

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет будівництва, транспорту та енергетики

Кафедра «Електротехнічні системи та енергетичний менеджмент»

“Допущено до захисту”

Зав. кафедри ЕТС та ЕМ

канд. техн. наук, професор

Петро ПЛІШКОВ

“___” _____ 2023 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ

ВИЩОЇ ОСВІТИ

на тему:

«Проектування електротехнічної системи електроспоживання комбінату хлібопродуктів»

Виконав здобувач вищої освіти

IV курсу, групи ЕЕ–19,

ОПП «Електроенергетика,

електротехніка та електромеханіка»

спеціальності 141 «Електроенергетика,

електротехніка та електромеханіка»

Віталій ЗДОБНОВ

«___» _____ 2023 р.

Керівник роботи

доцент, канд. техн. наук

Лариса ВІХРОВА

«___» _____ 2023 р.

Рецензент _____

м. Кропивницький

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет будівництва, транспорту та енергетики

Кафедра електротехнічних систем та енергетичного менеджменту

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Галузь знань 14 «Електрична інженерія»

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітньо-професійна програма «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри ЕТС та ЕМ

_____ Петро ПЛІШКОВ

«_____» _____ 2023 р.

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

Здобнова Віталія Костянтиновича

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи Проектування електротехнічної системи електроспоживання комбінату хлібопродуктів

Design of the electrical system of power consumption of bakery plant

2. Керівник роботи Віхрова Лариса Григорівна, канд. техн. наук, професор
(прізвище, ім'я, по-батькові, науковий ступінь, вчене звання)

3. Строк подання роботи до захисту 01.06.2023 р.

4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи. Метою роботи є проектування електротехнічної системи електроспоживання комбінату хлібопродуктів. Для досягнення поставленої мети роботи необхідно вирішити наступні завдання:
1. Провести розрахунок електричних навантажень. 2. Провести розрахунок картограми електричних навантажень. 3. Здійснити техніко-економічне обґрунтування вибору схем електропостачання. 4. Провести розрахунок режимів реактивної потужності системи електропостачання. 5. Здійснити вибір кількості та потужності трансформаторів підприємства. 6. Провести розрахунок струмів коротких замкнень та здійснити вибір високовольтного обладнання. 7. Провести розрахунок спеціального розділу роботи.

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Розрахунок електричних навантажень</i>	<i>10.04-12.04</i>	
2	<i>Картограма електричних навантажень</i>	<i>13.04-23.04</i>	
3	<i>Техніко-економічне обґрунтування вибору схем електропостачання</i>	<i>24.04-26.04</i>	
4	<i>Режими реактивної потужності системи електропостачання</i>	<i>27.04-1.05</i>	
5	<i>Вибір кількості та потужності трансформаторів підприємства</i>	<i>2.05-5.05</i>	
6	<i>Розрахунок струмів коротких замкнень та вибір високовольтного обладнання</i>	<i>6.05-9.05</i>	
7	<i>Спеціальний розділ</i>	<i>10.05-28.05</i>	
8	<i>Оформлення презентаційної частини БКР</i>	<i>29.05-30.05</i>	
9	<i>Оформлення пояснювальної записки БКР</i>	<i>31.05-1.06</i>	

Дата видачі завдання
«_____» _____ 2023 р.

Підпис керівника _____

Лариса ВІХРОВА

Завдання прийнято до виконання
«_____» _____ 2023 р.

Підпис здобувача _____

Віталій ЗДОБНОВ

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: 70 с.; 23 рис.; 21 табл.; 8 джерел

Здобнов В. К. Проектування електротехнічної системи електроспоживання комбінату хлібопродуктів. – Рукопис.

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

Бакалаврська робота присвячена розробці системи електропостачання механоремонтного підприємства. В роботі вирішувались питання розрахунку: електричних навантажень, визначення режимів реактивної потужності, розрахунку струмів коротких замикань, вибір схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання та вибір високовольного обладнання системи електропостачання.

Спеціальний розділ роботи присвячено вирішенню задачі підвищення рівня енергоефективності підприємства. Особливу увагу було приділено запровадженню сонячної електростанції на підприємстві. Проведені розрахунки засвідчили, що використання сонячної електростанції є досить дієвим заходом підвищення рівня енергоефективності підприємства.

Ключові слова: електричні навантаження, трансформаторна підстанція, реактивна потужність, струми короткого замикання, енергетична ефективність.

ABSTRACT

Qualification work: 70 p.; 23 Fig.; 21 tables; 8 sources

Zdobnov V. K. Design of the electrical system of power consumption of bakery plant. – Manuscript.

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

The bachelor thesis is devoted to the development of the power supply system of a mechanical repair enterprise. The work dealt with the calculation of electrical loads, determination of reactive power modes, calculation of short-circuit currents, selection of external and internal power supply schemes, and selection of high-voltage equipment of the power supply system.

A special section of the work is devoted to solving the problem of increasing the level of energy efficiency of the enterprise. Special attention was paid to the introduction of a solar power plant at the enterprise. The conducted calculations proved that the use of a solar power plant is quite an effective measure to increase the level of energy efficiency of the enterprise.

Keywords: electric loads, transformer substation, reactive power, short-circuit currents, energy efficiency

ЗМІСТ

ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ	9
1.1 Розрахунок силових електричних навантажень в мережі напругою до 1 кВ.....	9
1.2 Розрахунок освітлювальних навантажень.....	10
1.3 Розрахунок електричних навантажень в силових мережах вище 1000 В.....	12
1.4 Графіки електричних навантажень підприємства	17
РОЗДІЛ 2. КАРТОГРАМА ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ.....	21
РОЗДІЛ 3. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ СХЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ	23
3.1 Вибір схеми зовнішнього електропостачання підприємства	23
3.2 Вибір схеми внутрішнього електропостачання підприємства.....	28
РОЗДІЛ 4. РЕЖИМИ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ	29
4.1 Розрахунок балансу реактивної потужності	29
4.2 Вибір кількості, потужності та місця розташування компенсуючих пристроїв	31
РОЗДІЛ 5. ВИБІР КІЛЬКОСТІ ТА ПОТУЖНОСТІ ТРАНСФОРМАТОРІВ ПІДПРИЄМСТВА.....	34
РОЗДІЛ 6. РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКИХ ЗАМКНЕНЬ ТА ВИБІР ВИСОКОВОЛЬТНОГО ОБЛАДНАННЯ	35
6.1 Розрахунок струмів коротких замкнень	35
6.2 Вибір кабельних ліній напругою 10 кВ.....	42
6.3 Вибір електричних апаратів високої напруги.....	45
6.4 Вибір потужності та схем живлення трансформаторів власних потреб	46
РОЗДІЛ 7. ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ПІДПРИЄМСТВА	47
7.1 Запровадження інтегрованої системи моніторингу енергоспоживання та технологічних параметрів	47
7.2 Запровадження сонячної електростанції на підприємстві.....	49
7.2.1. Вихідні дані для проектування СЕС	50
7.2.2. Сонячна активність	55
7.2.3. Підключення сонячної електростанції до системи енергозабезпечення підприємства	56

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Здобнов В.К.			Проектування електротехнічної системи електроспоживання комбінату хлібопродуктів Design of the electrical system of power consumption of bakery plant	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перев.		Віхрова Л.Г.					6	70
						ЦНТУ зр. ЕЕ-19		
Н. контр.		Віхрова Л.Г.						
Затвер.		Плешков П.Г.						

7.2.4. Розрахунок значення робочого струму при проєктних ЛЕП-0,4 кВ	60
7.2.5. Вибір установок автоматичних вимикачів	63
7.2.6. Рішення по обліку електроенергії	63
7.2.7. Рішення щодо пристроїв компенсації реактивної потужності.....	66
7.2.8. Техніко-економічне обґрунтування впровадження СЕС	67
ВИСНОВКИ	69
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	70

						Арк.
Вим	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

ВСТУП

Випускна кваліфікаційна робота присвячена актуальному питанню проектування електротехнічної системи електроспоживання комбінату хлібопродуктів.

Метою роботи є розроблення системи електроспоживання комбінату хлібопродуктів.

Для досягнення поставленої мети роботи необхідно виконати наступні завдання:

1. Здійснити визнач. електричних навантажень.
2. Розрахувати картограму електричних навантажень.
3. Обґрунтувати техніко-економічно вибір схем електропостачання.
4. Розрахувати режими реактивної потужності системи електропостачання.
5. Вибрати кількість та потужність трансформаторів підприємства.
6. Розрахувати струми коротких замикань та вибрати високовольтне обладнання.
7. Виконати розрахунок спеціального розділу роботи.

При виконанні проектування системи електропостачання, потрібно враховувати потужності електроприймачів, а також їх розміщення та варіанти зовнішнього живлення підприємства. Ці параметри слугуватимуть основою для подальших розрахунків та визначення оптимального напрямку проектування.

						Арк.
						8
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1

РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

В даному розділі випускної кваліфікаційної роботи розглядається питання розрахунку електричних навантажень на промисловому підприємстві. Розрахунок включає такі елементи: Розрахунок силових електричних навантажень в мережі напругою до 1 кВ; Розрахунок силових та освітлювальних навантажень в мережі вище 1 кВ

1.1 Розрахунок силових електричних навантажень в мережі напругою до 1 кВ

Для розрахунку електричних навантажень в мережі з напругою до 1 кВ використовується метод коефіцієнта розрахункової потужності (модифікований метод упорядкованих діаграм) [1].

Нижче наведено приклад розрахунку електричних навантажень цеха №1.

Використовуючи початкові дані знаходимо коефіцієнт m :

$$m = \frac{P_{н.маx}}{P_{н.мін}} = \frac{45}{1,1} = 41$$

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

$$P_{см} = P_{сум} K_u = 369,1 \cdot 0,4 = 148 \text{ кВт};$$

$$Q_{см} = P_{см} \operatorname{tg} \phi = 148 \cdot 0,736 = 109 \text{ квар}$$

Ефективне число ЕП у групі:

$$n_e = \frac{2 \cdot \sum P_n}{P_{н.маx}} = \frac{2 \cdot 369,1}{45} = 16$$

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		9

Коефіцієнт K_p знаходимо за таблицями [1]: $K_p = 1,4$.

Розрахункове активне та реактивне навантаження групи електроприймачів:

$$P_p = P_{cm} K_p = 148 \cdot 1,4 = 207 \text{ кВт},$$

$$Q_p = Q_{cm} = 109 \text{ квар},$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{207^2 + 109^2} = 234 \text{ кВА}$$

Результати розрахунку для інших цехів наведено в табл. 1.1.

1.2 Розрахунок освітлювальних навантажень

Для розрахунку освітлювальних навантажень використовується метод питомої потужності, який описано в джерелі [1].

Нижче наведено розрахунок освітлювальних навантажень для цеху №1 ($F = 1040 \text{ м}^2$, $p_0 = 12 \text{ Вт / м}^2$, $K_n = 0,9$; $\cos \varphi = 0,9$, $\tan \varphi = 1,73$).

Встановлена потужність:

$$P_y = F \cdot p_0 \cdot 10^{-3} = 1040 \cdot 12 \cdot 10^{-3} = 12,48 \text{ кВт}$$

$$P_p = K_n K_1 P_y = 0,9 \cdot 1,2 \cdot 12,48 = 13,48 \text{ кВт}$$

$$Q_p = P_p \tan \varphi = 13,48 \cdot 1,73 = 23,32 \text{ квар}$$

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		10

Таблиця 1.1. Розрахунок силових навантажень до 1 кВ підприємства

№	Назва групи споживачів	К-сть ЕС	Р одн., кВт		Р сум, кВт	m	K _в	cosφ	tgφ	Середньозм. навантаження		n _{еф}	K _м	Розрах. навантаження		
			min	max						Р _{зм} , кВт	Q _{зм} , квар			Р _р , кВт	Q _р , квар	S _р , кВА
1.	Цех № 1	88	1,1	45	369,1	41	0,4	0,8	0,736	153,99	113,4	16	1,3	207	113,4	235,9
2.	Цех № 2	91	0,9	75	410,2	83	0,4	0,8	0,741	177,2	131,3	11	1,4	250,7	131,3	283
3.	Столярня	11	1,2	6	35,45	5	0,4	0,6	1,257	15	18,86	11	1,4	21,4	18,86	28,5
4.	Механічна майстерня	18	0,5	14	83	28	0,2	0,5	1,626	14,91	24,24	12	1,8	26,6	24,24	36
5.	Адмінкорпус	21	0,1	2	39,9	20	0,7	0,8	0,75	27,93	20,95	21	1,1	31,4	20,95	37,8
6.	Кондитерська ділянка	17	0,5	40	136,65	80	0,6	0,9	0,506	79,59	40,30	7	1,4	109,2	44,33	117,86
7.	Компресорна	20	0,8	37	220,4	46	0,6	0,8	0,866	143,04	123,86	12	1,2	173,8	123,86	213,45
8.	Склад готової продукції	9	1	3	18	3	0,7	0,8	0,724	11,2	8,4	9	1,2	14	9,2	16,7
9.	БХМ	32	1,1	9	98,8	8	0,4	0,6	1,234	40,87	50,45	22	1,3	52,7	50,45	72,92
10.	Макаронне відділення	14	2	6	47,1	3	0,5	0,9	0,566	23,01	13,02	14	1,3	30,2	13,02	32,89
11.	Дріжджове відділення	34	0,5	6	84	12	0,5	0,8	0,881	45,86	40,42	31	1,2	53,7	40,42	67,18
12.	Сахарне відділення	29	0,5	54	142,7	108	0,4	0,8	0,679	63,35	43,01	5	1,7	105,6	47,3	115,7
13.	Котельня	31	0,5	10	137	20	0,6	0,8	0,75	88,18	66,13	27	1,1	100,2	66,13	120,08
14.	Склад	8	2	10	63,75	5	0,4	0,7	1,086	25,05	27,19	8	1,6	38,9	29,91	49,11
	Всього по заводу	423	0,1	75	1886	750	0,5	0,8	0,794	909	722	50	1,2	1048,3	721,5	1272,7

Розрахунок інших цехів підприємства виконується аналогічно. Результати розрахунків наведено в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2. Розрахунок освітлювальних навантажень

№ з/п	Назва об'єкту	$F, \text{ м}^2$	$P_0, \text{ Вт/м}$	$P_{\text{вст}}, \text{ кВт}$	$K_{\text{п}}$	K_1	$\cos\varphi$	$\text{tg}\varphi$	$P_p, \text{ кВт}$	$Q_p, \text{ квар}$	$S_p, \text{ кВА}$
1.	Цех №1	1040	12	12,48	0,9	1,2	0,9	1,73	11,23	19,43	22,44
2.	Цех № 2	84	14	1,18	0,9	1,2	0,9	1,73	13,10	22,67	26,18
3.	Столярня	237	12	2,84	0,85	1,1	0,9	1,73	1,06	1,83	2,11
4.	Механічна майстерня	1040	14	14,56	0,9	1,2	0,9	1,73	2,42	4,18	4,83
5.	Адмінкорпус	1080	18	19,44	0,95	1,1	0,9	1,73	18,47	31,95	36,90
6.	Кондитерська ділянка	390	16	6,24	0,95	1,2	0,9	1,73	5,93	10,26	11,85
7.	Компресорна	169	8	1,35	0,85	1,1	0,9	1,73	1,15	1,99	2,3
8.	Склад готової продукції	84	6	0,5	0,85	1,1	0,9	1,73	0,43	0,74	0,86
9.	БХМ	302	6	1,81	0,85	1,2	0,9	1,73	1,54	2,66	3,08
10.	Макаронне відділення	234	14	3,28	0,85	1,2	0,9	1,73	2,78	4,82	5,56
11.	Дріжджове відділення	468	14	6,55	0,8	1,2	0,9	1,73	5,24	9,07	10,47
12.	Сахарне відділення	648	14	9,07	0,85	1,1	0,9	1,73	7,71	13,34	15,41
13.	Котельня	231	8	1,85	0,8	1,1	0,9	1,73	1,48	2,56	2,96
14.	Склад	80	6	0,48	0,6	1,1	0,9	1,73	0,29	0,5	0,58
15.	Гараж	238	8	1,9	0,6	1,1	0,9	1,73	1,14	1,97	2,28
16.	Прохідна	39	6	0,23	0,6	1,1	0,9	1,73	0,14	0,24	0,28
17.	Магазин	34	14	0,48	0,6	1,1	0,9	1,73	0,29	0,49	0,57
18.	Вагова	133	6	0,8	0,6	1,1	0,9	1,73	0,48	0,83	0,96
	Територія заводу	22856	0,2	4,57	0,5	1,1	0,9	0,48	2,29	1,1	2,54
Всього по заводу									77,2	130,6	151,7

1.3 Розрахунок електричних навантажень в силових мережах вище 1000 В

Для розрахунку силових електричних навантажень в мережі з напругою більше 1 кВ застосовується метод коефіцієнта розрахункової потужності (модифікований метод упорядкованих діаграм), який описаний в джерелі [1].

