	192	222	71204,76	82330,50
9	Елеватор	221,38	29,13	250,51	1,5	7,29	41,86	300	360	75154,22	90185,06
10	Цех виготовлення комбікормів	1102,24	32,13	1134,4	0,5	26,87	10,20	387	390	439000,22	442403,33
11	Ремонтна майстерня	88,81	15,12	103,93	0,5	8,13	52,37	690	330	71713,43	34297,73
12	Склад готової продукції	21,41	7,56	28,97	0,5	4,29	93,94	450	90	13036,95	2607,39
13	Склад сировини	23,30	5,60	28,90	0,5	4,29	69,77	330	90	9538,31	2601,36
	Всього по заводу			4538,71						2049922,30	1580334,13
										$X_0=451,65$	$Y_0=348,19$

4. Вибір напруг і схем зовнішнього і внутрішнього електропостачання

4.1. Вибір напруги схеми зовнішнього електропостачання

На першому етапі техніко-економічного порівняння варіантів виконують технічний розрахунок по вибору схем можливих варіантів і основного електрообладнання. Проектне рішення обирається порівнянням зведених витрат по варіантам.

Варіант №1. Живлення споживачів здійснюється за кабельними лініями 10 кВ безпосередньо від шин 10 кВ підстанції енергосистеми. Схема електропостачання приведена на рисунку 4.1.

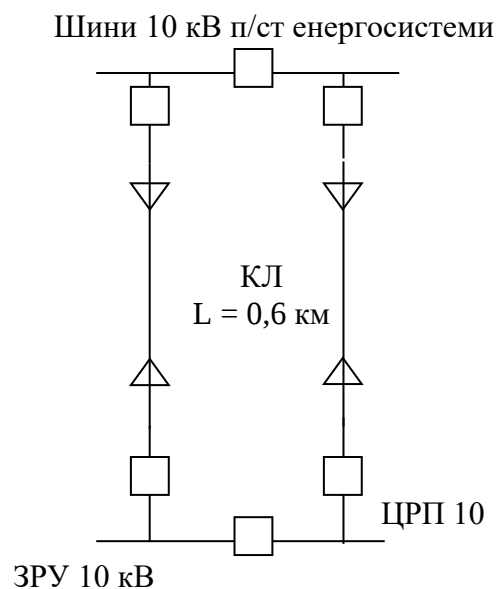


Рисунок 4.1. Схема живлення заводу

Живлення споживачів здійснюється за кабельними лініями 10 кВ безпосередньо від шин енергосистеми, віддаленість від заводу $L = 0,6$ км.

$$I_p = \frac{S_p}{N\sqrt{3} U_n} = \frac{6205}{2 \cdot 1,73 \cdot 10} = 194 \text{ А}$$

Площа перерізу кабельної лінії:

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

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

де $j_{ек} = 1,1 \text{ А/мм}^2$ – економічна щільність струму при $T_m = 5947 \text{ год}$.

Приймаємо стандартний переріз 185 мм^2 кабеля. Приймаємо кабель марки ААШв – 10 (3 х 185). Для даного кабеля допустимий тривалий струм $I_{доп} = 310 \text{ А}$, втрати потужності на 1 км $P_{1км} = 22 \text{ кВт/км}$, вартістю $K_0 = 154 \text{ тис.грн/км}$.

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

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

Коефіцієнт попереднього завантаження кабеля

$$K_3 = I_p / (n \cdot I_{доп}') = 194 / (1 \cdot 310) = 0,64$$

При виході зі строю однієї лінії, інша забезпечить живлення навантаження

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

Розрахунок показує, що в аварійному режимі кабельна лінія площею перерізу 185 мм^2 не забезпечує передачу необхідної потужності. Приймаємо до прокладки кабельні лінії площею перерізу 95 мм^2 . Приймаємо кабель 2хААШв-10 (3 х 95).

Для даного кабеля допустимий тривалий струм $I_{доп} = 205 \text{ А}$, втрати потужності на 1 км $P_{1км} = 16 \text{ кВт/км}$, вартістю $K_0 = 108 \text{ тис.грн/км}$.

Коефіцієнт попереднього завантаження кабеля

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

Втрати потужності та енергії в лінії:

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

$$\Delta P_{л} = \Delta P_{1км} \cdot l_{\Sigma} \cdot K_3 = 16 \cdot 4,8 \cdot 0,61 = 28,37 \text{ кВт}$$

Сумарна довжина кабельної лінії

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

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

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

$$\text{Свтрат} = \Delta \mathcal{E}_1 \cdot C_0 = 128383 \cdot 8,9 = 143789 = 1142,6 \text{ тис. грн.}$$

де C_0 – вартість 1 кВт×год електроенергії на оптовому ринку з урахуванням втрат на розподіл та постачання $C_0 = 8,9$ грн/кВт·год.

Варіант №2. Живлення заводу напругою 35 кВ від двох окремо працюючих трансформаторів. Відстань до заводу 0,6 км. Схема зображена на рисунку 4.2

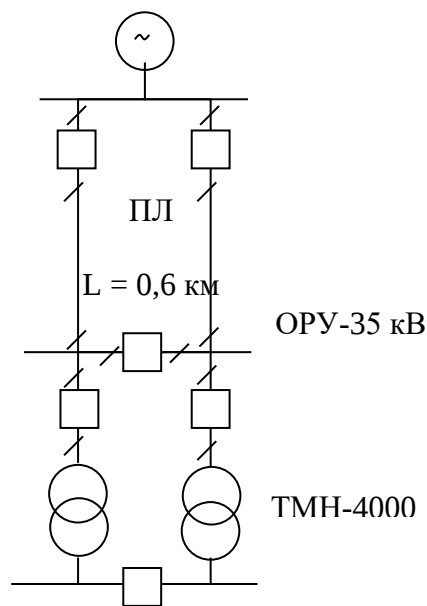


Рисунок 4.2. Схема живлення за другим варіантом

Розрахунковий струм в лінії, $I_p = 56$ А

Площа перерізу проводів повітряної лінії, вибрана по економічній щільності струму:

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

де $j_{\text{ек}} = 1$ А/мм² – економічна щільність струму п при $T_m = 5947$ год.

Приймаємо ЛЕП з проводами АС, лінія перерізом 70 мм² Обираємо провід марки АС, з перерізом $F = 70$ мм². Параметри на один ланцюг: $\Delta P_{1\text{км}} = 109$ кВт/км; $I_{\text{доп}} = 265$ А; $K_0 = 398$ тис.грн/км.

На ГЗП встановлені два трансформатори потужністю $S_n = 4000$ кВА кожен, напругою 35 /10 кВ.

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

Обираємо трансформатор типу ТМН-4000/35-73У1 з параметрами $\Delta P_k = 33,5$ кВт; $\Delta P_{xx} = 6,7$ кВт; $U_{k3} = 7,5$ %.

Завантаження трансформаторів в нормальному режимі:

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

При відключенні одного трансформатора інший зможе забезпечити живлення навантаження

$$S = 1,4 \cdot S_{н.тр.} = 1,4 \cdot 4000 = 5600 \text{ кВА}$$

Втрати потужності та енергії в лінії:

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

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

Сумарна довжина кабельної лінії

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

n_L - кількість ліній в одному ланцюгу, шт

Втрати енергії в трансформаторах:

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

Сумарні втрати енергії:

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

Вартість втрат енергії:

$$C_{пот} = \Delta \mathcal{E} \cdot C_0 = 370121,81 \cdot 6,9 = 2553800 \text{ грн} = 2553,8 \text{ тис. грн}$$

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

Таблиця 4.1. Розрахунок спрощених капітальних вкладень по варіантах

№ п/п	Найменування об'єкту	Одиниця	Кількість	Вартість одиниці, тис грн	Вартість всього, т. грн
I варіант	Шафи КРУ з вимикачами 10 кВ, що додатково встановлюються на підстанції	шт	2	301,6	603,2
	Кабельна лінія типу АШШВ-10 (3×95)	км	2,4	108	259,2
	Траншея	км	0,606	277	167,862
	Всього				1030,262
II варіант	Дволанцюгова повітряна лінія напругою 35 кВ	км	0,6	1980	1188
	Відкритий розподільчий пристій	шт	1	2495	2495
	Трансформатори ГЗП ТМН-4000/35	шт	2	1700	3400
	Всього				7083

Таблиця 4.2. Розрахунок поточних витрат по варіантам

№ п/п	Найменування об'єкту	Кі, тис грн	Р _а , %	С _а , %	Р _е , %	С _е , %	С _п , тис грн
I варіант	Шафи КРУ з вимикачами 10 кВ, що додатково встановлюються на підстанції	603,2	15	90,48	5	30,16	120,64
	Кабельна лінія типу АШШВ-10 (3×95)	259,2	5	12,96	5	12,96	25,92
	Траншея	167,86	5	8,3931	5	8,3931	16,7862
	Всього	1030,3		111,833		51,5131	163,3462
II варіант	Дволанцюгова повітряна лінія напругою 35 кВ	1188	5	59,4	5	59,4	118,8
	Відкритий розподільчий пристій ВРП-35	2495	15	374,25	5	124,75	499
	Трансформатори ГЗП ТМН-4000/35	3400	15	510	5	170	680
	Всього	7083		943,65		354,15	1297,8

Результати розрахунку приведених витрат приведені в таблиці 4.3.