В табл. 1.3 наведено результати розрахунку силових електричних навантажень в мережі вище 1 кВ .

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		12

Таблиця 1.3. Розрахунок силових електричних навантажень в мережі напругою вище 1 кВ

[illegible]

[illegible]

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>	<i>13</i>	<i>14</i>	<i>15</i>	<i>16</i>
Всього на шинах 10 кВ ТП № 5													131,7	108,8	170,8
Всього по заводу															
силова	423	0,1	- 75	1886	750	0,48	0,8	0,8	909,2	721,6	50	1,2	1048,3	721,5	1272,7
освітлювальна													77,2	130,6	
Всього													1125,5	852,2	1411,7
Компенсуючі пристрої														-917	
Всього з врахуванням КП-0,4													1125,5	-64,8	1127,4
Втрати в трансформаторах	5												16,3	92,3	
Всього по заводу													1141,8	27,5	1142,1
Компенсуючі пристрої 10 кВ															
Всього на шинах 10 кВ													1141,8	27,5	1142,1
													$\operatorname{tg}\varphi_{\text{синс}}=$	0,15	
													$\operatorname{tg}\varphi=$	0.02	

1.4 Графіки електричних навантажень підприємства

У цьому розділі проекту було виконано розрахунки графіків навантажень та їх розрахункових параметрів, використовуючи методику, яка була описана в джерелі [1]. Результати наведено в табл. 1.4 – 1.5 та на рис. 1.1 – 1.5.

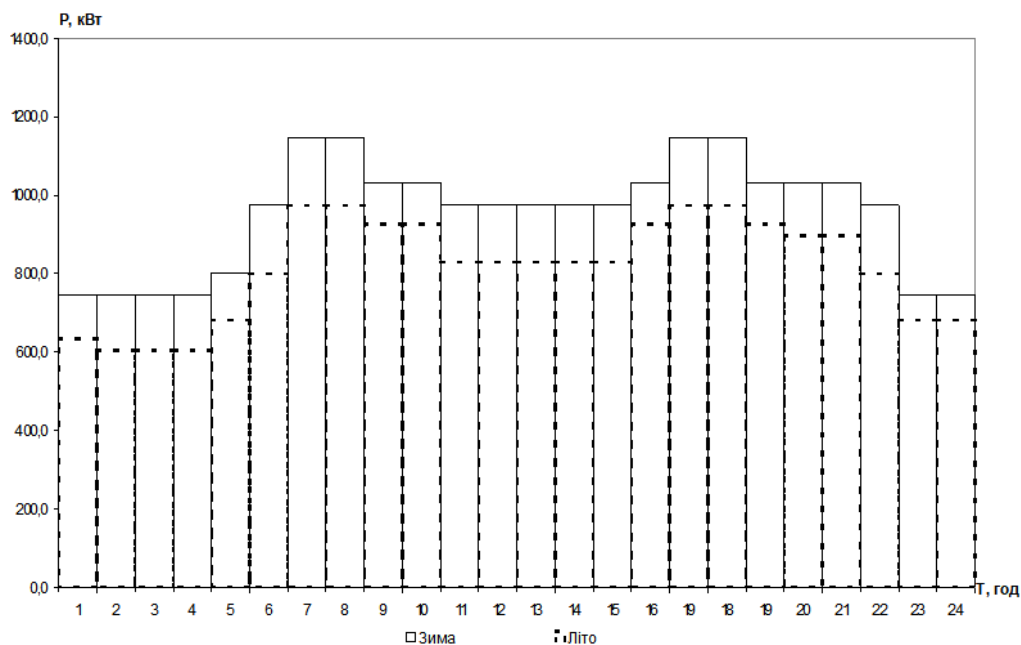


Рис. 1.1. Добовий графік P (зимові, літні робочі дні)

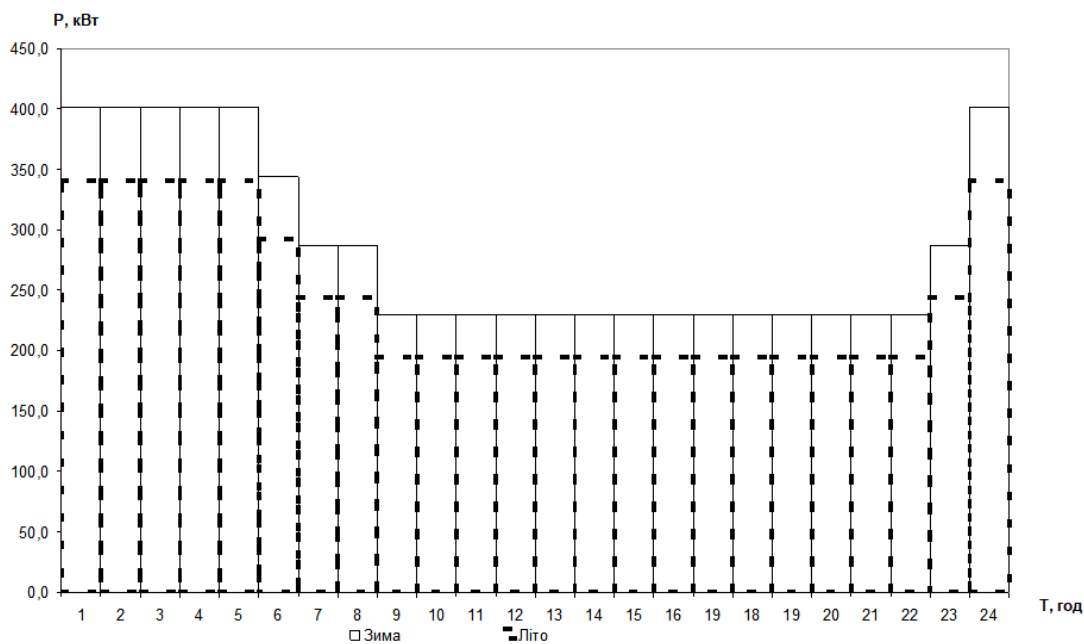


Рис. 1.2. Добовий графік P (зимові, літні вихідні дні)

Таблиця 1.4. Результати розрахунку добових графіків електричних навантажень

№ з/п	Зимові дні						Літні дні					
	Робочі дні			Вихідні дні			Робочі дні			Вихідні дні		
	P, кВт	Q, квар	S, кВА	P, кВт	Q, квар	S, кВА	P, кВт	Q, квар	S, кВА	P, кВт	Q, квар	S, кВА
1	745,1	591,5	951,3	401,2	362,5	540,7	633,3	502,8	808,6	341	308,1	459,6
2	745,1	591,5	951,3	401,2	362,5	540,7	604,1	502,8	786	341	308,1	459,6
3	745,1	591,5	951,3	401,2	362,5	540,7	604,1	502,8	786	341	308,1	459,6
4	745,1	591,5	951,3	401,2	362,5	540,7	604,1	502,8	786	341	308,1	459,6
5	802,4	667,8	1043,9	401,2	362,5	540,7	682	567,6	887,3	341	308,1	459,6
6	974,4	782,3	1249,6	343,9	286,2	447,4	799	664,9	1039,5	292,3	243,3	380,3
7	1146,3	954	1491,3	286,6	238,5	372,9	974,4	810,9	1267,7	243,6	202,7	316,9
8	1146,3	954	1491,3	286,6	238,5	372,9	974,4	810,9	1267,7	243,6	202,7	316,9
9	1031,7	906,3	1373,2	229,3	238,5	330,8	925,6	770,4	1204,3	194,9	202,7	281,2
10	1031,7	906,3	1373,2	229,3	238,5	330,8	925,6	770,4	1204,3	194,9	202,7	281,2
11	974,4	810,9	1267,7	229,3	238,5	330,8	828,2	689,3	1077,52	194,9	202,7	281,2
12	974,4	810,9	1267,7	229,3	238,5	330,8	828,2	689,3	1077,52	194,9	202,7	281,2
13	974,4	810,9	1267,7	229,3	238,5	330,8	828,2	689,3	1077,52	194,9	202,7	281,2
14	974,4	810,9	1267,7	229,3	238,5	330,8	828,2	689,3	1077,52	194,9	202,7	281,2
15	974,4	810,9	1267,7	229,3	238,5	330,8	828,2	689,3	1077,52	194,9	202,7	281,2
16	1031,7	906,3	1373,2	229,3	238,5	330,8	925,6	770,4	1204,3	194,9	202,7	281,2
17	1146,3	954	1491,3	229,3	238,5	330,8	974,4	810,9	1267,7	194,9	202,7	281,2
18	1146,3	954	1491,3	229,3	238,5	330,8	974,4	810,9	1267,7	194,9	202,7	281,2
19	1031,7	906,3	1373,2	229,3	238,5	330,8	925,6	770,4	1204,3	194,9	202,7	281,2
20	1031,7	877,7	1354,5	229,3	238,5	330,8	896,4	746	1166,3	194,9	202,7	281,2
21	1031,7	877,7	1354,5	229,3	238,5	330,8	896,4	746	1166,3	194,9	202,7	281,2
22	974,4	782,3	1249,6	229,3	238,5	330,8	799	664,9	1039,5	194,9	202,7	281,2
23	745,1	667,8	1000,6	286,6	333,9	440,03	682	567,6	887,3	243,6	283,8	374
24	745,1	667,8	1000,6	401,2	362,5	540,7	682	567,6	887,3	341	308,1	459,6

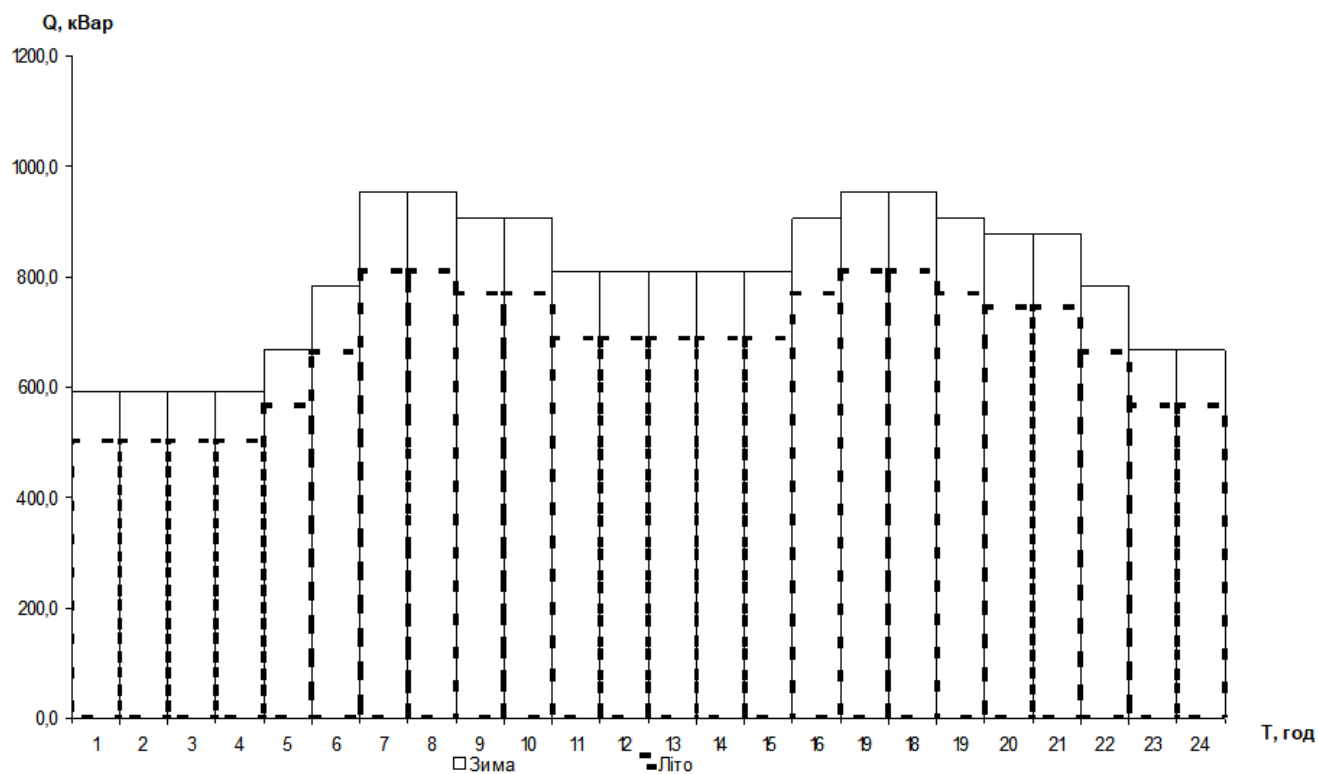


Рис. 1.3. Добовий графік Q (зимові, літні робочі дні)