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

Таблиця 4.3 Приведені витрати по варіантам електропостачання

№ п/п	Найменування статті	Варіант I	Варіант II
1	Капіталовкладення у варіанти	1030,3	7083
2	Поточні витрати	163	119
3	Вартість втрат електроенергії	1142	2553
5	Зведені витрати	1695	3521

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

4.2. Вибір напруги і схем внутрішнього електропостачання

Для розподілу електричної енергії в межах підприємства використовується мережа середньої напруги 10 кВ. Живлення цехових електроприймачів, до складу яких входять силові обладнання та установки освітлення, здійснюється від мережі низької напруги 380/220 В.

Побудова системи внутрішнього електропостачання промислових підприємств може реалізовуватися за радіальною, магістральною або комбінованою схемою. Вибір конкретної схеми визначається розташуванням виробничих об'єктів на території підприємства, величиною електричних навантажень, категорією надійності споживачів та вимогами до безперервності електропостачання.

З урахуванням конфігурації підприємства, характеру розміщення електроспоживачів та необхідності забезпечення достатнього рівня надійності електропостачання для внутрішньозаводської мережі прийнято змішану схему розподілу електроенергії.

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

5. Режими реактивної потужності системи електропостачання

У процесі експлуатації промислові електроспоживачі використовують не лише активну потужність, необхідну для виконання корисної роботи, але й реактивну потужність, яка потрібна для створення електромагнітних полів у відповідному обладнанні. Найбільшу частку реактивної потужності споживають асинхронні електродвигуни. Значними споживачами також є силові трансформатори. Решта реактивної потужності витрачається повітряними лініями електропередачі, реакторами, напівпровідниковими перетворювачами та іншими електротехнічними установками.

5.1. Розрахунок балансу реактивної потужності

Під час проєктування систем електропостачання аналізують декілька можливих варіантів їх розташування та визначають найбільш доцільний з техніко-економічної точки зору. Основним критерієм вибору є забезпечення мінімального значення сумарних приведених витрат, що враховують як капітальні вкладення, так і експлуатаційні витрати протягом усього терміну служби системи.

У межах розділу розглядаються джерела споживання та генерації реактивної потужності, методика складання балансу реактивної потужності для підприємств і електричних мереж, а також визначення дефіциту або надлишку реактивної потужності.

Результати розрахунку балансу реактивної потужності використовуються для обґрунтування необхідності встановлення компенсувальних пристроїв, підвищення енергоефективності систем електропостачання, зниження втрат електроенергії та забезпечення нормативних показників якості електричної енергії.

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

Проведемо розрахунок балансу активної та реактивної потужності.

Сумарне низьковольтне електричне навантаження:

$$P_n = \sum P_{ТП} = 4596 \text{ кВт} \quad Q_n = \sum Q_{ТП} = 4169 \text{ кВАр}$$

Сумарні втрати в цехових ТП:

$$\Delta P_m = \sum \Delta P_{ТП} = 57,5 \text{ кВт} \quad \Delta Q_m = \sum \Delta Q_{ТП} = 430 \text{ кВАр}$$

Сумарне високовольтне навантаження:

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

Сумарне споживання активної та реактивної потужностей:

$$P_p = P_n + \Delta P_m + P_\epsilon = 4596 + 57,5 + 0 = 4653,5 \text{ кВт}$$
$$Q_p = Q_n + \Delta Q_m + Q_\epsilon = 4169 + 430 + 0 = 4599 \text{ кВАр}$$

Реактивна потужність, яка споживається від системи:

$$Q_e = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi_c = 4653,5 \cdot 0,15 = 698,03 \text{ кВАр}$$

Потужність компенсуючих пристроїв:

$$Q_{кп} = Q_p - Q_e = 4599 - 698,03 = 3900,97 \text{ кВАр}$$

Мінімальна кількість трансформаторів:

$$N_0 = \frac{P_n}{\beta \cdot S_{ном}} = \frac{4596}{0,7 \cdot 630} = 10,42 \approx 11 \text{ шт.}$$

Надалі будуть розглядатися варіанти компенсації при кількості трансфор-

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

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

Варіант 1. $N = N_0 = 11$ шт.

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

$$Q_1 = \sqrt{(N \cdot \beta \cdot S_{ном})^2 - (P_n + \Delta P_m)^2} = \sqrt{(11 \cdot 0,7 \cdot 630)^2 - 4653,5^2} = 1370,09 \text{ кВАр}$$

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

$$Q_{KH} = (Q_n + \Delta Q_m) - Q_1 = 4599 - 1370,09 = 3228,91 \text{ кВАр}$$

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

$$Q_{KB} = Q_{КП} - Q_{KH} = 3900,97 - 3228,91 = 672,06 \text{ кВАр}$$

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

Результати розрахунку зведено в таблицю 5.1.

Таблиця 5.1. Розрахунок потужності компенсуючих пристроїв

№ варіанту	Кількість тр-торів	Q_1 , кВАр	Q_{KH} , кВАр	Q_{KB} , кВАр
1	11	1370,09	3228,91	672,06
2	12	2519,96	2079,04	1821,93
3	13	3348,47	1250,53	2650,44

Варіант I. N = 11 шт.

Втрати активної потужності в КП:

$$\Delta P_{KH} = P_{ПИТ}^{KH} \cdot Q_{KH} = 0,0045 \cdot 2295 = 10,33 \text{ кВт}$$

$$\Delta P_{KB} = P_{ПИТ}^{KB} \cdot Q_{KB} = 0,003 \cdot 1800 = 5,4 \text{ кВт}$$

Втрати активної потужності при передачі через трансформатори реактивної потужності:

$$\Delta P_{ТП} = \frac{P_{HH}^2 + Q_1^2}{U_H^2} R_T \cdot 10^{-3} = \frac{4596^2 + 1370,09^2}{10^2} \cdot 0,15 \cdot 0,001 = 34,5 \text{ кВт}$$

де

$$R_{екв} = \frac{\Delta P_K \cdot U_{ном}^2}{N \cdot S_{ном}^2} \cdot 10^3 = \frac{6,5 \cdot 10^2}{11 \cdot 630^2} \cdot 1000 = 0,15 \text{ Ом}$$

Вартість КП на стороні 0,4 кВ:

$$K_{KH} = \sum_{i=1}^n N_{KH i} \cdot K_{KH i} =$$
$$= 2 \cdot 29,52 + 2 \cdot 31,77 + 1 \cdot 33,03 + 4 \cdot 42,75 + 1 \cdot 49,77 + 2 \cdot 92,07 = 560,52$$

Вартість КП на стороні 10 кВ:

$$K_{KB} = \sum_{i=1}^n N_{KB i} \cdot K_{KB i} = 2 \cdot 138,06 = 276,12 \text{ тис.грн.}$$

Вартість КТП:

$$K_{КТП} = N_{КТП (2)} \cdot K_{КТП (2)} + N_{КТП (1)} \cdot K_{КТП (1)} =$$
$$= 4 \cdot 1098 + 3 \cdot 556 = 6060 \text{ тис.грн.}$$

Розрахункові витрати на компенсацію реактивної потужності:

Арк.

38

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата

$$\begin{aligned}
Z &= E_H (K_{KH} + K_{KB} + K_{КТП}) + C_0 \tau (\Delta P_{KH} + \Delta P_{KB} + \Delta P_{ТП}) = \\
&= 0,12 \cdot (560,52 + 276,12 + 6060) + 8,907 \cdot 4525 \cdot (10,33 + 5,4 + 34,5) \cdot 10^{-3} = \\
&= 2852,08 \text{ тис.грн.}
\end{aligned}$$

Розрахунок двох інших варіантів проводиться аналогічно. Результати результати розрахунку приведені в таблиці 5.2.4.

Таблиця 5.2.4. Розрахункові витрати на компенсацію реактивної потужності

№ вар.	$Q_{KH},$ <i>кВАр</i>	$\Delta P_{KH},$ <i>кВт</i>	$Q_{KB},$ <i>кВАр</i>	$\Delta P_{KB},$ <i>кВт</i>	$N_{TP},$ <i>шт.</i>	$R_{екв},$ <i>Ом</i>	$S_{пр},$ <i>кВА</i>	$\Delta P_{ТП},$ <i>кВт</i>	$K_{KH},$ <i>тис.</i> <i>грн.</i>	$K_{KB},$ <i>тис.</i> <i>грн.</i>	$K_{КТП},$ <i>тис.</i> <i>грн.</i>	$Z,$ <i>тис.</i> <i>грн.</i>
1	2295	10,33	1800	5,4	11	0,15	4795,87	34,5	560,52	276,12	6060	2852,1
2	1822	8,2	1800	5,4	12	0,14	5241,51	38,46	412,02	276,12	6616	2874,7
3	1881	8,46	300	0,9	13	0,13	5686,43	42,04	420,66	60,3	7172	2990

5.2. Вибір кількості, потужності та місця розташування компенсуючих пристроїв

Для кожного з трьох розглянутих варіантів визначаємо величину реактивної потужності, яка може бути передана силовими трансформаторами трансформаторних підстанцій у внутрішньоцехові електричні мережі, а також необхідну потужність компенсувальних установок, що підлягають монтажу в цих мережах.

На першому етапі виконуємо розрахунок реактивної потужності, яку необхідно компенсувати в мережі низької напруги трансформаторних підстанцій ТП-1 та ТП-2 для другого варіанту:

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

Розрахункова потужність КП:

$$Q_{\text{кп}} = Q_n - Q_{\text{п}} = 558 - 337 = 539 \text{ квар}$$

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

$$2 \text{ шт КРМ} - 0,38 - 268 - 67 \text{ УЗ}$$

Аналогічно проводимо інші розрахунки. Результати розрахунків зводимо в таблицю 5.2.1-5.2.3. Розрахунок електричних навантажень в мережі вище 1000 В з урахуванням компенсації наведено в таблиці 1.3.

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

Таблиця 5.2.1. Вибір типу та потужності БК при кількості трансформаторів N = 11 шт.

№ КТП	К-сть т-рів	$P_p, \text{кВт}$	$Q_p, \text{кВАр}$	$Q_{np}, \text{кВАр}$	$Q_{кп}, \text{кВАр}$	Кількість та потужність БК, шт.·кВАр	Сума $Q_{БК}, \text{кВАр}$	$Q_{кп} - Q_{бк}, \text{кВАр}$	$K_з$	$S_p, \text{кВА}$
1	2	1098,61	851,985	0	851,985		0	851,985	1,1	1390,26
2-3	4	1569,82	1757,03	804,59	952,443	2·50; 4·166;	764	188,443	0,74	1857,54
4	1	406,41	321,462	171,21	150,252	1·100;	100	50,2521	0,73	462,833
5	1	432,19	376,791	87,71	289,081	1·225;	225	64,0813	0,73	458,07
6-7	3	1561,58	1031,55	0	1031,55	2·67; 2·536;	1206	-174,447	0,83	1571,29

Сумарна потужність БК на стороні 0,4 кВ складає 2295 кВАр.

Кількість та потужність БК на стороні 10 кВ: 2·900; сумарна потужність БК 10 кВ складає 1800 кВАр.

Таблиця 5.2.2. Вибір типу та потужності БК при кількості трансформаторів N = 12 шт.

№ КТП	К-сть т-рів	$P_p, \text{кВт}$	$Q_p, \text{кВАр}$	$Q_{np}, \text{кВАр}$	$Q_{кп}, \text{кВАр}$	Кількість та потужність БК, шт.·кВАр	Сума $Q_{БК}, \text{кВАр}$	$Q_{кп} - Q_{бк}, \text{кВАр}$	$K_з$	$S_p, \text{кВА}$
1-2	3	1098,61	851,985	737,15	114,835	2·50;	100	14,835	0,7	1331,32
3-4	4	1569,82	1757,03	804,59	952,443	2·100;	200	752,443	0,88	2211,04
5	1	406,41	321,462	171,21	150,252	1·150;	150	0,25214	0,7	441,099
6	1	432,19	376,791	87,71	289,081	1·300;	300	-10,9187	0,7	438,959
7-8	3	1561,58	1031,55	0	1031,55	2·536;	1072	-40,4465	0,83	1562,1

Сумарна потужність БК на стороні 0,4 кВ складає 1822 кВАр.

Кількість та потужність БК на стороні 10 кВ: 2·900; сумарна потужність БК 10 кВ складає 1800 кВАр.

6. Розрахунок струмів короткого замикання і вибір високовольтного обладнання

6.1. Розрахунок струмів короткого замикання

Розрахунок струмів короткого замикання виконується з метою правильного вибору та перевірки електротехнічного обладнання, визначення параметрів налаштування пристроїв релейного захисту й автоматики, а також оцінки надійності роботи системи електропостачання. При перевірці електричних апаратів і струмопровідних елементів на термічну та електродинамічну стійкість розрахунковим режимом вважається трифазне коротке замикання, яке створює найбільші струмові навантаження.

Для виконання розрахунків та подальшого вибору електричних апаратів, провідників, шинопроводів та ізоляційних конструкцій необхідно визначити такі основні параметри короткого замикання:

- а) діюче значення періодичної складової струму короткого замикання в початковий момент аварії — надперехідний струм;
- б) найбільше миттєве значення повного струму короткого замикання — ударний струм;
- в) діюче значення струму короткого замикання в усталеному режимі — усталений струм.

Отримані значення використовуються для оцінювання термічної та динамічної стійкості елементів системи електропостачання, а також для забезпечення надійної роботи засобів захисту та комутаційного обладнання.

На рисунку 6.1 наведена схема для розрахунку струмів КЗ в мережі заводу

						Арк.
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		

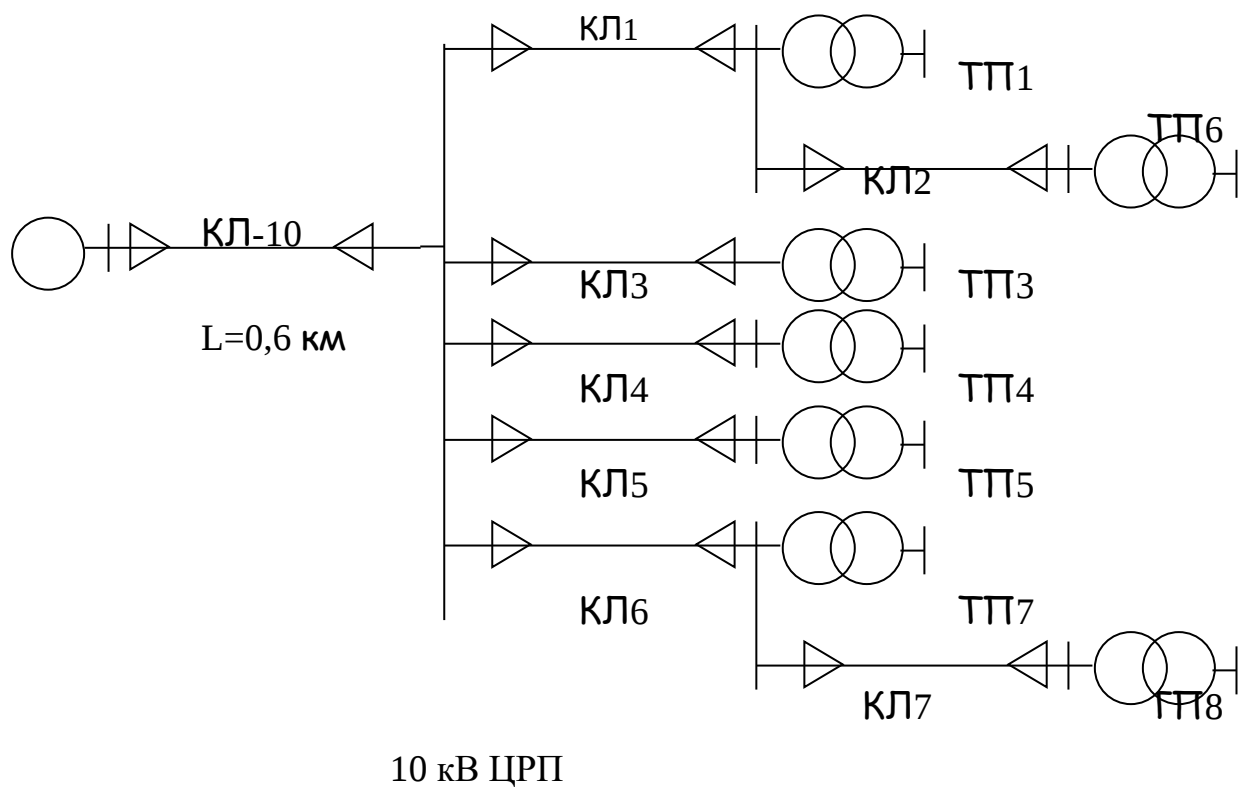


Рис. 6.1. Схема для розрахунку струмів КЗ в мережі заводу

Номінальна напруга кабельної лінії $U_n = 10$ кВ. Лінія КЛ10 виконана проводом марки ААШв-10 (3х150) довжиною $L_1 = 0,6$ км та перерізом $F = 150$ мм². Параметри лінії КЛ1 від ЦРП до цехової ТП1 Номінальна напруга кабельної лінії $U_n = 10$ кВ. Лінія виконана кабелем марки ААШв-10 (3х50) $F_{ст} = 50$ мм², довжиною $L_{кл} = 0,24$ км. Номінальна потужність трансформатора ТП складає $S_{тр} = 630$ кВА. На ТП встановлений трансформатор типу ТМ- 630 з параметрами: $\Delta P_{хх} = 1,31$ кВт ; $\Delta P_{кз} = 10,0$ кВт; $U_{к\%} = 5,6$ %. За схемою електропостачання складаємо схему заміщення (див. рис. 6.2), замінюючи всі елементи еквівалентними опорами.