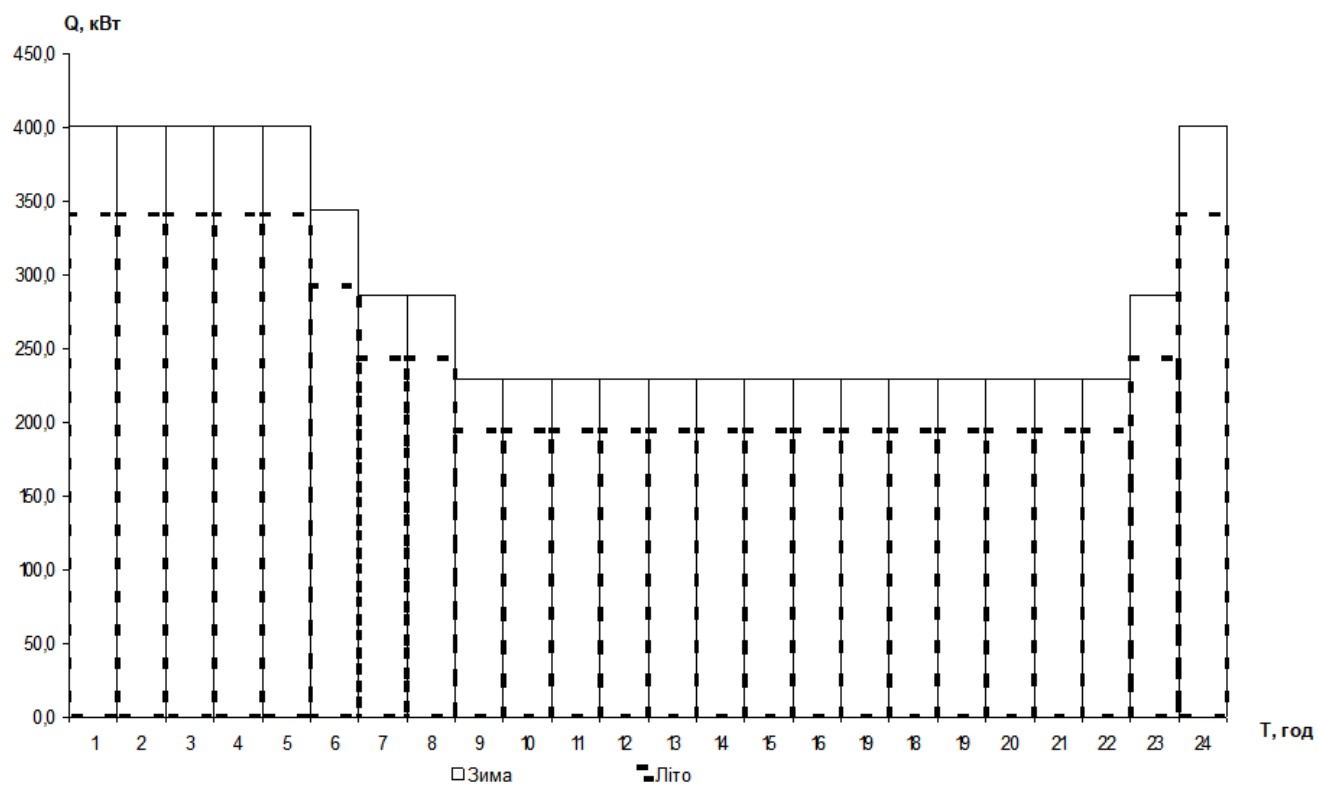


Рис. 1.4. Добовий графік Q (зимові, літні вихідні дні)

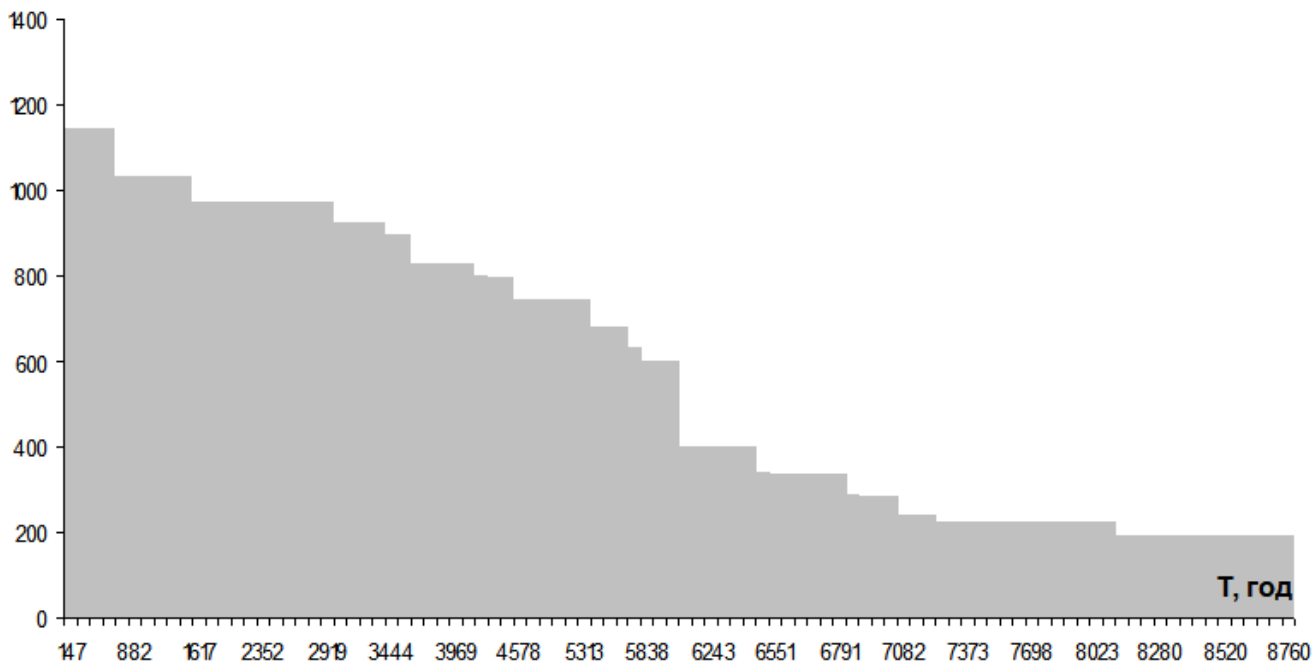


Рис. 1.5. Річний графік активного навантаження P , Q за тривалістю

Таблиця 1.5 Розрахункові величини графіків електричного навантаження

№ з/п	Величина	Значення	Одиниця виміру
1	Розрахункова повна потужність, S_p	1491,3	МВА
2	Річне споживання активної електроенергії (зимові робочі дні), $W_{з.р.}$	3361697	кВт·год
3	Річне споживання реактивної електроенергії (зимові робочі дні), $V_{з.р.}$	2820186	квар·год
4	Річне споживання активної електроенергії (зимові вихідні дні), $W_{з.в.}$	443332	кВт·год
5	Річне споживання реактивної електроенергії (зимові вихідні дні), $V_{з.в.}$	429729	квар·год
6	Річне споживання активної електроенергії (літні робочі дні), $W_{л.р.}$	2060469	кВт·год
7	Річне споживання реактивної електроенергії (літні робочі дні), $V_{л.р.}$	1712256	квар·год
8	Річне споживання активної електроенергії (літні вихідні дні), $W_{л.в.}$	278276	кВт·год
9	Річне споживання реактивної електроенергії (літні вихідні дні), $V_{л.в.}$	269738	квар·год
10	Сумарне річне споживання активної електроенергії, W_p	6143772,527	кВт·год
11	Сумарне річне споживання реактивної електроенергії, V_p	5231909,151	квар·год
12	Час використання максимуму навантаження, T_m	5411	год
13	Час максимальних втрат, τ_m	3875	год

РОЗДІЛ 2

КАРТОГРАМА ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Для візуалізації значень освітлювальних та силових навантажень на генплані, проводиться розрахунок картограми електричних навантажень. Після проведення розрахунку було встановлено центр електричних навантажень. Розрахунок картограми виконувався відповідно до методики, описаної в джерелі [1].

Для прикладу наведемо побудову для цех №1:

$$R_1 = \sqrt{\frac{P_1}{\pi m}} = \sqrt{\frac{P_{p.осв} + P_{p.сил}}{\pi m}} = \sqrt{\frac{12,48 + 207}{3,14 \cdot 0,25}} = 16,71 \text{ мм},$$

$$\alpha_i = \frac{P_{i.осв} \cdot 360}{\pi R_i^2} = \frac{49,8 \cdot 360}{3,14 \cdot 16,71^2} = 20,47^\circ$$

Аналогічний розрахунок проводиться для інших цехів підприємства. Результати цього розрахунку представлені в таблиці 2.1.

Координати центру електричних навантажень:

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n X_i P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} = \frac{146452,97}{1125,51} = 130,12 \text{ м},$$
$$Y = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} = \frac{132654,26}{1125,51} = 117,86 \text{ м}.$$

Під час розрахунку координат центру електричних навантажень було виявлено, що його місцезнаходження співпадає з одним з цехів підприємства. У зв'язку з цим було вирішено змістити розташування центру живлення в напрямку живлення, що ілюструється на слайді №2 графічної частини роботи.

						Арк.
						21
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Таблиця 2.1. Результати розрахунку картограми електричних навантажень

№ п/п	Найменування	$P_{P.сил},$ кВт	$P_{P.осв},$ кВт	$P_P,$ кВт	m	$R,$ мм	a	$x,$ м	$y,$ м	$P \cdot x,$ кВт · м	$P \cdot y,$ кВт · м
1	Цех № 1	206,95	12,48	219,43	0,25	16,71	20,47	95	80	20846,02	17554,54
2	Цех № 2	250,7	14,56	265,26	0,25	18,38	19,76	125	133	33157,21	35279,27
3	Столярня	21,36	1,18	22,53	0,25	5,36	18,79	145	150	3267,53	3380,2
4	Механічна майстерня	26,56	2,84	29,41	0,25	6,12	34,82	57	120	1676,17	3528,78
5	Адмінкорпус	31,45	19,44	50,89	0,25	8,05	137,52	125	65	6361,14	3307,79
7	Кондитерська ділянка	109,2	6,24	115,44	0,25	12,12	19,46	135	135	15584,74	15584,74
8	Компресорна	173,84	1,35	175,2	0,25	14,94	2,78	154	54	26980,33	9460,64
9	Склад готової продукції	13,96	0,5	14,46	0,25	4,29	12,54	100	155	1446,4	2241,92
10	БХМ	52,65	1,81	54,46	0,25	8,33	11,98	80	65	4357,17	3540,2
11	Макаронне відділення	30,2	3,28	33,48	0,25	6,53	35,23	135	110	4519,24	3682,35
12	Дріжджове відділення	53,66	6,55	60,21	0,25	8,76	39,17	125	90	7526,57	5419,13
13	Сахарне відділення	105,59	9,07	114,67	0,25	12,08	28,48	115	120	13186,63	13759,97
14	Котельня	100,23	1,85	102,08	0,25	11,4	6,52	43	125	4389,63	12760,55
15	Склад	38,94	0,48	39,43	0,25	7,09	4,41	80	80	3154,2	3154,2
	Всього по заводу	1048,35	77,16	1125,51						146452,97	132654,26

РОЗДІЛ 3

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ СХЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Даний розділ моєї випускної кваліфікаційної роботи присвячений обґрунтуванню техніко-економічних аспектів вибору схем внутрішнього та зовнішнього електропостачання підприємства.

3.1 Вибір схеми зовнішнього електропостачання підприємства

Для вибору схеми зовнішнього електропостачання підприємства використовується метод, який ґрунтується на визначенні мінімуму приведених витрат [1].

Згідно з вихідними даними, підприємство має можливість отримувати живлення від підстанції системи з напругою 35/10 кВ, що знаходиться на відстані 6 км. У зв'язку з цим, є доцільним розглядати два варіанти схеми зовнішнього електропостачання:

1. живлення за допомогою кабельних ліній з напругою 10 кВ;
2. живлення за допомогою повітряних ліній з напругою 35 кВ та із встановленням головної знижувальної підстанції 35/10 кВ.

Схеми зазначених варіантів зовнішнього електропостачання наведені на рис. 3.1.

Варіант 1. Для електропостачання використовуються кабельні лінії з номінальною напругою 10 кВ. (рис. 3.1 а).

Розрахунковий струм, А:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{1232}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 71,13$$

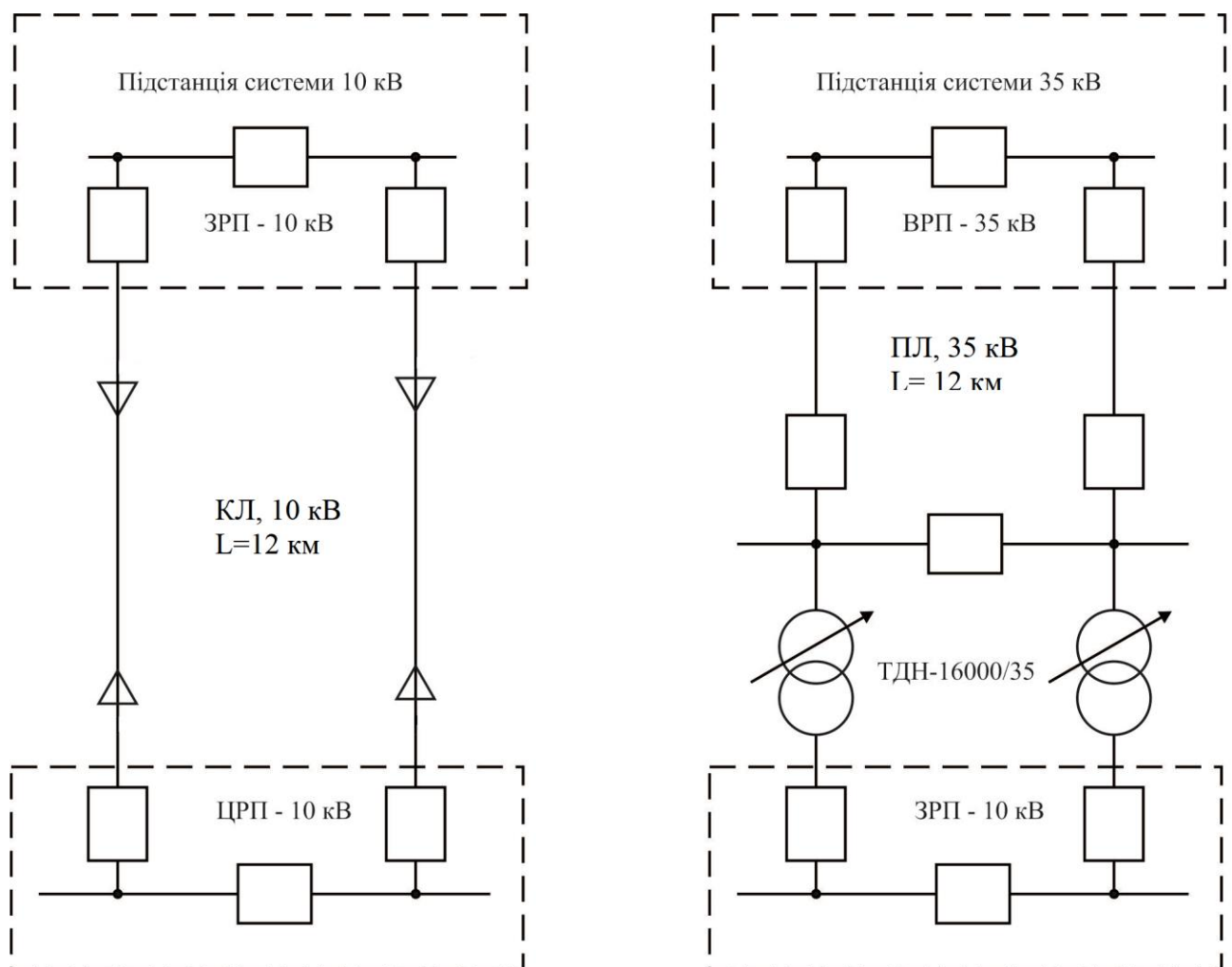


Рис. 3.1. Варіанти схем зовнішнього електропостачання підприємства

Для прокладання приймаємо 2 КЛ з площею перерізу 70мм^2 , кабель марки ААШВ (3х70). Кабель має тривале допустиме струмове навантаження $I_{\text{доп}} = 130$ А. Втрати потужності на відстані 1 км становлять $\Delta P_{1\text{км}} = 14$ кВт/км, вартістю $K_0 = 78,2$ тис.грн/км.

Коефіцієнт попереднього завантаження кабеля:

$$K_z = \frac{I_p}{n \cdot I_{\text{доп}}} = \frac{35,57}{1 \cdot 130} = 0,27$$

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

$$I = n I_{\text{доп}} K_{\text{ан}} = 1 \cdot 105 \cdot 0,92 = 92,4 \text{ А}$$

де $K_{\text{ан}}$ - допустимий коефіцієнт аварійного перевантаження.