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

За схемою 6.1 складається схема заміщення для розрахунку струмів КЗ.

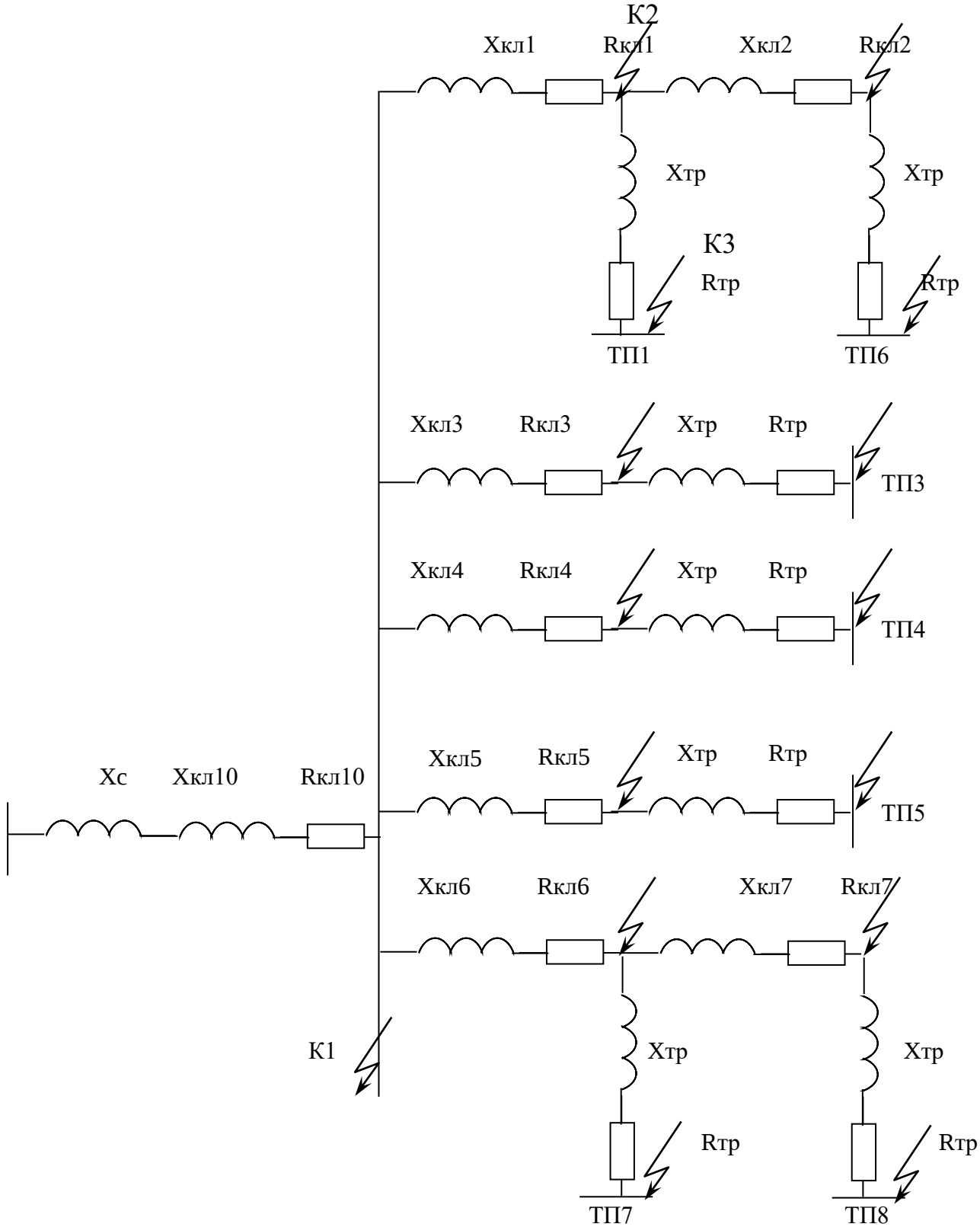


Рис. 6.2. Схема заміщення

Розрахунок виконуємо у відносних величинах. Приймаємо базисну потужність $S_6 = 100$, базисна напруга в точці К1 $U_{61} = 10,5$ кВ; в точці К2 $U_{62} = 10,5$ кВ; в точці К3 $U_{63} = 0,4$ кВ.

Визначаємо відносні опори елементів схеми КЗ:

Реактивний опір системи:

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

Реактивний опір лінії напругою 10 кВ до ЦРП :

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

Активний опір лінії напругою 10 кВ до ЦРП :

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

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

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

Активний опір лінії напругою 10 кВ:

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

Опір трансформатора напругою 10/0,4 кВ

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

$$\sqrt{\quad}$$

$$X_{тр} = (U_K / 100)^2 - (\Delta P_M / S_{H.тр})^2 * S_6 / S_{H.тр} =$$

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

$$= \sqrt{(5,55 / 100)^2 - (10,00 / 630)^2} * 100000 / 630 = 8,4$$

Визначаємо результуючий еквівалентний опір до розрахункової точки КЗ виконуючи спрощення схеми заміщення за такою послідовністю:

1) результуючий опір до точки К1

$$R_{K1} = R_{Л1} = 0,03$$

$$X_{K1} = X_c + X_{Л1} = 0,74 + 0,12 = 0,86$$

$$Z_{K1} = \sqrt{R_{Л1}^2 + X_{K1}^2} = \sqrt{0,03^2 + 0,86^2} = 0,86$$

2) результуючий опір до точки К2

$$R_{K2} = R_{K1} + R_{КЛ1} = 0,00 + 0,03 = 0,03$$

$$X_{K2} = X_{K1} + X_{КЛ1} = 0,86 + 0,15 = 1,0$$

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

3) результуючий опір до точки К3

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

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

$$Z_{K3} = \sqrt{R_{K3}^2 + X_{K3}^2} = \sqrt{2,6^2 + 9,45^2} = 9,8$$

Визначаємо базисні струми в заданих точках КЗ:

В точці К1

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

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

В точці К2

$$I_{62} = S_6 / \sqrt{3} * U_{62} = 100 / (1,73 * 10,50) = 5,5 \text{ кА}$$

В точці К3

$$I_{63} = S_6 / \sqrt{3} * U_{63} = 100 / (1,73 * 0,40) = 144,5 \text{ кА}$$

Визначаємо трифазні струми КЗ. Діюче значення періодичної складової струму в точці К1:

$$I_{K1} = I_{61} / Z_{K1} = 5,5 / 0,86 = 6,4 \text{ кА.}$$

Діюче значення усталеного струму КЗ:

$$I_{\infty 1} = I_{K1} = 6,4 \text{ кА;}$$

Амплітудне значення струму на шинах напругою 10 кВ:

$$i_{y1} = \sqrt{2} * k_y * I_{K1} = 1,44 * 1,2 * 6,4 = 10,9 \text{ кА.}$$

Струм двохфазного КЗ визначаємо за формулою:

$$I_{K1}^2 = 0,87 * I_{K1} = 0,87 * 6,4 = 5,65 \text{ кА.}$$

Розрахунок для інших точок схеми зводимо до таблиці 6.1

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

Таблиця 6.1. Результати розрахунку струмів КЗ

Точка схеми	R_{ki}	X_{ki}	Z_{ki}	$I_{ki}=I_{\phi i}/Z_{ki}$	$i_{yn}=2*k_y*I_{ki}$	$I_{ki}^2=0,87*I_{ki}$
ТП1	0,033	1,008	1,008	5,48	9,18	4,86
ТП1_0,4	2,552	9,448	9,888	14,88	31,01	12,85
ТП6	0,043	1,008	1,008	5,46	9,18	4,85
ТП6_0,4	2,612	9,451	9,898	14,86	31,0	12,84
ТП3	0,033	0,926	0,928	5,94	9,98	5,18
ТП3_0,4	2,552	9,368	9,809	14,88	31,26	12,95
ТП4	0,034	0,936	0,928	5,94	9,98	5,18
ТП4_0,4	2,562	9,38	9,85	14,88	31,25	12,94
ТП7	0,033	0,922	0,922	5,98	10,03	5,19
ТП7_0,4	2,552	9,363	9,805	14,89	31,28	12,95
ТП8	0,033	1,128	1,128	4,88	8,20	4,24
ТП8_0,4	2,552	9,569	9,904	14,59	30,64	12,69

6.2. Вибір кабелів напругою 10 кВ для високовольтної мережі заводу

Виконаємо перевірку кабельної лінії, що живить ТП №1 заводу.

Площа поперечного перерізу кабелю :

$$F_{\epsilon} = I_p / (n J_{\epsilon k}) = 51 / (1 \cdot 1,1) = 46,4 \text{ мм}^2;$$

де

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} U_n} = \frac{883}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 51,2 \text{ А}$$

При $T_{\max} = 5947$ год відповідно $J_{\epsilon k} = 1,1 \text{ А/мм}^2$.

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

Превірка кабеля за допустимим струмовим навантаженням:

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

Мінімальна площа поперечного перерізу кабеля за умовою термічної стійкості:

$$F_{\min} = \sqrt{B_k / K} = \sqrt{42,9 / 94} = 70,1 \text{ мм}^2,$$

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

Тепловий імпульс:

$$B_k = I'^2 (t_b + t_{p3 \max}) = 6,3^2 (0,05 + 1) = 42,9 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$$

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

В таблиці 6.2. зведено вибір та перевірка кабелів заводської мережі

Таблиця 6.2. Вибір кабелів для силової мережі цеху

№КЛ	S_p , кВА	n	I_p	$I_{p.ав}$	$F_{ек}$, мм	Марка кабелю	$I_{доп}$, А	$K_{п}$	$I_{ав}$	B_k	F_{min}
ЦРП- ТП1	1451	1	83,9	159,8	76,3	ААШв(3х 95)	205	1	256,3	42,9	70,1
ТП1- ТП2	962,27	1	55,6	55,6	50,6	ААШв(3х 70)	165	1	189,8	42,9	70,1
ТП2- ТП6	476	1	27,5	27,5	25,0	ААШв(3х 35)	115	1	132,3	42,9	70,1
ЦРП- ТП3	974,84	1	56,3	107,3	51,2	ААШв(3х 70)	165	1	189,8	42,9	70,1
ЦРП- ТП4	974,84	1	56,3	107,3	51,2	ААШв(3х 70)	165	1	189,8	42,9	70,1
ЦРП- ТП5	484	1	28,0	28,0	25,5	ААШв(3х 35)	115	1	132,3	42,9	70,1
ЦРП- ТП7	1116,7	1	64,6	123,0	58,7	ААШв(3х 70)	165	1	189,8	42,9	70,1
ЦРП- ТП8	558,36	1	32,3	32,3	29,34	ААШв(3х 35)	115	1	132,3	42,9	70,1

6.3. Вибір високовольтного обладнання

Обираємо тип та марку вимикачів напругою 10 кВ. На стороні 10 кВ в якості ввідних вимикачів обираємо вакуумні вимикачі марки ВР-1. Вибір параметрів вимикача зведені до таблиці 6.3. На лініях що відходять до цехових ТП встановлюємо вимикачі типу ВР-1. Розрахунок та вибір параметрів вимикача зведені до таблиці 6.4.

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

Таблиця 6.2. Вибір вводних вимикачів 10 кВ

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

Термічний імпульс:

$$B_k = I''^2 (t_{отк} + T_a) = 6,4^2 (1,055 + 0,03) = 49 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

Таблиця 6.3. Вибір вимикачів 10 кВ для відходящих ліній .

Параметри мережі	Розрахункові формули	Параметри вимикача
10 кВ	$U_{уст} \leq U_{ном}$	10 кВ
54 А	$I_{max} \leq I_{ном}$	630 А
5,5 кА	$I_{пт} \leq I_{отк.ном}$	20 кА
$\sqrt{2} \cdot 5,5 e^{-0,06/0,03}=1,05$ кА	$\sqrt{2} I_{пт} + i_{ат} \leq \sqrt{2} I_{отк}$ (1+β _н)	$\sqrt{2} \cdot 20(1+0,4)=23,3$ кА
5,5 кА	$I'' \leq I_{дин}$	20 кА
9,2 кА	$i_{уд} \leq i_{дин}$	52 кА
38,6 кА ² · с	$B_k \leq I_{терм}^2 t_{терм}$	20 ² · 3 = 1200 кА ² · с

Вибір розрядників. Захист обладнання підстанцій від атмосферних і внутрішніх перенапруг досягається встановленням вентильних розрядників. Установка розрядників необхідна на вводах силових трансформаторів, підключеним до повітряних ЛЕП. Вентильні розрядники обирають за таблицею 6.4

Таблиця 6.4. Марка розрядника

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

Вибір вимикачів навантаження. Вимикачі навантаження вибирають по номінальному струму та напрузі і по струму відключення в робочому режимі, перевіряють на стійкість при наскрізному струмі КЗ. Обираємо вимикач навантаження типу ВНВ_П – 10/400. Розрахунок вибору та перевірки зведено в таблиці 6.5.

Таблиця 6.5. Вибір вимикачів навантаження

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

Максимальний струм відключення:

$$I_{max} = 1,4 \cdot S_p / (\sqrt{3} \cdot U) = 1,4 \cdot 630 / (\sqrt{3} \cdot 10) = 51 \text{ А.}$$

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

Вибір трансформаторів власних потреб. Потужність таких трансформаторів обирається за навантаженням власних потреб з урахуванням коефіцієнту попиту, що враховує коефіцієнти одночасності та завантаження ($K_c = 0,8$).

Таблиця 6.6. Навантаження власних потреб.

Вид споживача	Встановлена потужність		$\cos \varphi$	$\tan \varphi$	Навантаження	
	кВт · кількість	Всього, кВт			$P_{вст},$ кВт	$Q_{вст},$ кВт
Підігрів комірок КРП – 10 кВ	1x11	11	1	0	11	-
Освітлення, венти-ляція приміщення КРП	3	3	1	0	3	-
Навантаження, що споживають оперативні ланцюги	2	2	1	0	2	-
Всього:					15	-

Розрахункова потужність споживачів власних потреб:

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

Обираємо 2 трансформатори ТМ – 25/10 з характеристиками: $S_{ном} = 25$ кВА, $U_{вн} = 10$ кВ, $U_{нн} = 0,4$ кВ, $\Delta P_{xx} = 0,16$ кВт, $\Delta P_k = 1,22$ кВт, $U_k = 4,5\%$, $I_{xx} = 1,8\%$.

При роботі одного трансформатора він буде завантажений на 48 %, що вказує його працездатність в аврійному режимі.

7. Дослідження ефективності та надійності впровадження дахових сонячних електростанцій

Сучасний розвиток промислового сектора України, зокрема підприємств харчової та продовольчої галузі, супроводжується стрімким зростанням вартості енергоресурсів і жорсткими вимогами до безперебійності технологічних процесів. У цих умовах класичні підходи до централізованого електропостачання потребують кардинальної модернізації шляхом інтеграції локальних відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) та сучасних енергоощадних технологій. Впровадження дахових сонячних електростанцій (СЕС) безпосередньо на об'єктах споживання є одним із найбільш перспективних інженерних рішень, що дозволяє суттєво знизити фінансове навантаження на підприємство та підвищити його енергетичну незалежність.

Ефективність функціонування дахової СЕС у структурі промислового підприємства залежить від точності координації профілю генерації з графіком електричних навантажень. Особливістю заводів продовольчих товарів є наявність як високоінтенсивних цілодобових виробничих ліній, так і допоміжних цехів із чітко вираженим змінним режимом роботи. Це вимагає детального диференційованого аналізу електроспоживання окремих підрозділів за сезонами року та типами днів (робочі та вихідні). Окрім суто енергетичного заміщення, критично важливим аспектом проєктування є забезпечення надійності електропостачання, оскільки аварійні перерви у живленні призводять до псування сировини та значних фінансових збитків.