Отже живлення забезпечуватиметься нормально. Втрати потужності ΔP та енергії ΔW в лінії:

$$\Delta P_{\text{л}} = \Delta P_{1\text{км}} l_{\Sigma} K_{\Sigma}^2 = 14 \cdot 24 \cdot 0,27^2 = 24,49 \text{ кВт},$$

$$\Delta W_{\text{л}} = \Delta P_{\text{л}} \tau = 24,49 \cdot 1603,19 = 39262,12 \text{ кВт}\cdot\text{год}.$$

Вартість втрат енергії

$$C_{\text{втр}} = \Delta W C_0 = 39262,12 \cdot 4,9 \cdot 10^{-3} = 192,38 \text{ тис. грн.}$$

Де C_0 – вартість 1 кВт*год згідно з діючими тарифами електроенергії $C_0=4,9$

Розрахунок капітальних вкладень для варіанту № 1 наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1. Розрахунок для варіанту №1 капітальних вкладень

№ з/п	Назва елемента схеми	Одиниця	Кількість	Вартість	Всього
1	Шафи КРУ з вимикачами 10 кВ	шт.	2	10,7	21,4
2	Кабельна лінія	км	24	78,2	1876,8
3	Траншея	км	12	14,3	171,6
	Всього				2069,8

Розрахунок поточних витрат варіанту № 1 наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2. Розрахунок для варіанту №1 капітальних вкладень

№ вар.	Назва елемента схеми	K_j , тис. грн.	P_{aj} , %	C_{aj} , тис. грн.	$P_{эj}$, %	$C_{эj}$, тис. грн.	C_j , тис. грн.
I	КЛ 10 кВ	1876,8	5	93,84	5	93,84	187,68
	Шафи КРП 10 кВ	21,4	15	3,21	5	1,07	4,28
	Траншея	171,6	5	8,58	5	8,58	17,16
	Всього						209,12

Розрахунок ймовірного збитку від перериву електропостачання для варіанта № 1 наведено нижче. Розрахункова схема ланцюга живлення містить вимикач 10 кВ і КЛ довжиною 12 км.

							Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата			25

- вимикач 10 кВ: $\lambda_a = 0,004$ 1/рік; $T_g = 0,00045$ рік; $K_n = 0,002$ в.о.
 - кабельна лінія довжиною 12 км: $\lambda_a = 0,96$ 1/рік;
- $T_g = 0,00084$ рік; $K_n = 0,000108$ в.о.

Параметр потоку відмов ланцюга:

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i = 0,004 + 0,96 = 0,964 \text{ 1/рік}$$

де λ_i - параметр потоку відмов одного елемента системи електропостачання, 1/рік.

Середній час відновлення одного ланцюга:

$$T_g = \frac{\sum \lambda_i T_{gi}}{\lambda} = \frac{(4 \cdot 0,45 + 960 \cdot 0,84) \cdot 10^{-3}}{0,964} = 8,38 \cdot 10^{-4} \text{ год/рік}$$

де T_g , - середній час відновлення елемента після відмови, років.

Коефіцієнт планового простою ланцюга має найвище значення серед усіх елементів розрахункового ланцюга, що визначає середній час планового простою, в.о :

$$K_n = 1,2 K_{n\max} = 1,2 \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 2,4 \cdot 10^{-3}$$

Коефіцієнт аварійного простою одного ланцюга:

$$K_a = \lambda T_g = 0,0224 \cdot 8,38 \cdot 10^{-4} = 8,082 \cdot 10^{-6}$$

Коефіцієнт аварійного простою, коли ланцюг відключений для планового ремонту, а другий відключається через пошкодження.

$$K_{an} = 0,5 \lambda K_n = 0,5 \cdot 0,964 \cdot (2,4 \cdot 10^{-3})^2 = 2,78 \cdot 10^{-6}$$

										Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата						26

Коефіцієнт аварійного простою двох ліній:

$$K_a^{(2)} = K_a^2 + 2K_{an} = (8,082 \cdot 10^{-4})^2 + 2 \cdot 2,78 \cdot 10^{-6} = 6,21 \cdot 10^{-6}$$

Середньорічний час аварійного простою:

$$T_a = K_a^{(2)} \cdot 8760 = 6,21 \cdot 10^{-6} \cdot 8760 = 543,6 \cdot 10^{-4}$$

Середньорічне активне навантаження підприємства:

$$P_{cp} = \frac{P_p T_m}{8760} = \frac{1146,3 \cdot 3038}{8760 \cdot 1000} = 0,36 \text{ МВт}$$

Очікуваний збиток від перерви електропостачання

$$U = U_0 P_{cp} T_a = 256,8 \cdot 0,36 \cdot 543,6 \cdot 10^{-4} = 5,03 \text{ тис.грн.}$$

де U_0 - питомий збиток від аварійного недовідпуску електроенергії, грн/кВт·год;

P_{cp} - середньорічне активне навантаження підприємства, кВт.

Зведені витрати для варіанту № 1, тис. грн./рік:

$$\begin{aligned} Z_i &= E_n K_i + C_i + C_{втр.i} + U_i = \\ &= 0,12 \cdot 2069,8 + 209,12 + 192,38 + 5,03 = 654,906 \text{ тис.грн./рік} \end{aligned}$$

Так само враховуються зведені витрати і для варіанту живлення електропередачею по повітряних лініях з напругою 35 кВ. Результати порівняння різних варіантів живлення зовнішньої електропостачання можна знайти в таблиці 3.3.

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		27

Таблиця 3.3. Результати техніко-економічних розрахунків з вибору схеми зовнішнього електропостачання

Показники	Варіанти	
	I	II
Капітальні вкладення	2069,8	3111
Поточні витрати	209,12	420,6
Вартість втрат електроенергії	192,38	251,03
Збиток	5,03	6,13
<i>Зведені витрати</i>	654,906	1051,08

З таблиці 3.3 видно, що приведені витрати на варіант схеми зовнішнього електропостачання № 1 (повітряними лініями 10 кВ) є значно менші. Його і приймаємо для подальших розрахунків.

3.2 Вибір схеми внутрішнього електропостачання підприємства

Вирішили використовувати радіальну схему живлення кабельними лініями напругою 10 кВ для внутрішньозаводського електропостачання без проведення техніко-економічних розрахунків з таких причин:

- Радіальна схема забезпечує високий рівень надійності електропостачання порівняно з змішаною або магістральною схемами.

- Відстані між підрозділами, де знаходяться трансформаторні підстанції 10/0,4 кВ, є невеликими, тому очевидно, що втрати в кабельних лініях напругою 10 кВ будуть незначними.

Схему внутрішнього електропостачання підприємства можна побачити у графічній частині роботи.

РОЗДІЛ 4

РЕЖИМИ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Цей розділ випускної кваліфікаційної роботи присвячений розрахунку режимів реактивної потужності в системі електропостачання підприємства. Розрахунок балансу реактивної потужності, вибір необхідної кількості, потужності та місце розташування компенсуючих пристроїв згідно з методикою, описаною в посиланні [1].

4.1 Розрахунок балансу реактивної потужності

Вихідні дані до розрахунку балансу реактивної потужності: $P_n = 1125,5$ кВт; $Q_n = 852,2$ квар; $\Delta P_T = 16,3$ кВт; $\Delta Q_T = 92,3$ квар; $P_B = 0$ кВт; $Q_B = 0$ квар.

Сумарне споживання активної потужності:

$$P_p = P_n + \Delta P_{mp} + P_e = 1125,5 + 16,3 + 0 = 1141,8 \text{ кВт}$$

Сумарне споживання реактивної потужності:

$$Q_p = Q_n + \Delta Q_{mp} + Q_e = 852,2 + 92,3 + 0 = 944,5 \text{ квар}$$

Реактивна потужність, що споживається від системи:

$$Q_e = P_p \cdot \operatorname{tg} \phi_c = 1141,8 \cdot 0,15 = 171,27 \text{ квар}$$

Потужність компенсуючих пристроїв:

$$Q_{KP} = Q_p - Q_e = 944,5 - 171,27 = 773,23 \text{ квар}$$

Мінімальна кількість трансформаторів:

$$N_0 = \frac{P_H}{K_3 P_{ном}} = \frac{1125,5}{0,7 \cdot 400} \approx 4,01964 \text{ шт.}$$

Приймаємо $N_0 = 5$ шт

Розглянемо варіанти з різною кількістю цехових трансформаторів: $N_T = N_0$,
 $N_T = N_0 + 1$, $N_T = N_0 + 2$.

Варіант 1. Кількість цехових трансформаторів $N = N_0 = 5$ шт.

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

$$Q_1 = \sqrt{(N \cdot K_3 \cdot S_{ном})^2 - P_H^2} = \sqrt{(5 \cdot 0,7 \cdot 400)^2 - 1125,5^2} = 832,6 \text{ квар}$$

Потужність КП, що встановлюються в мережі до 1 кВ:

$$Q_{кн} = Q_H - Q_n = 852,2 - 865,82 = -13,6 \text{ квар}$$

Потужність КП, що встановлюються в мережі 10 кВ:

$$Q_{кв} = Q_p - Q_{кн} - Q_e = 944,5 - 867 - 171,27 = 0 \text{ квар}$$

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

БК потужністю 112,5 квар приймаємо 4 шт.

БК потужністю 150 квар приймаємо 1 шт.

БК потужністю 100 квар приймаємо 1 шт.

БК потужністю 67 квар приймаємо 1 шт.

БК потужністю 50 квар приймаємо 2 шт.

									Арк.
									30
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата					

Розрахунок потужності КП для варіантів з кількістю трансформаторів $N_T = N_0 + 1$, $N_T = N_0 + 2$ виконується аналогічно.

4.2 Вибір кількості, потужності та місця розташування компенсуючих пристроїв

ТП 1. Розрахункове навантаження на даному ТП: $P_p = 298,2$ кВт,
 $Q_p = 222,2$ квар

Реактивна потужність, яка може бути передана із мережі 10 кВ в мережу 0.4 кВ на ТП 1:

$$Q_n = \sqrt{(n \cdot K_3 \cdot P_{ном})^2 - P_p^2} = \sqrt{(1 \cdot 0.7 \cdot 400)^2 - 298,2^2} = 0 \text{ квар}$$

Потужність компенсуючих пристроїв в мережі 0.4 кВ:

$$Q_{кп} = Q_p - Q_n = 222,2 - 0 = 222,2 \text{ квар}$$

Приймаємо до установки батарею конденсаторів УKM58-04-112,5-37,5 УЗ

Повна потужність ТП 1, враховуючи компенсацію:

$$S'_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p'^2} = \sqrt{298,2^2 + 222,2^2} = 371,9 \text{ кВА}$$

Коефіцієнт завантаження трансформаторів:

$$K_3 = \frac{S'_p}{n \cdot S_{ном.т}} = \frac{371,9}{1 \cdot 400} = 0,9$$

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		31

Розміщення батарей на інших ТП проводиться аналогічно. Результати розрахунку наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1. Розміщення низьковольтних КП

ТП	n	P_p	Q_p	Q_{np}	$Q_{кп}$	$Q_{кп(см)}$	$\frac{Q_{p-}}{Q_{кп(см)}}$	K_z	S_p	Тип і потужність БСК	K_i , тис грн
ТП 1	1	298,2	222,2	0	222,2	225	0	0,9	371,9	2x112,5	7,8
ТП 2	1	279,8	228,2	0	228	225	0	0,9	361,1	2x112,5	7,8
ТП 3	1	246,7	150,7	0	150,7	167	0	0,7	289,1	1x67, 1x100	7,17
ТП 4	1	264,3	149	0	149	150	0	0,7	303,4	1x150	6,95
ТП 5	1	129,5	99,1	0	99,1	100	0	0,8	163,1	2x50	6,56

Оскільки потужність компенсуючих пристроїв, які мають бути встановлені на стороні 10 кВ, перевищує тах реактивну потужність, яку можуть видати СД, то використання цих пристроїв для компенсації реактивної потужності не є доцільним. Замість цього, для компенсації реактивної потужності, ми встановлюємо батареї статичних конденсаторів.

Сумарна потужність високовольтних компенсуючих пристроїв:

$$Q_{кВ} = 944,5 - 867 - 171,27 = 0 \text{ квар}$$

Додаткові втрати в трансформаторах цехових ТП при передачі реактивної потужності:

$$\Delta P_{mp} = \frac{Q_{np}^2 \Delta P_k}{n \cdot P_{ном}^2} = \frac{-14,8^2 \cdot 725}{10} = 0 \text{ кВт}$$

Втрати активної потужності в низьковольтних батареях:

$$\Delta P_{кн} = 0,003 \cdot Q_{кн} = 0,003 \cdot 867 = 2,601 \text{ кВт}$$

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		32

Втрати активної потужності в високовольтних батареях:

$$\Delta P_{\kappa\beta} = 0,0045 Q_{\kappa\beta} = 0,0045 \cdot 0 = 0 \text{ кВт}$$

Вартість низьковольтних батарей конденсаторів:

$$K_{\kappa\eta} = 4 \cdot 3,9 + 1 \cdot 4,71 + 1 \cdot 3,67 + 1 \cdot 3,53 + 2 \cdot 3,28 = 34,063 \text{ тис. грн.}$$

Вартість високовольтних батарей конденсаторів:

$$K_{\kappa\beta} = 0 \text{ тис. грн.}$$

Вартість комплектних трансформаторних підстанцій:

$$K_{\kappa\tau\tau\tau} = 5 \cdot 47,5 = 237,5 \text{ тис. грн.}$$

Розрахункові витрати:

$$\begin{aligned} Z &= E_H (K_{\kappa\eta} + K_{\kappa\beta} + K_{\kappa\tau\tau\tau}) + (\Delta P_{\kappa\eta} + \Delta P_{\kappa\beta} + \Delta P_{\kappa\tau\tau\tau}) C_0 \tau = \\ &= 0,12(34,063 + 0 + 237,5) + (2,601 + 0 + 0) \cdot 0,419 \cdot 3875 = 36,81 \text{ тис. грн.} \end{aligned}$$

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

Результати розрахунку зведені в таблицю 4.3.

Таблиця 4.2. Розрахунок затрат на компенсацію РП та її баланс

Показник	Варіант		
	1	2	3
Потужність компенсуючих пристроїв в мережі 0,4 кВ	867	0	0
Потужність компенсуючих пристроїв в мережі 10 кВ	0	900	900
Споживання реактивної потужності від системи	171	171	171
Всього по балансу	1038	1071	1071
Сумарні затрати на компенсацію	36,81	62,28	55,56

Згідно з отриманими результатами розрахунків, найменші розрахункові затрати спостерігаються в першому варіанті. Тому ми обираємо його для подальшого розрахунку.

РОЗДІЛ 5

ВИБІР КІЛЬКОСТІ ТА ПОТУЖНОСТІ ТРАНСФОРМАТОРІВ ПІДПРИЄМСТВА

Умови перевірки правильності вибору трансформатора для ТП-1:

$$K_3 = \frac{S_p}{n_t S_{\text{номт}}} = \frac{298}{1 \cdot 400} = 0,75,$$

$$S_{\text{ТПР}} = S_p / 1,4(n-1) = 371,9 / 1,4 = 266 \text{ кВА},$$

Таким чином, приймаємо трансформатор з найближчою більшою потужністю: ТМН - 400/10.

Розрахунки із вибору трансформаторів для інших цехових ТП проводяться аналогічно. Результати даних розрахунків наведено в табл. 5.1.