Метою цього розділу є комплексне дослідження техніко-економічної доцільності, просторового потенціалу та надійності функціонування дахових СЕС для забезпечення силових та освітлювальних потреб заводу продовольчих товарів в умовах Кіровоградського регіону.

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

7.1. Дослідження можливості впровадження дахових сонячних електростанцій

Дослідження можливості впровадження дахових сонячних електростанцій (СЕС) для живлення системи штучного освітлення при однозмінному графіку роботи (з 8:00 до 17:00). Такий режим роботи підприємства відкриває унікальні можливості для прямого заміщення традиційної електроенергії сонячною без капіталомістких систем акумулювання (BESS).

Для більшості виробничих підрозділів (таких як Круп'яні заводи, ремонтні майстерні, цехи виготовлення комбікормів) потреба в штучному освітленні під час робочої зміни є практично константною. Графік споживання має вигляд чіткого прямокутника: увімкнення о 8:00, стабільна робота на рівні розрахункової потужності (\$P_{р}\$) та вимкнення о 17:00. Це створює ідеальний профіль для суміщення з параболою сонячної генерації, яка досягає свого піку саме в межах цього інтервалу (з 11:00 до 14:00).

Зовнішнє освітлення території комбінату має дзеркальний характер роботи — воно функціонує виключно у темний час доби (вночі та у вечірні/ранкові години). Оскільки однозмінний графік передбачає роботу персоналу вдень, зовнішнє освітлення буде активним поза межами робочої зміни. Пряме живлення таких ліній від дахової СЕС неможливе, оскільки в періоди сонячної генерації ці ліхтарі просто вимкнені. Встановлення сонячних панелей націлене виключно на внутрішні цехові потреби штучного світла.

- **Літній період:** Тривалість світлового дня (генерації) охоплює проміжок з 06:00 до 20:00. Сонячна станція починає активно виробляти енергію ще до початку зміни. Протягом усього робочого часу (8:00–17:00) СЕС здатна повністю покрити або суттєво мінімізувати споживання електроенергії з мережі на потреби освітлення.

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

- **Зимовий період:** Світловий день значно коротший (орієнтовно з 09:00 до 16:00), а щільна хмарність знижує інтенсивність радіації. СЕС зможе частково покривати потреби освітлення лише всередині дня, тоді як на початку зміни (з 8:00 до 10:00) та наприкінці (з 15:30 до 17:00) підприємство буде змушене добирати дефіцит потужності з централізованої мережі.

Для точного техніко-економічного аналізу та визначення оптимальної площі покриття дахів фотоелектричними панелями необхідно порівняти годинні графіки генерації та споживання для кожного підрозділу окремо. Важливо також врахувати, яка саме система освітлення розглядається — стара (на базі закладених у первинному проєкті люмінесцентних ламп) чи модернізована (на базі високоефективних LED-джерел світла), оскільки це кардинально змінює необхідну встановлену потужність СЕС.

В роботі розраховано енергоспоживання для кожного об'єкта. Значення в таблиці відображають добове споживання електроенергії (W, кВт·год) для відповідного режиму. Результати зведені до таблиці 7.1.

Таблиця 7.1. Добове сезонне споживання електроенергії.

№	Найменування підрозділу	Зима, робочий (100%)	Зима, вихідний (35%)	Літо, робочий (85%)	Літо, вихідний (29,75%)
1	Круп'яний завод №1	336,15	117,65	285,73	100,00
2	Круп'яний завод №2	313,83	109,84	266,76	93,36
3	Склади	19,08	6,68	16,22	5,68
4	Їдальня	97,20	34,02	82,62	28,92
5	Автогараж	58,41	20,44	49,65	17,38
6	Склад готової продукції	49,41	17,29	42,00	14,70
7	Котельня	19,98	6,99	16,98	5,94
8	Заводоуправління	206,46	72,26	175,49	61,42
9	Цех виготовлення комбікормів	306,18	107,16	260,25	91,09
10	Ремонтна майстерня	136,08	47,63	115,67	40,48
11	Склад готової продукції 2	68,04	23,81	57,83	20,24
12	Склад сировини	50,40	17,64	42,84	14,99
13	Територія комбінату*	107,19	37,52	91,11	31,89
Всього по заводу		1768,41	618,93	1503,15	526,09

7.2 Оцінка просторового потенціалу та обмежень розміщення фотоелектричних масивів

Корисна площа даху ($S_{\text{кор}}$): Відповідно до вашої умови, від загальної площі будівлі віднімаємо 10% на технологічні потреби (вентиляційні шахти, зенітні ліхтарі, проходи для обслуговування, пожежні розриви). Отже, коефіцієнт використання даху становить 0,6. Сучасні сонячні панелі (наприклад, потужністю 540–580 Вт) самі по собі генерують близько 210–220 Вт з одного квадратного метра своєї поверхні.

Географічна широта м. Кропивницький — близько 48,5°. У день зимового сонцестояння сонце стоїть низько над горизонтом (близько 18° в полудень). Щоб сусідні ряди панелей не затінювали один одного взимку, відстань між рядами має бути щонайменше дорівнювати ширині самої панелі (проекції на площину). Це означає, що коефіцієнт заповнення площі (Ground Coverage Ratio, GCR) становитиме приблизно 50%. Сучасна сонячна панель генерує близько 0,22 кВт з 1 м² власної площі. Оскільки через міжрядні інтервали панелі займатимуть лише половину доступної корисної площі, ефективна питома потужність на 1 м² корисної площі даху становитиме: $0,22 \text{ кВт/м}^2 \cdot 0,5 = 0,11 \text{ кВт/м}^2$.

Виконаємо розрахунок для об'єкта «Круп'яний завод №1» загальна площа покрівлі, $F = 12555 \text{ м}^2$, коефіцієнт використання даху, $K_{\text{п}} = 0,65$, ефективна питома потужність (з урахуванням інтервалів), $P_{\text{пит}} = 0,11 \text{ кВт/м}^2$

Визначення корисної площі даху (вільної від обладнання та проходів):

$$S_{\text{кор}} = S_{\text{заг}} \cdot K_{\text{п}} = 12555 \cdot 0,65 = 8160,75 \text{ м}^2$$

Розрахунок максимальної встановленої потужності СЕС:

$$P_{\text{СЕС}} = S_{\text{кор}} \cdot P_{\text{пит}} = 8160,75 \cdot 0,11 = 897,68 \text{ кВт}$$

Зведена таблиця потенціалу дахових СЕС (оновлена)

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

За наведеним алгоритмом виконано перерахунок для всіх будівель підприємства наведених в таблиці 7.2.

Таблиця 7.2. Потенціал дахових СЕС

№	Найменування будівлі / підрозділу	Загальна площа Sзаг, м²	Корисна площа Sкор (65%), м²	Максимальна потужність СЕС, кВт
1	Круп'яний завод №1	12555	8160,75	897,68
2	Круп'яний завод №2	12150	7897,50	868,73
3	Склади	1683	1093,95	120,33
4	Їдальня	2448	1591,20	175,03
5	Автогараж	2574	1673,10	184,04
6	Склад готової продукції	4356	2831,40	311,45
7	Котельня	1764	1146,60	126,13
8	Заводоуправління	5202	3381,30	371,94
9	Цех виготовлення комбікормів	10800	7020,00	772,20
10	Ремонтна майстерня	4500	2925,00	321,75
11	Склад готової продукції 2	4500	2925,00	321,75
12	Склад сировини	4446	2889,90	317,89
Всього по будівлях		66978	43535,70	4788,92

7.3 Балансове моделювання та визначення рівня покриття сумарних навантажень

Оскільки встановлена потужність СЕС на дахах у десятки разів перевищує потужність модернізованого LED-освітлення, основним обмежувальним фактором є не потужність панелей, а тривалість світлового дня відносно графіка роботи (з 08:00 до 17:00).

Влітку сонце генерує енергію протягом усієї зміни, тому покриття освітлення є 100%-вим. Взимку ж світловий день коротший (сонце встає пізніше 8:00 і сідає раніше 17:00), тому в ранкові та вечірні години частину

енергії на освітлення доведеться брати з мережі. Середній розрахунковий рівень покриття взимку для однозмінного режиму становить близько 80-85%.

Таблиця 7.3. Відсоток покриття потреб LED-освітлення сонячною енергією за сезонами

№	Найменування підрозділу	Зима, робочий день	Зима, вихідний день	Літо, робочий день	Літо, вихідний день
1	Круп'яний завод №1	~85%	100%*	~85%	100%
2	Круп'яний завод №2	~85%	100%*	~85%	100%
3-13	Всі інші цехи, склади та майстерні	~85%	100%*	~85%	100%

Тепер проаналізуємо, чи зможе дахова СЕС покрити всі потреби цехів у електроенергії згідно з даними колонки P_p , кВт. Для проєктування застосовуємо коефіцієнт запасу експлуатаційних втрат $K_{\text{зап}} = 0,8$. Він враховує втрати в інверторах, нагрівання панелей влітку, запилення та втрати в кабельних лініях.