Таблиця 5.1. Результати розрахунку з вибору цехових ТП підприємства

№ ТП	К-сть	$S_{\text{роз}},$ кВА	Марка	K_3
ТП-1	1	298,24	ТМН-400-10	0,75
ТП-2	1	279,77	ТМН-400-10	0,75
ТП-3	1	251,89	ТМН-400-10	0,75
ТП-4	1	264,33	ТМН-400-10	0,75
ТП-5	1	129,49	ТМН-400-10	0,75

РОЗДІЛ 6

РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКИХ ЗАМКНЕНЬ ТА ВИБІР ВИСОКОВОЛЬТНОГО ОБЛАДНАННЯ

У даному розділі випускної кваліфікаційної роботи розглядаються питання, пов'язані з розрахунком струмів короткого замикання в системі електропостачання, вибором кабельних ліній для напруги 10 кВ, вибором електричних апаратів високої напруги та вибором схем живлення та потужності трансформаторів для власних потреб. Для вирішення цих завдань була застосована методика, описана у джерелі [1].

6.1 Розрахунок струмів коротких замкнень

Перед тим, як проводити розрахунок струмів короткого замикання, було складено розрахункову схему (див. рис. 6.1), на якій зазначені точки системи електропостачання, в яких необхідно провести розрахунок струмів короткого замикання.

Відповідно до розрахункової схеми, була складена схема заміщення (рис. 6.2), на якій елементи системи електропостачання підприємства заміняючи всі елементи еквівалентними опорами. Розрахунок ведеться у відносних одиницях. Приймаємо базисну потужність $S_6 = 100$, базисна напруга в точці K_1 : $U_{61} = 10,5$ кВ; в точці K_2 : $U_{62} = 10,5$ кВ; в точці K_3 : $U_{63} = 0,4$ кВ.

Розрахуємо опори елементів.

1. Параметри лінії до ЦРП:

Номінальна напруга кабельної лінії $U_n = 10$ кВ. Лінія виконана кабелем марки ААШВ, $F = 35 \text{ мм}^2$, $X_0 = 0,48 \text{ Ом}$

Реактивний опір лінії напругою 10 кВ до ЦРП:

$$X_{KL} = \frac{X_0 \cdot L \cdot S_6}{U_{61}^2} = \frac{0,48 \cdot 0,2 \cdot 100}{11^2} = 0,1 \text{ Ом}$$

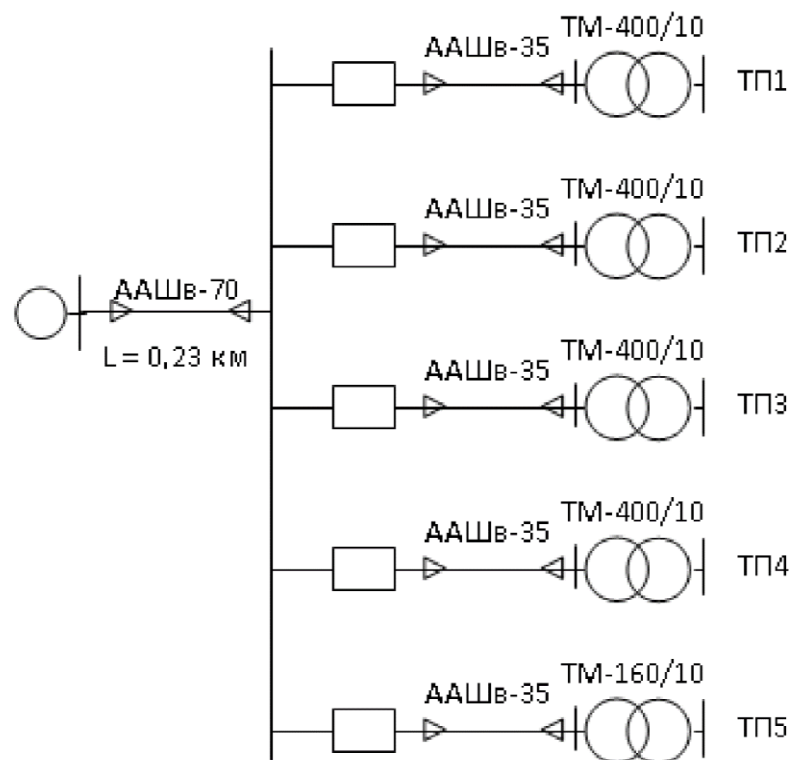


Рис. 6.1 - Розрахункова схема системи електропостачання

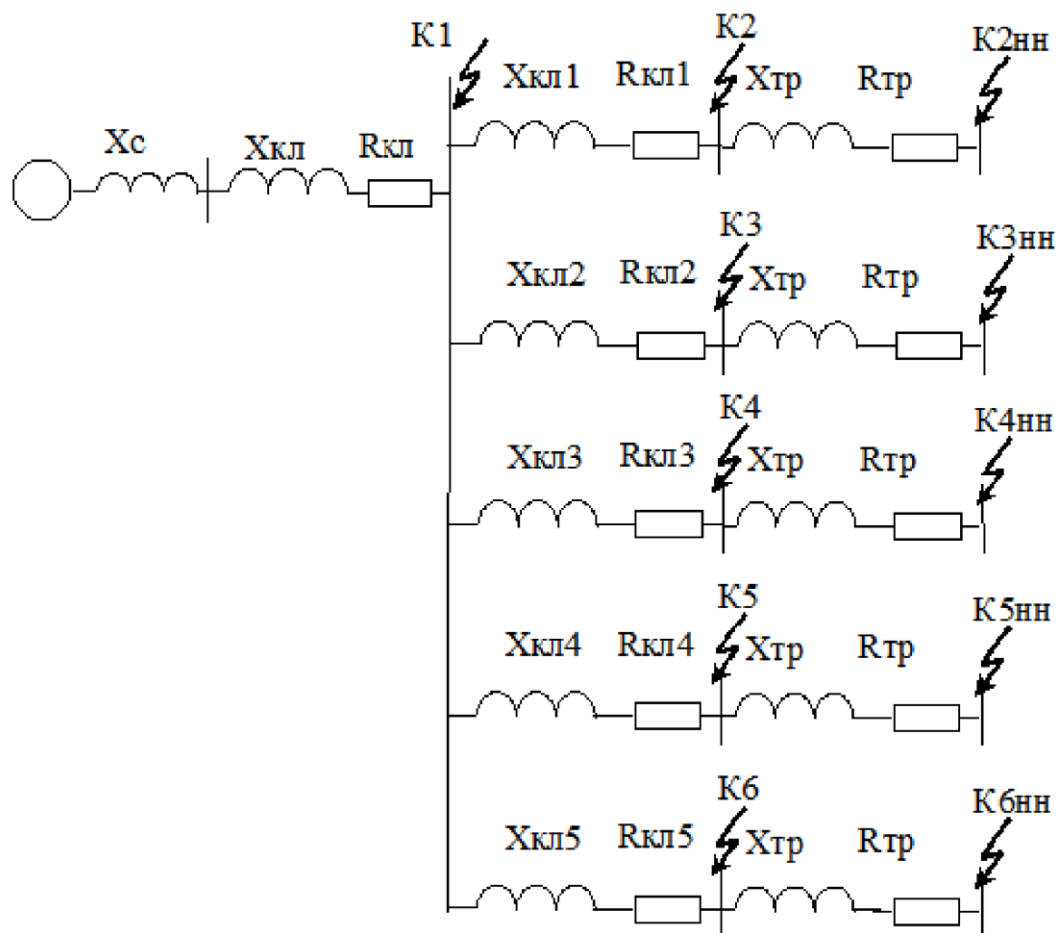


Рис. 6.2 - Схема заміщення системи електропостачання

Активний опір лінії напругою 10 кВ до ЦРП:

$$R_{кл} = \frac{R_0 \cdot L \cdot S_{\delta}}{U_{\delta 1}^2} = \frac{0,06 \cdot 0,2 \cdot 100}{11^2} = 0,01 \text{ Ом}$$

2. Для кабельної лінії напругою 10 кВ від ЦРП до ТП:

Реактивний опір лінії напругою 10 кВ від ЦРП до ТП:

$$X_{кл1} = \frac{X_0 \cdot L \cdot S_{\delta}}{U_{\delta 2}^2} = \frac{0,95 \cdot 0,03 \cdot 100}{11^2} = 0,03 \text{ Ом}$$

Активний опір лінії напругою 10 кВ від ЦРП до ТП:

$$R_{кл1} = \frac{R_0 \cdot L \cdot S_{\delta}}{U_{\delta 2}^2} = \frac{0,06 \cdot 0,03 \cdot 100}{11^2} = 0,002 \text{ Ом}$$

3. Реактивний опір системи:

$$X_c = \frac{S_{\delta}}{S_{кз}} = \frac{100}{76,1} = 1,3 \text{ Ом}$$

Активним опором системи нехтуємо, через мале значення.

4. На ТП встановлений трансформатори типу ТМ-400/10. Розраховуємо опір трансформатора ТМ-400/10. Паспортні дані трансформатора: $S_{ном} = 400$ кВА, $\Delta P_{\kappa} = 5,5$ кВт, $U_{BH} = 10$ кВ, $\Delta P_x = 0,9$ кВт, $U_{HH} = 0,4$ кВ,

$$u_{\kappa} \% = 4,67 \%$$

Індуктивний опір трансформатора, приведений до сторони 10 кВ:

						Арк.
						37
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

$$X_{mp} = \frac{u_k \% \cdot U_{ном}^2}{100 \cdot S_{ном}} = \frac{4,67 \cdot 10^2}{100 \cdot 400} = 0,012 \text{ Ом}$$

Активний опір трансформатора, приведений до сторони 10 кВ:

$$R_{mp} = \Delta P_{кз} \frac{U_{ном}^2}{S_{ном}^2} = 5,5 \frac{10^2}{400^2} = 0,0034 \text{ Ом}$$

Проведемо попередній вибір перерізу кабельних ліній на прикладі ТП 1:

Розрахункова потужність на ТП 1:

$$S_p = 1481 \text{ кВА}$$

Розрахунковий струм:

$$I_p = \frac{S_p}{n\sqrt{3}U_n} = \frac{1481}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 81,5 \text{ А}$$

Струм в аварійному режимі:

$$I_{p.ав} = 2 \cdot I_p = 2 \cdot 81,5 = 163 \text{ А}$$

Обираємо кабель ААШВ – (3х70). $I_{дон} = 165 < I_{ав} = 163$

Номінальна напруга кабельної лінії $U_n = 10 \text{ кВ}$. Лінія виконана проводом марки ААШВ перерізом $F = 70 \text{ мм}^2$.

Так само були вибрані і розраховані параметри інших кабельних ліній. Результати вибору та розрахунку параметрів цих кабельних ліній наведені в таблиці 6.1.

									Арк.
									38
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата					

Таблиця 6.1: Попередній вибір кабельних ліній

№ КЛ	S_p , кВА	n	I_p , А	$I_{p.ав}$, А	$F_{ек}$, мм ²	Марка	$I_{дон}$, А
КЛ	1481	1	81,5	114,1	58,2	ААШВ-(3 х 70)	165
КЛ 1	388,5	1	21,4	29,9	15,3	ААШВ-(3 х 35)	115
КЛ 2	377,4	1	21,8	29,1	19,8	ААШВ-(3 х 35)	115
КЛ 3	302,2	1	16,6	23,3	11,9	ААШВ-(3 х 35)	115
КЛ 4	316,7	1	17,4	24,4	12,5	ААШВ-(3 х 35)	115
КЛ 5	170,8	1	9,4	13,2	6,7	ААШВ-(3 х 35)	115

Розрахуємо струми КЗ (над перехідний та ударний) для точок К1, К2, К3.

Сумарний індуктивний опір до точки К1:

$$X_{K1} = X_C + X_{KL} = 1,31 + 0,1 = 1,41 \text{ Ом}$$

Сумарний активний опір до точки К1:

$$R_{K1} = 0,01 \text{ Ом}$$

Повний опір до точки К1:

$$Z_{K1} = \sqrt{R_{K1}^2 + X_{K1}^2} = \sqrt{0,01^2 + 1,41^2} = 1,41 \text{ Ом}$$

Надперехідний струм короткого замикання в точці К1:

$$I_{K1}'' = \frac{U_H}{\sqrt{3}Z_{K1}} = \frac{10}{\sqrt{3} \cdot 1,41} = 4,09 \text{ кА}$$

Стала часу:

$$T_{a1} = \frac{X_{K1}}{\omega R_{K1}} = \frac{1,41}{314 \cdot 0,01} = 0,5 \text{ с}$$

Ударний коефіцієнт:

$$K_{y1} = 1 + e^{-\frac{0,01}{T_{a1}}} = 1 + e^{-\frac{0,01}{0,5}} = 1,9$$

Ударний струм в точці К1:

$$i_{y\partial 1} = \sqrt{2} K_{y1} I''_{K1} = \sqrt{2} \cdot 1,9 \cdot 4,09 = 11 \text{ кА}$$

Сумарний індуктивний опір до точки К2:

$$X_{K2} = X_{K1} + X_{KL1} = 1,41 + 0,03 = 1,44 \text{ Ом}$$

Сумарний активний опір до точки К2:

$$R_{K2} = R_{K1} + R_{KL1} = 0,01 + 0 = 0,01 \text{ Ом}$$

Повний опір до точки К1:

$$Z_{K2} = \sqrt{R_{K2}^2 + X_{K2}^2} = \sqrt{0,01^2 + 1,44^2} = 1,44 \text{ Ом}$$

Надперехідний струм короткого замикання в точці К2:

$$I''_{K2'} = \frac{U_H}{\sqrt{3} Z_{K2}} = \frac{10}{\sqrt{3} \cdot 1,44} = 4 \text{ кА}$$

Стала часу:

						Арк.
						40
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

$$T_{a2} = \frac{X_{K2}}{\omega R_{K2}} = \frac{1,44}{314 \cdot 0,01} = 0,45 \text{ с}$$

Ударний коефіцієнт:

$$K_{y2} = 1 + e^{-\frac{0,01}{T_{a2}}} = 1 + e^{-\frac{0,01}{0,45}} = 1,9$$

Ударний струм в точці К 2:

$$i_{y02'} = \sqrt{2} K_{y2} I_{K2}'' = \sqrt{2} \cdot 1,9 \cdot 4 = 10,7 \text{ кА}$$

Сумарний індуктивний опір до точки К3:

$$X_{K3} = X_{TP} + X_{K2} = 13,2 + 1,4 = 14,6 \text{ Ом}$$

Сумарний активний опір до точки К3:

$$R_{K3} = R_{TP} + R_{K2} = 3,4 + 0,01 = 3,5 \text{ Ом}$$

Повний опір до точки К3:

$$Z_{K3} = \sqrt{R_{K3}^2 + X_{K3}^2} = \sqrt{3,5^2 + 14,6^2} = 15 \text{ Ом}$$

Надперехідний струм короткого замикання в точці К3:

$$I_{K3}'' = \frac{U_H}{\sqrt{3} Z_{K3}} = \frac{10}{\sqrt{3} \cdot 15} = 0,4 \text{ кА}$$

Стала часу:

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		41

$$T_{a2} = \frac{X_{к3}}{\omega R_{к3}} = \frac{14,6}{314 \cdot 3} = 0,0155 \text{ с}$$

Ударний коефіцієнт:

$$K_{y3} = 1 + e^{-\frac{0,01}{T_{a3}}} = 1 + e^{-\frac{0,01}{0,0155}} = 1,5$$

Ударний струм в точці КЗ:

$$i_{y\partial 3} = \sqrt{2} K_{y3} I''_{к3} = \sqrt{2} \cdot 1,5 \cdot 0,4 = 0,9 \text{ кА}$$

Розрахунок струмів короткого замикання в інших точках проводиться за аналогічною методикою. Результати цього розрахунку наведені в таблиці 6.2.

Таблиця 6.2. Результати розрахунку струмів КЗ

№ точки к.з.	R, Ом	X, Ом	I'' _к , кА	T _a , с	K _y	i _{y∂} , кА
1	0,01	1,41	4,09	0,5	1,98	11
2	0,014	1,44	4	0,32	1,969	10,7
3	0,016	1,46	3,76	0,29	1,966	10,1
4	0,015	1,457	3,78	0,31	1,968	10,1
5	0,014	1,44	3,82	0,32	1,969	10,2

6.2 Вибір кабельних ліній напругою 10 кВ

В прикладі нижче наведено розрахунки з вибору КЛІ.

Розрахунковий струм:

						Арк.
						42
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

$$I_p = \frac{S_p}{n\sqrt{3}U_n} = \frac{1481}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 81,5 \text{ A}$$

Струм в аварійному режимі:

$$I_{p.ав} = 2 \cdot I_p = 2 \cdot 81,5 = 163 \text{ A}$$

Термічний імпульс:

$$B_k = I_{K3}^2 (t_{відкл} + T_a) = 4,09^2 (0,023 + 0,5) = 8,7 \text{ кА}^2\text{с}$$

Мінімальний переріз кабелю згідно термічної стійкості:

$$F_{тер} = \frac{\sqrt{B_k}}{C} = \frac{\sqrt{8,7 \cdot 10^6}}{94} = 31,38 \text{ мм}^2$$

Обираємо кабель ААШв–10(3 х 70). $I_{дон} = 165 \text{ A}$. Коефіцієнт прокладання кабелю $K_n = 1$.

Перевірка кабелю по умові допустимого струму навантаження:

$$I_p = 81,5 \text{ A} < K_n I_{дон} = 1 \cdot 165 = 165 \text{ A}$$

Перевірка кабелю за умовою роботи в аварійному режимі:

$$I_{p.ав} = 163 \text{ A} < K_{ан} K_n' I_{дон} = 1,15 \cdot 1 \cdot 165 = 190 \text{ A}$$

Так само проводиться вибір інших кабелів згідно з аналогічною процедурою. Результати вибору цих кабелів наведені в підсумковій таблиці 6.3.

						Арк.
						43
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Таблиця 6.3. Результати вибору кабельних ліній напругою 10 кВ

$N_{\text{д}} \text{ КЛ}$	$S_p, \text{кВА}$	n	$I_p, \text{А}$	$B_k, \text{кА}^2\text{с}$	$F_{\text{min}}, \text{мм}^2$	$I_{p.\text{ав}}, \text{А}$	Марка кабеля	$I_{\text{доп}}, \text{А}$	K_n	$K_n I_{\text{доп}}$	K_3	K_{an}	K'_n	$K_{an} K'_n I_{\text{доп}}$
КЛ	1481	1	81,5	8,7	21,5	114,1	ААШВ-(3 х 70)	165	1	165	0,516	1,15	1	190
КЛ 1	388,5	1	21,4	8,7	21,5	29,9	ААШВ-(3 х 35)	115	1	115	0,516	1,15	1	132
КЛ 2	377,4	1	21,8	8,7	21,5	29,1	ААШВ-(3 х 35)	115	1	115	0,513	1,15	1	132
КЛ 3	302,2	1	16,6	8,7	21,5	23,3	ААШВ-(3 х 35)	115	1	115	0,514	1,15	1	132
КЛ 4	316,7	1	17,4	8,7	21,5	24,4	ААШВ-(3 х 35)	115	1	115	0,513	1,15	1	132
КЛ 5	170,8	1	9,4	8,7	21,5	13,2	ААШВ-(3 х 35)	115	1	115	0,513	1,15	1	132

6.3 Вибір електричних апаратів високої напруги

У даному розділі випускної бакалаврської роботи було здійснено вибір електричних апаратів високої напруги, зокрема високовольтних вимикачів напругою 10 кВ та розрядників. Розрахунки були проведені відповідно до методики, описаної в джерелі [1].

Результати вибору ввідного вимикача по шинах напругою 10 кВ наведено в табл. 6.4.

Таблица 6.4. Результати вибору ввідного вимикача напругою 10 кВ

№ з/П	Умови вибору	Розрахунок
1	$U_{уст} \leq U_{ном}$	$10 \leq 10$
2	$I_{роб.форс.} \leq I_{ном}$	$85,6 \leq 630$
3		
4	$I_{K0}'' \leq I_{дин.ст.}$	$3,84 \leq 20$
5	$i_{ат} \leq \sqrt{2}\beta_n I_{відкл.ном}$	$0 \leq 11,3$
6	$\sqrt{2}I_{пт} + i_{ат} \leq \sqrt{2}I_{ном.відкл}(1 + \beta_n)$	$4,45 \leq 39,48$
7		
8	$I_{пт} \leq I_{дин.ст.}$	$3,89 \leq 20$
9	$i_{уд} \leq 1,8\sqrt{2}I_{дин.ст.}$	$6,6 \leq 52$
10	$B_k \leq I_{тн}^2 t_{тн}$	$136,9 \leq 1200$

Найменший час від початку к. з. до розходження контактів вимикача:

$$\tau = t_{pz.min} + t_{c.g} = 0,01 + 0,5 = 0,51 \text{ с}$$

Аперіодична складова струму к. з. для моменту розходження контактів:

$$i_{a\tau} = \sqrt{2} I'' e^{\frac{-\tau}{T_a}} = 1,41 \cdot 4,09 \cdot e^{\frac{-0,51}{0,0037}} = 0 \text{ кА}$$

Тепловий імпульс від струму к. з.:

$$B_k = I''^2 (t_{c.в} + t_{пз.мах} + T_a) = 3,89^2 (0,925 + 0,0037) = 136,9 \text{ кА}^2\text{с}$$

6.4 Вибір потужності та схем живлення трансформаторів власних потреб

Результати розрахунку електричного навантаження ТВП наведено в табл..

6.7.

Сумарне встановлене навантаження ТВП:

$$S_{вст} = \sqrt{P_{вст}^2 + Q_{вст}^2} = \sqrt{16^2 + 0} = 16 \text{ кВА}$$

Розрахункова потужність ТВП:

$$S_p = K_c \cdot S_{вст} = 0,8 \cdot 16 = 12,8 \text{ кВА}$$

Таблиця 6.5. Результати розрахунку електричного навантаження ТВП

№ з/П	Споживачі	$P_{ном},$ кВт	$n,$ шт.	$P_{сум},$ кВт	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$	$P_{уст},$ кВт	$Q_{уст},$ квар
1	Підігрів комірок РП – 10 кВ	1	11	11	1	0	11	-
2	Освітлення, вентиляція приміщення РП	3	-	3	1	0	3	-
3	Навантаження, що споживають оперативні ланцюги	2	-	2	1	0	2	-
Всього							16	0

Обираємо 2 трансформатори власних потреб типу ТМ-25/10.

Технічні дані: ТМ-25/10: $S_{ном} = 25 \text{ кВА}$; $U_{ВН} = 10 \text{ кВ}$; $U_{НН} = 0,4 \text{ кВ}$.

РОЗДІЛ 7

ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ПІДПРИЄМСТВА

7.1 Запровадження інтегрованої системи моніторингу енергоспоживання та технологічних параметрів

На даному етапі підприємство активно впроваджує систему технічного обліку енергоресурсів для більшості своїх процесів. Однак, питання визначення показників ефективності енергоспоживання на рівні всього підприємства та окремих технологічних ліній залишається невирішеним.

Пропонується таке:

1. Здійснити автоматизований контроль показників енергоспоживання та виробництва продукції для оперативного контролю за:

- технологічними лініями;
- системами енергозабезпечення, такими як повітряні компресори, котельня з контролем окремих котлів, сварочне обладнання.

2. Розробити нормативи енергоспоживання з урахуванням модернізованого обладнання та проводити щоквартальний перегляд цих нормативів.

Моделі енергоспоживання:

- Обслуговування і виробництво броньованих автомобілів для перевезення та інкасації цінностей.
- Виробництво транспорту для спецслужб.
- Виробництво броньованих автомобілів представницького класу на базі позашляховиків та легкових автомобілів.
- Виробництво автомобілів екстреної медичної допомоги.
- Доопрацювання спецтранспорту за індивідуальними проєктами.
- Виробництво пересувних автолабораторій і автомайстерень.
- Сервісне обслуговування інкасаторських автомобілів на власному СТО.
- Ремонт та заміна броньованого скла і ходової системи на бронеавтомобілях.

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		47

Впровадження цих заходів передбачає:

- Підключення лічильників до єдиної автоматизованої системи моніторингу та розробку програмного забезпечення для аналізу даних.
- Розробку нормативів споживання енергоресурсів для окремих напрямків з урахуванням впливових параметрів, таких як обсяги виробництва, погодні умови та інше.
- Проведення навчання персоналу та призначення енергоменеджера.
- Впровадження системи мотивації для енергоощадного використання.

Внаслідок впровадження заходу очікується зменшення енергетичних витрат, пов'язаних з невідповідністю до оптимального рівня споживання електроенергії та газу. Витрати на реалізацію заходу, розбиті за напрямками, наведені у табл. 7.1.

Таблиця 7.1. Вартість реалізації заходу з розбивкою по напрямкам:

Напрямок	Капітальні затрати, грн	Щорічні витрати, грн
Підключення встановлених лічильників до єдиної автономної системи моніторингу енергоресурсів та розробка ПЗ для аналізу	450000	
розробка нормативів споживання енергоресурсів для окремих напрямків з врахуванням впливових параметрів (обсяги виробництва, погодні умови тощо);	110000	
проведення навчання персоналу та призначення на посаду енергоменеджера;		250000
запровадження системи мотивації енергоощадного викор.		200000
Загалом	560000	550000

Річне заощадження, що обчислюється як половина відхилень у споживанні газу та електроенергії від розрахункової лінії регресії, становить:

- Заощадження електроенергії: 303 тис. кВт-год, або 758 тис.грн.
- Чисте заощадження (в консервативному сценарії): 588 тис.грн на рік.
- Термін повернення коштів становить 1 рік і 2 місяці.

7.2 Запровадження сонячної електростанції на підприємстві

Враховуючи зростання тарифів, розумно розглянути можливість використання автономної генерації енергії, зокрема сонячної енергії. До основних аспектів роботи сонячної електростанції (СЕС) варто віднести такі фактори: місце розташування сонячних панелей, потужність системи, обсяг електроенергії, що споживається будинком, тип системи (наприклад, гібридна), тип інверторів і модулів.

Основними цілями встановлення сонячної електростанції є:

- Зменшення енергоспоживання з міської мережі шляхом використання енергії, що генерується сонячною електростанцією.
- Зменшення навантаження на трансформаторну підстанцію.
- Створення фундаменту для розширення комерційної сонячної електростанції з можливістю продажу електроенергії.
- Зменшення витрат на паливо під час роботи дизель-генератора.

Наразі спостерігається швидкий розвиток "сонячного енергетичного ринку", що супроводжується з'явленням нових конкурентоздатних компаній з привабливими цінами та гарантованою якістю. Отже, перш за все необхідно провести дослідження ринку сонячних панелей, де компанія "Піднебесна" вже кілька років поспіль займає провідні позиції за своєю конкурентоспроможною ціною та доступністю для придбання. При виборі панелей ми будемо звертати увагу на цей аспект. Схема підключення сонячної електростанції (СЕС) зображена на рисунку 7.1.

									Арк.
									49
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата					

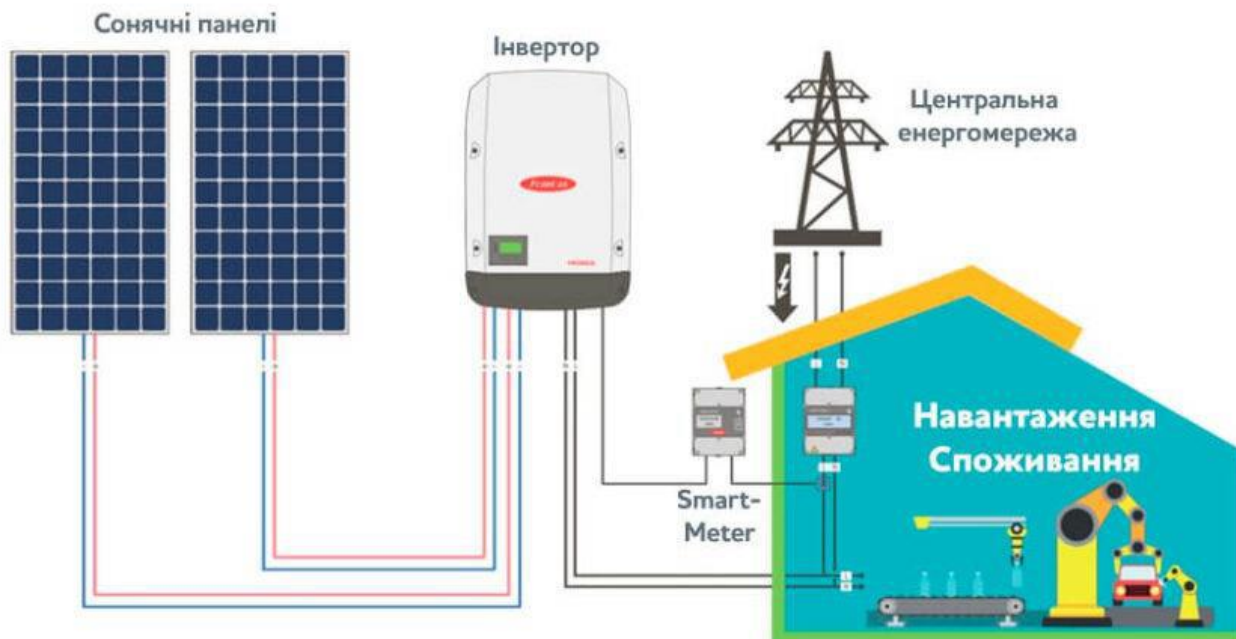


Рис 7.1. Схема під'єднання СЕС

7.2.1 Вихідні дані для проектування СЕС. Фотоелектрична станція, розташована в Київській області, є об'єктом, який призначений для виробництва електричної енергії з сонячного випромінювання.

Для проектування були використані наступні матеріали і документи:

Проведений енергетичний аудит, що дозволив оцінити можливості встановлення сонячних панелей на даху підприємства та визначити оптимальне рішення.

Планується створення сонячної електростанції (СЕС) з потужністю 50/47,6 (AC/DC) кВт, яка буде використовуватися для виробництва електричної енергії у промислових масштабах. Ця станція буде перетворювати сонячну енергію в екологічно чисту електричну енергію та постачати її до зовнішніх електричних мереж. Реалізація будівництва СЕС планується проводити в один етап, згідно з постановкою проекту.

Було проведено дослідження щодо встановлення 144 сонячних панелей на дахах двох цехів підприємства. На рисунку 7.2 наведено графічну схему розміщення цих панелей на дахах будівель.