Розрахункова (ефективна) потужність СЕС = Максимальна потужність (з попереднього розрахунку) $\times 0,8$. Для Круп'яних заводів №1 та №2 беремо сумарне навантаження їхніх внутрішніх відділень (а, б, в, г). Для об'єкта №9 (Елеватор) СЕС для нього не враховується.

Таблиця 7.4. Порівняння загального навантаження P_p та ефективної генерації СЕС

№	Найменування	Загальна розрахункова потужність P_p , кВт	Ефективна потужність СЕС ($P_{\text{СЕС}} \cdot 0,8$), кВт	Рівень покриття P_p в пікові години	Можливість повного покриття від СЕС
1	Круп'яний завод №1 (сума а, б, в, г)	845,95	718,14	84,9%	Ні (частково)
2	Круп'яний завод №2 (сума а, б, в)	1533,75	694,98	45,3%	Ні (частково)

продовження таблиці 7.4

№	Найменування	Загальна розрахункова потужність P _p , кВт	Ефективна потужність СЕС (P _{СЕС} ·0,8), кВт	Рівень покриття P _p в пікові години	Можливість повного покриття від СЕС
3	Склади	57,54	96,26	>100%	Так
4	Їдальня	117,30	140,02	>100%	Так
5	Автогараж	60,58	147,23	>100%	Так
6	Склад готової продукції (1)	26,90	249,16	>100%	Так
7	Котельня	194,98	100,90	51,7%	Ні (частково)
8	Заводоуправління	370,86	297,55	80,2%	Ні (частково)
9	Елеватор	250,51	Немає даних	-	-
10	Цех виготовлення комбікормів	1134,40	617,76	54,4%	Ні (частково)
11	Ремонтна майстерня	103,93	257,40	>100%	Так
12	Склад готової продукції (2)	28,97	257,40	>100%	Так
13	Склад сировини	28,90	254,31	>100%	Так

З розрахунку чітко видно, що всі допоміжні об'єкти (склади, гараж, ремонтна майстерня, їдальня) мають великі площі дахів і дуже низьке силове споживання. Для них дахові СЕС можуть повністю і з надлишком покрити всі потреби під час генерації.

Натомість основні виробничі цехи (Круп'яні заводи, Цех комбікормів, Котельня) є енергоємними. Їхніх дахів фізично не вистачає для встановлення такої кількості панелей, яка б повністю перекрила їхнє споживання (покриття становить від 45% до 85%).

Оскільки підприємство має єдину внутрішню мережу 0,4 кВт / 10 кВт, надлишкову енергію, згенеровану на дахах складів (де покриття понад 100%), доцільно не обмежувати, а перенаправляти через загальнозаводську розподільчу мережу для живлення дефіцитних потужностей Круп'яних заводів. Це дозволить

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

оптимізувати загальний графік навантаження та уникнути перетікання енергії у зовнішню мережу обленерго.

В таблиці 7.5 зведені результати розрахунку виключно для тих підрозділів підприємства, де генерація дахових сонячних електростанцій (СЕС) повністю перекриває їхнє сумарне розрахункове навантаження (силове обладнання + освітлення).

Для розуміння енергетичного балансу заводу, у таблицю додано точний відсоток покриття та розрахунковий надлишок потужності — це та енергія, яку ці цехи не зможуть спожити самостійно і яку необхідно перенаправити у внутрішньозаводську мережу для живлення енергоємних виробництв.

Таблиця 7.5. Енергетичний баланс заводу з генерацією від СЕС

№ на плані	Найменування підрозділу	Р _р , кВт	Ефективна потужність СЕС, кВт	Рівень покриття, %	Надлишок генерації, кВт
3	Склади	57,54	96,26	167%	+ 38,72
4	Їдальня	117,30	140,02	119%	+ 22,72
5	Автогараж	60,58	147,23	243%	+ 86,65
6	Склад готової продукції	26,90	249,16	926%	+ 222,26
11	Ремонтна майстерня	103,93	257,40	247%	+ 153,47
12	Склад готової продукції	28,97	257,40	888%	+ 228,43
13	Склад сировини	28,90	254,31	880%	+ 225,41
	Всього по допоміжних об'єктах	424,12	1401,78		+ 977,66

Завдяки великим площам дахів та відносно низькому енергоспоживанню, сім об'єктів заводу здатні згенерувати сумарний надлишок ефективної потужності у майже 1 МВт під час пікової сонячної активності.

7.4. Обґрунтування конфігурації обладнання та систем накопичення енергії

Для формування специфікації обладнання ми проведемо розрахунок для 7 допоміжних об'єктів, які здатні на 100% покрити власні потреби за рахунок дахових СЕС.

Приймемо для розрахунку сучасні монокристалічні панелі потужністю 540 Вт (0,54 кВт) кожна. Кількість панелей визначається з доступної корисної площі даху.

Оскільки системи повинні заряджати батареї та віддавати значні надлишки енергії у внутрішньозаводську мережу, потужність гібридних інверторів підбирається відповідно до максимальної генерації сонячних панелей (співвідношення DC/AC ≈ 1).

Накопичувальні батареї (BESS): Розраховуються на 4 години автономної роботи при повному розрахунковому навантаженні (P_p) підрозділу. Використовуються літій-залізо-фосфатні акумулятори (LiFePO_4) з глибиною розряду (DOD) 90% та ККД інвертора 95% ($0,9 \cdot 0,95 = 0,855$).

Проведемо розрахунок на складів. За умовами технологічного процесу складування, відключення електроенергії зупиняє роботу вантажних механізмів, вентиляції та освітлення. Приймаємо, що для усунення аварії на лінії або безпечного завершення зміни необхідний час автономної роботи $T_{\text{авт}} = 4$ години.

Загальна розрахункова потужність складу (силова + освітлення): $P_p = 57,54$ кВт.

Тип батарей: Літій-залізо-фосфатні (LiFePO_4) з DOD = 0,9.

ККД інверторної системи: $\eta_{\text{інв}} = 0,95$.

Розрахунок мінімально необхідної корисної енергії для резервування:

$$E_{\text{кор}} = P_p \cdot T_{\text{авт}} = 57,54 \cdot 4 = 230,16 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

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

2. Визначення загальної номінальної ємності масиву батарей (з урахуванням втрат та буфера деградації):

$$C_{\text{ном}} = \frac{230,16}{0,9 \cdot 0,95} = \frac{230,16}{0,855} = 269,19 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Отже, для забезпечення 4 годин абсолютно надійної та автономної роботи складського комплексу при аварії в мережі, необхідно встановити систему накопичення енергії (BESS) номінальною ємністю не менше 270 кВт·год.

Специфікації обладнання для автономних об'єктів зведено до таблиці 7.6

Таблиця 7.6. Специфікації обладнання для автономних об'єктів

№	Найменування підрозділу	P _p , кВт	Кількість панелей (540 Вт), шт	Встановлена потужність СЕС (DC), кВт	Потужність гібридних інверторів (AC), кВт	Необхідна ємність BESS, кВт·год
3	Склади	57,54	223	120,42	120,0	269,19
4	Їдальня	117,30	324	174,96	175,0	548,77
5	Автогараж	60,58	341	184,14	185,0	283,42
6	Склад готової продукції	26,90	577	311,58	310,0	125,85
11	Ремонтна майстерня	103,93	596	321,84	320,0	486,22
12	Склад готової продукції 2	28,97	596	321,84	320,0	135,53
13	Склад сировини	28,90	589	318,06	320,0	135,20
	Сумарні показники	424,12	3 246 шт.	1 752,84 кВт	~1 750 кВт	1 984,18 кВт·год

Загальна ємність батарей у 1984 кВт·год є достатньою, щоб утримувати всі ці об'єкти в повністю робочому стані протягом 4 годин без жодного променя сонця та без зовнішньої мережі.

Потужність інверторів 1,75 МВт: Інверторна група має свідомо завищену потужність відносно власного споживання цехів (1750 кВт проти 424 кВт). Це зроблено для того, щоб у пікові сонячні години інвертори могли «прокачувати»

весь згенерований надлишок енергії (понад 1 МВт) у загальну мережу заводу для підтримки Круп'яних заводів.

7.5 Техніко-економічне обґрунтування та розрахунок термінів окупності проєкту

Для розрахунку терміну окупності ми використаємо дані з нашого попереднього етапу для 7 допоміжних об'єктів, які повністю забезпечуються сонячною енергією. Це дозволить наочно порівняти два варіанти: класичну мережеву СЕС та гібридну СЕС із системою накопичення енергії (BESS).