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		50

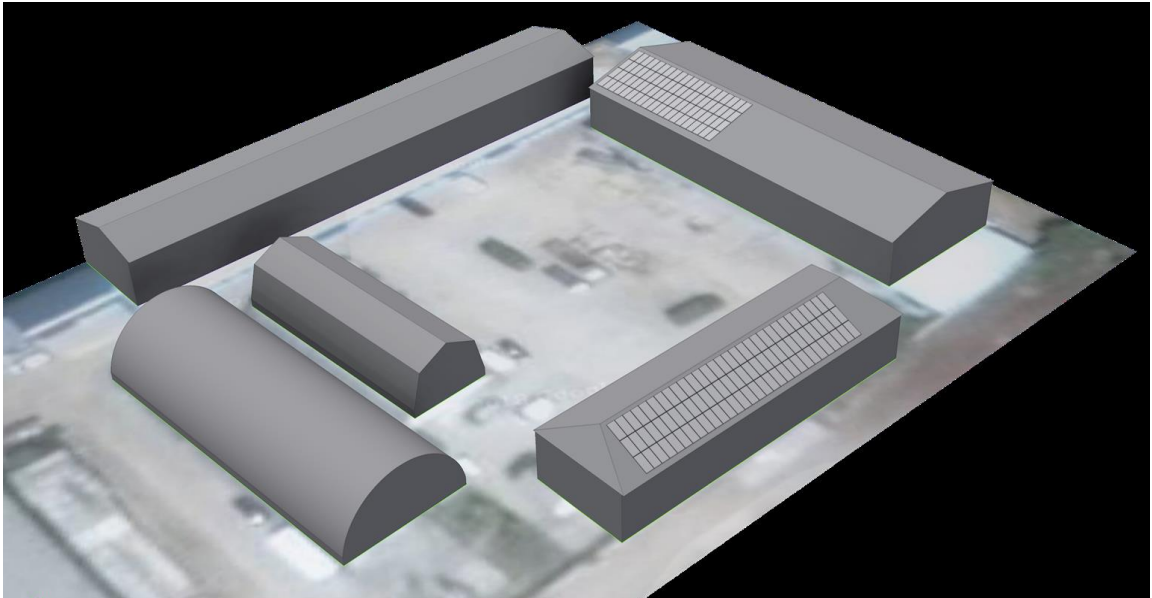


Рис. 7.2. Розміщення панелей на цехах підприємства

Проект передбачає наступні етапи:

- Встановлення двох інверторів потужністю 27 кВт кожний, які автоматично синхронізуються з фотоелектричною установкою. Ці інвертори відстежують параметри мережі та постачають електричну енергію до мережі ідентичними параметрами.

- Встановлення 144 фотогальванічних панелей кожна з яких потужністю 325 Вт кожна.

- Монтаж конструкцій для кріплення фотогальванічних панелей.

Фотоелектричні модулі (ФЕМ) кріпляться до змонтованих профілів за допомогою алюмінієвих притисків, які використовують ізолюючі прокладки. Притискні елементи ФЕМ виготовлені з алюмінієвого профілю і з'єднуються послідовно, утворюючи ряди, так звані стренги. Стренги підключаються до інверторів;

Для підключення сонячних панелей використовуються кабелі з мідними жилами та ПВХ-ізоляцією, спеціально розробленою для фотоелектричних систем. Матеріал ізоляції кабелю є безгалогеновим, стійким до ультрафіолетового випромінювання, високих температур і озону.

Розробка проекту ґрунтується на таких вихідних даних: технічний звіт, що містить результати обстеження та оцінку технічного стану будівельних конструкцій.

Клімат характеризується помірною м'якою зимою, яка часто супроводжується відлигами, та відносно теплим літом. Середня річна температура повітря становить +7,5 С. У січні середньомісячна температура коливається від -5 до -8 С, а в липні - від +18 до +20 С. Абсолютний мінімум становить від -37 до -40 С, а абсолютний максимум - від +37 до +40 С.

Вітрове навантаження складає 510 Па, а снігове навантаження становить 1220 Па.

Давайте розглянемо техніко-економічні показники об'єкту, які наведені в таблиці 7.2.

Таблиця 7.2. Техніко-економічні показники об'єкту

Найменування показників	Одиниця виміру	Кількість
Площа покрівлі, яку займає СЕС	М ²	720
Напруга електрообладнання	кВ	0,4
Встановлена потужність станції	кВт	50
Сумарна пікова потужність фотогальванічних панелей	Шт.	52
Кількість фотогальванічних панелей	Шт.	144
Кількість щитів розподільчих	Шт.	2
Кількість інверторів 27 кВт	Шт.	2
Власні потреби	кВт	660
Загальна кількість працюючих	Особа	2
Розрахункове річне вироблення електроенергії	МВт*год	51
Кількість змін	Зміна	1
Тривалість будівництва	Місяць	1

Схеми під'єднання панелей та підключення електростанцій до системи електропостачання зображені на рис. 7.3-7.4, також схема підключення лічильника до інвертора на рис. 7.5.

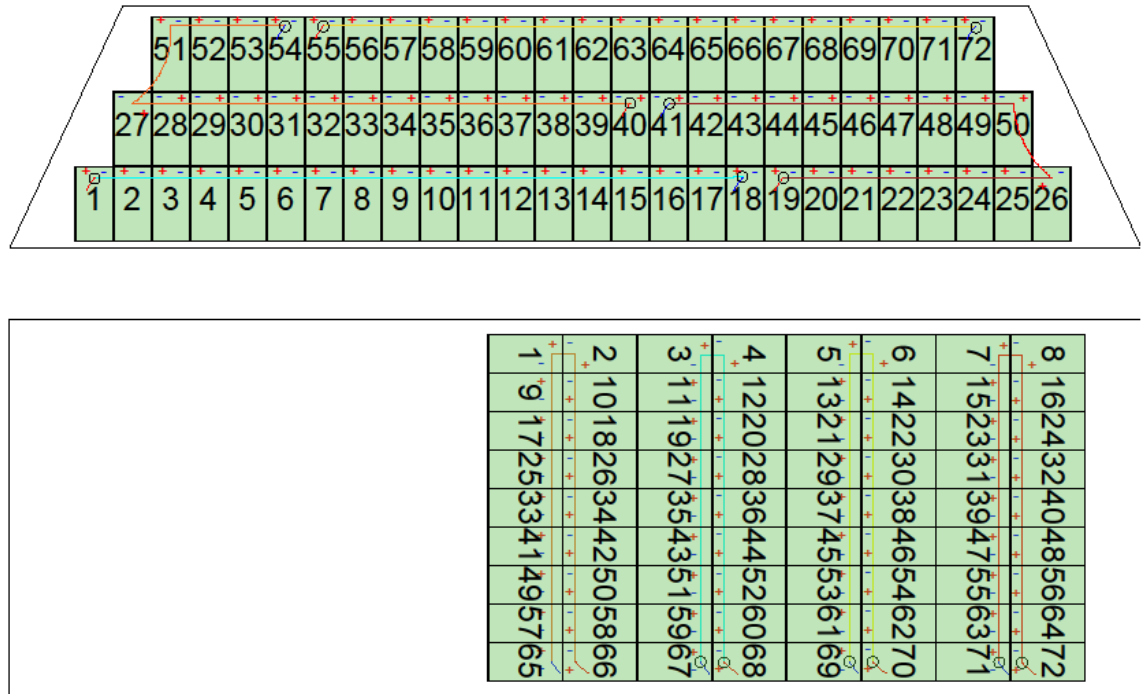


Рис. 7.3. Схема під'єднання сонячних панелей

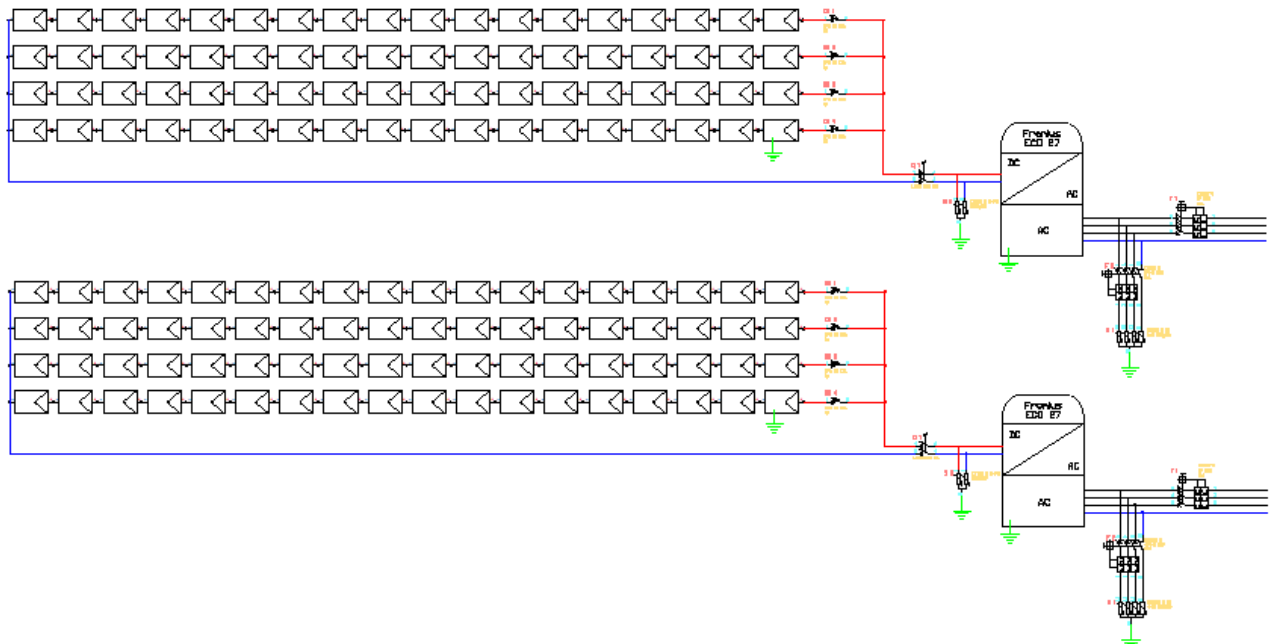


Рис. 7.4. Схема під'єднання СЕС до інвертора

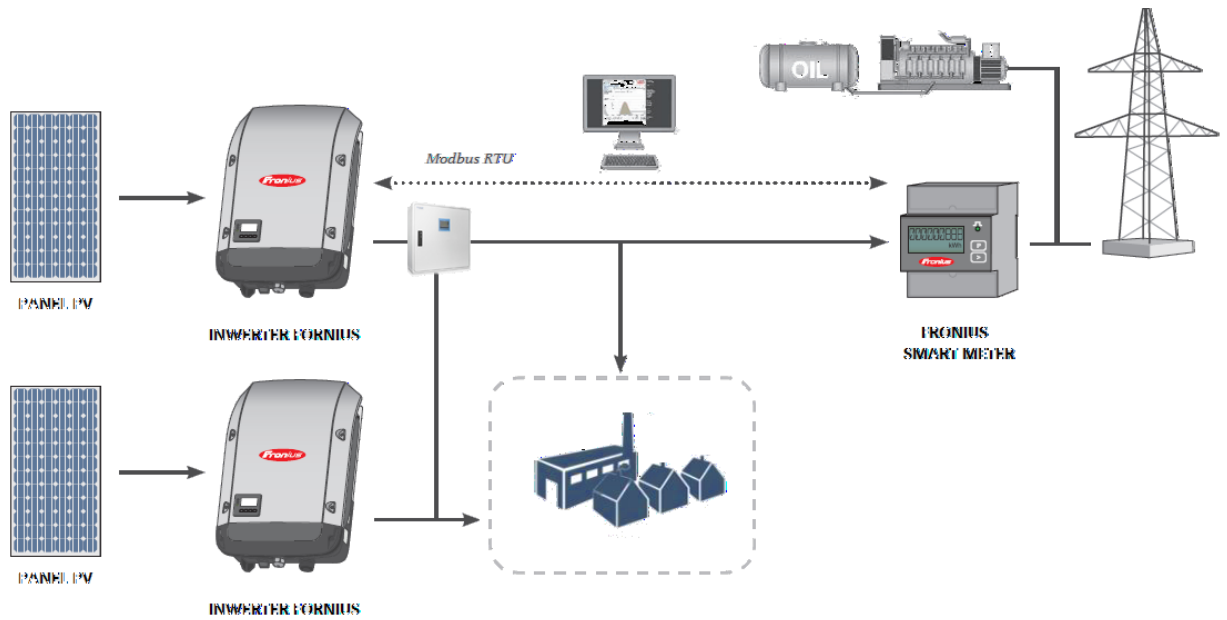


Рис 7.5. Схема під'єднання СЕС до системи

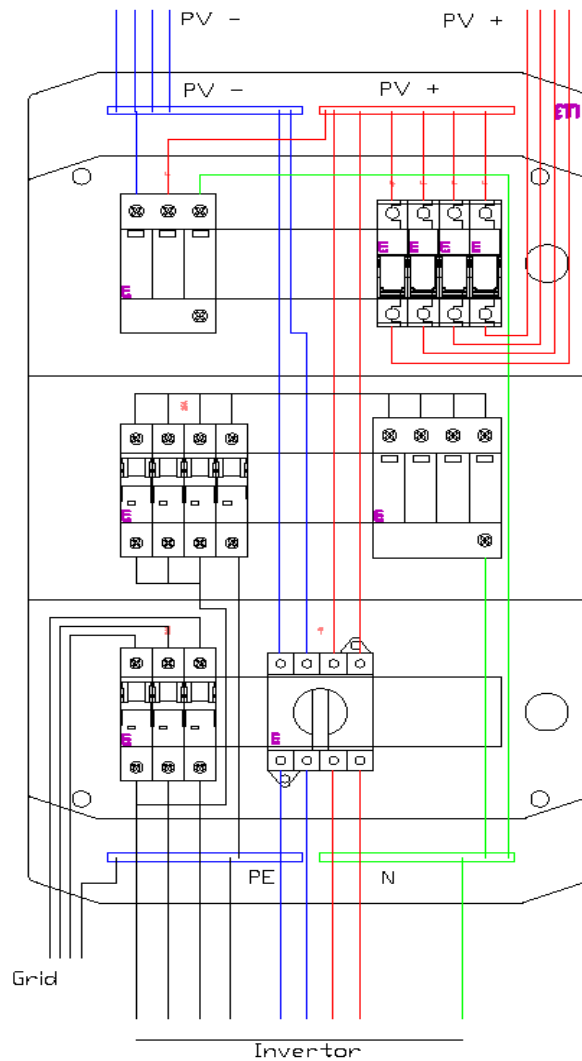


Рис. 7.6. Схема підключення лічильника до інвертора

Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

Арк.

Потужність генерації СЕС становить 600 кВт на рік зі змінним струмом. Коефіцієнт корисної дії складає 77,6%, що показує ефективність системи. Рентабельність активів становить 5,63%, а це означає, що проєкт є прибутковим. При використанні запропонованих інверторів Fronius ECO 27.0-3-S Q, очікується економія в розмірі 7800 гривень на рік.

7.2.2 Сонячна активність. Розглянемо сонячну активність та вплив на СЕС на рис.7.7 та 7.8.