Для побудови фінансової моделі в умовах м. Кропивницький приймаємо такі базові параметри:

Потужність СЕС (DC): 1 750 кВт.

Ємність накопичувачів (BESS): 1 984 кВт·год.

Середньорічна генерація: 1 150 кВт·год на 1 кВт встановленої потужності (типовий показник для Кіровоградської області).

Загальна річна генерація: $1750 \cdot 1150 = 2012500$ кВт·год.

Баланс споживання: Орієнтовне власне споживання цих 7 цехів у денний час за рік становить близько 800 000 кВт·год. Решта згенерованої енергії (1 212 500 кВт·год) іде як надлишок.

Заміщення власного споживання: 15,00 грн / кВт·год (економія).

Продаж надлишків у мережу: 5,02 грн / кВт·год (Зелений тариф від KS Solar).

Капітальні витрати: Мережева СЕС під ключ: орієнтовно 600 за 1 кВт (еквівалент ~24 000 грн за курсом 40).

Промислові батареї (LiFePO₄): орієнтовно 350 за 1 кВт·год (еквівалент ~14 000 грн).

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

Розрахунок річного економічного ефекту. Незалежно від наявності батарей (які слугують резервом, а не генератором), станція приносить фінансову вигоду за двома статтями:

Економія на купівлі електроенергії:

$$800000 \text{ кВт} \cdot \text{год} \cdot 15,00 \text{ грн} = 12000000 \text{ грн/рік}$$

Дохід від продажу надлишків (Зелений тариф):

$$1212500 \text{ кВт} \cdot \text{год} \cdot 5,02 \text{ грн} = 6086750 \text{ грн/рік}$$

Загальний річний грошовий потік:

$$12\,000\,000 + 6\,086\,750 = 18\,086\,750 \text{ грн/рік}$$

Таблиця 7.7. Розрахунок терміну окупності

Показник	Варіант 1: СЕС (без батарей)	Варіант 2: СЕС + BESS (на 4 години)
Вартість СЕС (1750 кВт)	42 000 000 грн	42 000 000 грн
Вартість BESS (1984 кВт·год)	0 грн	27 776 000 грн
Загальні капітальні витрати	42 000 000 грн	69 776 000 грн
Річний економічний ефект	18 086 750 грн	18 086 750 грн
Простий термін окупності	~2,3 роки	~3,8 років

Класична мережева станція окупається дуже швидко — трохи більше ніж за 2 роки. Це зумовлено надзвичайно високою вартістю мережевої електроенергії (15 грн/кВт·год) для підприємств.

Встановлення акумуляторів збільшує загальний кошторис проєкту на 66%, розтягуючи окупність майже до 4 років.

7.6 Розрахунок надійності електропостачання та оцінка збитків від перерв у живленні

Оскільки впровадження сонячної електростанції для живлення внутрішнього обладнання не змінює фізичних характеристик та топології зовнішньої лінії 10 кВ (довжина кабелю, статистика відмов залишаються незмінними), усі показники надійності самої мережі залишаються незмінними.

Змінюється лише обсяг потужності, який підприємство втрачає під час аварії, оскільки 50% обладнання продовжує безперебійно працювати від СЕС.

Вихідні дані для розрахунку

Середньорічне навантаження підприємства $P_{\text{ср}} = 3360$ кВт.

Тривалість аварії ($t_{\text{ав}}$): 4 години.

Питомий збиток (Y_0): 100,35 грн/кВт·год.

Частка зарезервованого навантаження (СЕС): 60 %.

Частка вразливого навантаження (знеструмленого): 40 %.

Визначення потужності вразливого навантаження. Оскільки 60% обладнання отримує безперебійне живлення від автономної СЕС, знеструмленою залишається лише 40% підприємства:

$$P_{\text{вразл}} = P_{\text{заг}} \cdot 0,40 = 3360 \cdot 0,40 = 1344 \text{ кВт}$$

Обсяг аварійного недовідпуску електроенергії за 4 години:

$$W_{\text{нед}} = P_{\text{вразл}} \cdot t_{\text{ав}} = 1344 \cdot 4 = 5376 \text{ кВт·год}$$

Розрахунок фактичного фінансового збитку:

$$Y_{\text{ав}} = W_{\text{нед}} \cdot Y_0 = 5376 \cdot 100,35 = 556416 \text{ грн}$$

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

Для техніко-економічного обґрунтування варто показати, скільки підприємство заощадило завдяки тому, що 60% обладнання працювало від СЕС. Якби СЕС не було, збиток за ці ж 4 години склав би:

$$Y_{\text{без_СЕС}} = 3360 \cdot 4 \cdot 100,35 = 1391040 \text{ грн}$$

Економічний ефект від роботи СЕС лише за одну 4-годинну аварію становить:

$$EE_{\text{СЕС}} = 1391040 - 556416 = 834624 \text{ грн}$$

Очікуваний середньорічний збиток підприємства від аварійних перерв в електропостачанні становить 834 тис. грн.

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

Висновки

У кваліфікаційній роботі виконано комплексне проєктування надійної та енергоефективної системи електропостачання заводу продовольчих товарів із залученням сучасних технологій.

Визначено розрахункові навантаження підприємства, де загальна повна потужність склала 6205 кВА. Впровадження сучасних LED-світильників дозволило знизити питому потужність освітлювальних установок у 2,5–3 рази (до 2,1–4,9 Вт/м²) та суттєво скоротити споживання реактивної енергії у мережі підприємства.

Техніко-економічне порівняння засвідчило перевагу варіанту живлення кабельними лініями 10 кВ від шин підстанції енергосистеми над будівництвом дволанцюгової ПЛ 35 кВ із власною знижувальною підстанцією. Обраний варіант забезпечує мінімальні зведені витрати на рівні 1695 тис. грн.

Для забезпечення нормативних показників якості електроенергії розраховано баланс реактивної потужності та підібрано конденсаторні установки (типу КРМ-0,38). На основі розрахунків струмів короткого замикання (зокрема, струму 6,4 кА на головних шинах 10 кВ) здійснено вибір надійного високовольтного обладнання: вакуумних вимикачів ВР-1, вимикачів навантаження та кабельних ліній, перевірених на термічну стійкість.

Встановлено, що сім допоміжних підрозділів у пікові години здатні передавати у загальнозаводську мережу майже 1 МВт потужності для часткового перекриття дефіциту в основних енергоємних цехах.

Мережева конфігурація дахових СЕС без акумуляторів має надшвидкий термін окупності — близько 2,3 року. Встановлення гібридної системи накопичення енергії (BESS) для забезпечення 4 годин автономної роботи подовжує термін окупності до 3,8 року, проте кардинально підвищує надійність. Резервування 60% критичного навантаження за допомогою акумуляторів дозволяє запобігти фінансовим збиткам від зупинки виробництва на суму понад 834 тис. грн лише за одну 4-годинну аварію в зовнішній мережі.

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

Перелік використаної літератури

1. Електротехнічні системи електроспоживання / Плешков П. Г. та ін... – М-во освіти і науки України, Центральноукр. нац. техн. ун-т. – Кропивницький : ЦНТУ, 2021.– 209 с.
2. Плешков П.Г., Гарасьова Н.Ю., Коновалов І.В., Мануйлов В.Ф. Проектування електричного освітлення промислових підприємств: Навчальний посібник.- Кіровоград:РВЛ КНТУ, 2007.-231с., 42 іл., 46 табл.
3. Мілих В. І., Павленко Т. П. Електропостачання промислових підприємств : підручник. Харків : ФОП Панов А. М., 2016. 272 с. ISBN 978-617-7474-17-2.
4. Сегеда М. С., Олійник М. Й., Дудурич О. Б. Нетрадиційні та відновлювальні джерела електроенергії : навч. посібник. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2019. 204 с. ISBN 978-966-941-404-5.
5. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ). Чинне видання / Міністерство енергетики та вугільної промисловості України. Київ : [Офіційне
6. Відновлювані джерела енергії : монографія / За заг. ред. С. О. Кудрі. Київ : Інститут відновлюваної енергетики НАНУ, 2020. 392 с. ISBN 978-966-999-077-8.
7. Проектування систем електропостачання промислових підприємств : навч.-метод. посібник / уклад. Р. Н. Ахмадов, В. С. Марков. Харків : НТУ «ХПІ», 2021. 77 с.
8. Маліновський А. А., Хохулін Б. К. Електропостачання промислових підприємств : підручник. 2-ге вид., перероб. та доп. Львів : Вид-во Нац. ун-ту «Львівська політехніка», 2009. 436 с.

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