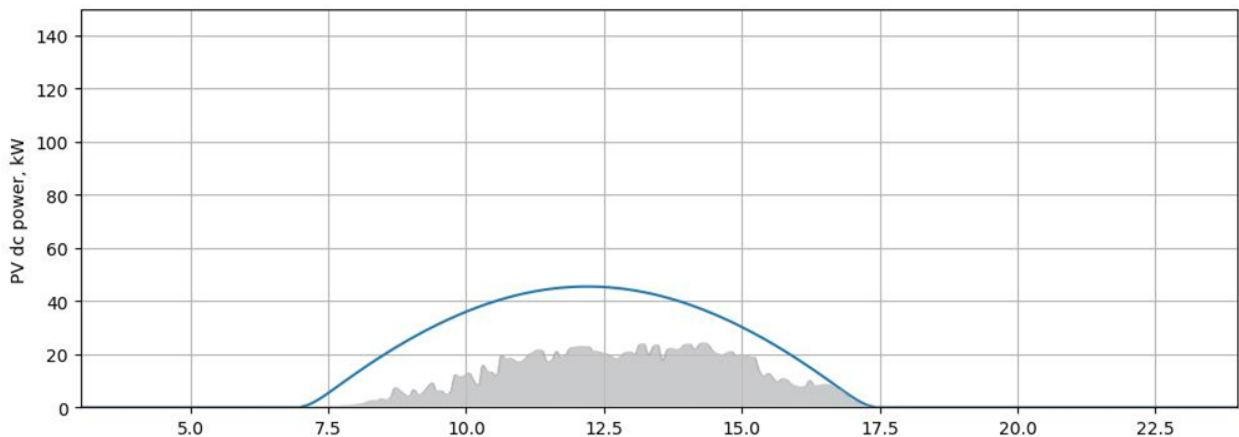


Рис. 7.7. Денне вироблення панелей поля панелей в ідеальний день

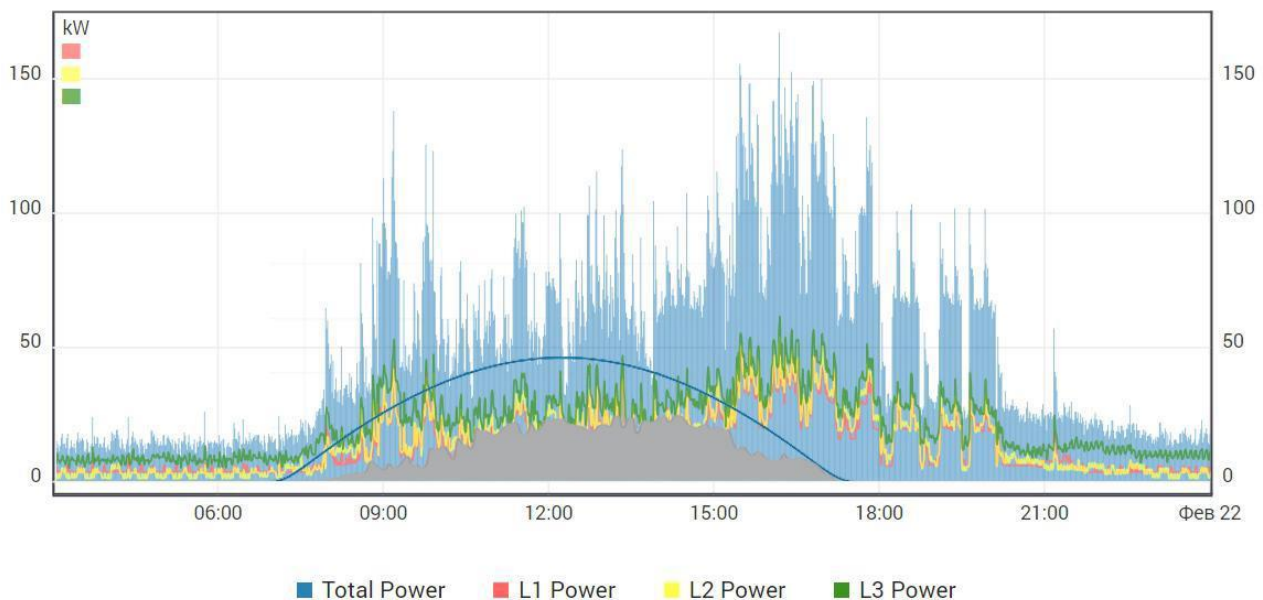


Рис. 7.8. Порівняння графіка споживання електроенергії з графіком сонячної активності

Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

Для СЕС потужністю 50кВт майже усю вироблену енергію, близько 99%, буде спожито навантаженням протягом міжсезоння та зимового періоду. У літній період, коли базове споживання (наприклад, опалення) зменшується, відсоток спожитої енергії може знизитись до рівня 80-90% під час пікової сонячної активності.

7.2.3. Підключення сонячної електростанції до системи енергозабезпечення підприємства. Точка приєднання СЕС знаходиться на контактних з'єднаннях лінійно-розподільчої електричної мережі (ЛЕП) замовника до розподільного устаткування (РУ) 0,4 кВ трансформаторної підстанції підприємства.

Фотоелектричні модулі з'єднані по 18 штук у стренги послідовно. Сформовані стренги приєднуються до інверторів. Інвертори групуються по 2 штук у РЩ.

Мережні інвертори автоматично синхронізують фотоелектричну установку зі стаціонарною мережею, забезпечуючи синхронізацію вихідної напруги та струму.

Синхронізація здійснюється за допомогою інверторних перетворювачів, які відстежують всі параметри мережі, такі як напруга, струм, частота та інші. Вони генерують електричну енергію, яка має ідентичні параметри зі стаціонарною мережею. Це дозволяє відповідати критеріям якості електричної енергії, які встановлені у стандарті ДСТУ EN 50160:2014.

Синхронізація фотоелектричної установки з мережею відбувається тільки в тому випадку, якщо напруга та частота фотоелектричної установки відповідають напрузі та частоті мережі. Якщо ці основні показники не відповідають встановленим вимогам, розподільча станція автоматично відключає фотоелектричну установку від мережі. Це забезпечує безпеку та недопущення передачі електричної енергії з фотоелектричної установки в нестабільну мережу.

У разі виникнення проблем у енергосистемі України, коли мережа відсутня, автоматика інверторів припиняє виробництво електроенергії. Після відновлення мережі, автоматика перевіряє всі параметри мережі та після успішної перевірки відновлює генерацію електроенергії.

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		56

Для відокремлення установки від мережі, як в ручному, так і автоматичному режимах, використовується система автоматичного захисту, яка включає інверторні перетворювачі та роз'єднувач для ручного керування. Захист від короткого замикання на лінії зв'язку та обладнання забезпечується за допомогою автоматичних вимикачів надструмового захисту (АВН).

Всі лічильники будуть інтегровані в систему автоматизованого обліку електроенергії (АСКОЕ). Розробка самої системи АСКОЕ виконується як окремий проєкт.

Для забезпечення високої якості сонячної електростанції було пропоновано використовувати таке обладнання:

Інвертор - це пристрій, який здатний перетворювати постійний струм, який отримав від сонячних батарей, на перемінний струм. На рисунку 7.9 можна спостерігати зовнішній вигляд обраного інвертора.



Рис. 7.9 – Зовнішній вигляд інвертора Fronius ECO 27.0-3-

Моніторинг споживання в реальному часі. Завдання:

- Отримати точні дані про споживання електроенергії протягом дня з частотою щохвилини.
- Аналізувати розподіл споживання електроенергії за фазами мережі.

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		57

Для цього проєкту був вибраний енергомонітор D103-300, основні характеристики якого наведені у таблиці 7.3, а зовнішній вигляд показано на рисунку 7.10.

Параметр	Значення
Вимірювання сили струму по одній лінії	Від 50 мА до 800 А
Внутрішній діаметр, струм/мм	300А/23мм; 600А/32мм
Вимірювання напруги	0-300 V
Потужність навантаження на керованому виході	До 50 W
Споживана потужність	<1,2 W
Бездротовий протокол зв'язку	2.4 ГГц/IEEE 802.11 (b, g, n)
Інтервал оновлення даних	5 сек
Інтервал збору даних	60 сек
Накопичення даних за відсутності зв'язку з сервером	10 діб
Встановлений робочий діапазон температури	-40 - +70 °C
Розміри ДхВхШ	90x67x52 мм
Вага	0,1 кг



Рис. 7.10. Енергомонітор

Сонячні панелі. На рис. 7.11 показано зовнішній вигляд обраних сонячних панелей.



Рис. 7.11. Сонячні панелі Longi Solar LR6-72-345M (TIER1)

Кожен інверторний перетворювач має максимальну потужність, яка не перевищує 27 кВт. У даному проєкті встановлено 2 інвертори, загальна встановлена потужність електростанції не перевищує 50 кВт. Ці інвертори мають конструктивний захист від перевантаження як в напрямку генерації, так і в напрямку споживання. У зв'язку з цим, встановлення ПЗР (пристрою захисту релейного типу) є недоцільним, оскільки може призвести до економічних втрат для обладнання в разі неправильної реакції на сигнали.

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		59

Розглянемо генерацію енергії за рік рис. 7.12 та рис. 7.13

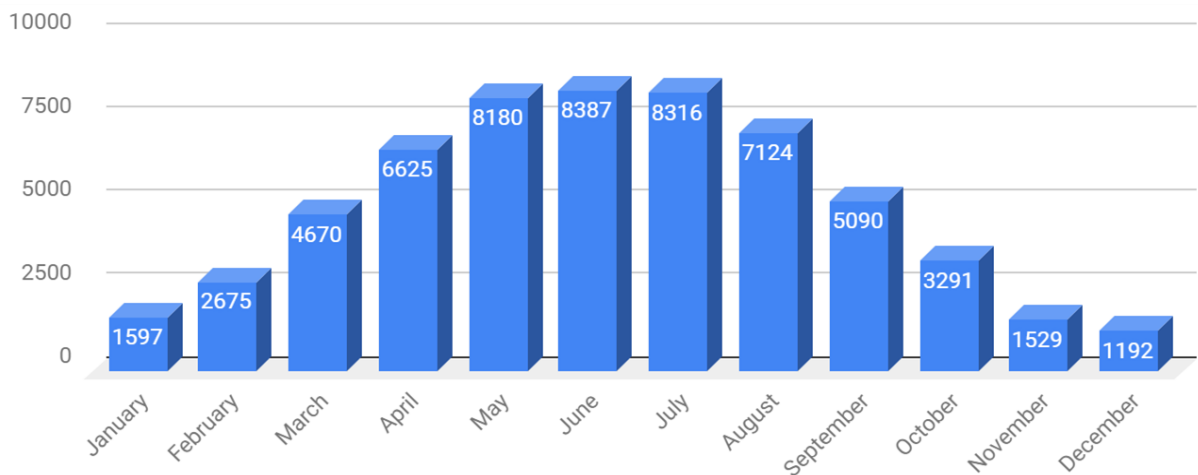


Рис. 7.12. Вироблення ЕСЕ у кВт·год по місяцях



Рис. 7.13. Вироблення ЕСЕ і споживання території 2 в кВт·год

Враховуючи понижувальний коефіцієнт для місяців з травня по серпень, загальна генерація за рік становитиме приблизно 54 МВт·год. Це дозволить зменшити енерговитрати на території-2 на 21%.

7.2.4 Розрахунок значення робочого струму при проєктних ЛЕП-0,4 кВ. У відповідності до електропостачальних схем, проводимо розрахунок для кабельних ліній р3 (АВВГ-1 (кму) 4x120 – 150 м) та р2 (АВВГ-1 (кму) 3x185+1x95 мм² – 148 м).

Вибір кабелю для КЛ-04, кВ здійснено з урахуванням умов прокладання.

Розрахункове номінальне (максимальне) значення струму розподільчого щита становить:

Розрахунковий номінальний струм споживання через лінію p2 складає
 $P_D = 132 \text{ кВт}$.

$$I_p = \frac{P_p}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos \varphi} = \frac{132}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,95} = 211,115 \text{ A}$$

Розрахунковий номінальний струм споживання через лінію р3 складає $P_d = 66$ кВт.

$$I_p = \frac{P_p}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi} = \frac{66}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,95} = 105,68 \text{ A}$$

Перевірка кабелю проводиться з урахуванням вимог (ПУЕ-2017).

За вимогами стійкості нагрівання струмами тривалого режиму роботи, кабель відповідає значенню $\max$ розрахункового струму $I_p=211,115(A)$ для р2 типу АВВГ-1 (кму) зі секцією $3 \times 185 + 1 \times 95 \text{ мм}^2$, та значенню тривало допустимого струму $I_{\text{тд}}=312 \text{ А}$. У випадку р3 типу АВВГ-1 (кму) зі секцією $4 \times 120 \text{ мм}^2$, при прокладанні в ґрунті, значення тривало допустимого струму $I_{\text{тд}}=226 \text{ А}$ перевищує розрахункове значення, як вказано в технічних характеристиках виробника підприємства.

Розрахункове значення втрат напруги в кабельній лінії під час роботи в тривалому режимі становить:

$$\Delta U = I_H (\sqrt{(X_{j2} + R_{j2})}) = 4,97 \text{ B}$$

$$\Delta U\% = 100 \left[1 - \frac{E - \Delta U}{U_\phi} \right] = 2,28\% < 5\%$$

$$R_z = R_{0z} \cdot L1 = 0,02336 \text{ O}_M$$

$$X_{л} = X_{0л} \cdot L1 = 0,0086 \text{ Ом}$$

де L1 – довжина кабелю р2 з урахуванням додаткових відстаней;

$R_{0л}=0,16 \text{ Ом/км}$ - опір кабелю на один кілометр з алюмінієвими жилами перерізом 120 мм²;

$X_{0л}=0,059 \text{ Ом/км}$ - індуктивний опір кабелю на один кілометр з алюмінієвими жилами перерізом 120 мм²;

$E_{ф}=230 \text{ В}$ - напруга на шинах розподільного устаткування (РУ) зі значенням 0,4 кВ трансформаторної підстанції (ТП);

$U_{ф}=220 \text{ В}$ - напруга на вводі абонента згідно з ГОСТ 13109-97.

$$\Delta U = I_{н}(\sqrt{(X_{л2} + R_{л2})}) = 3,3 \text{ В}$$

$$\Delta U \% = 105,68 \left[1 - \frac{E - \Delta U}{U_{ф}} \right] = 3,045 \% < 5 \%$$

$$R_{л} = R_{0л} \cdot L1 = 0,03 \text{ Ом}$$

$$X_{л} = X_{0л} \cdot L1 = 0,00885 \text{ Ом}$$

де L1 - довжина кабелю р3 з урахуванням додаткових відстаней;

$R_{0л}=0,2 \text{ Ом/км}$ - опір кабелю на один кілометр з алюмінієвими жилами перерізом 120 мм²;

$X_{0л}=0,059 \text{ Ом/км}$ - індуктивний опір кабелю на один кілометр з алюмінієвими жилами перерізом 120 мм²;

$E_{ф}=230 \text{ В}$ - напруга на шинах розподільного устаткування (РУ) зі значенням 0,4 кВ трансформаторної підстанції (ТП);

$U_{ф}=220 \text{ В}$ - напруга на вводі абонента згідно з ГОСТ 13109-97.

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		62

7.2.5 Вибір установок автоматичних вимикачів. Величину приєднаного навантаження розраховано для:

$$Q2 - P_{p2} = 132 \text{ кВ}$$

$$Q3 - P_{p3} = 66 \text{ кВ}$$

Розрахунковий струм, який пройде через ввідний вимикач, встановлений у РУ-0,4 кВ, становить:

$$I_{p2} = \frac{P_{p2}}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi} = 211,115 \text{ А}$$

$$250 \text{ А} \geq 211,115 \text{ А}$$

Для виходу зі струму встановлюємо автоматичний вимикач з тепловим розчеплювачем, який має значення $I_{tr}=250 \text{ А}$.

$$I_{p2} = \frac{P_{p2}}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi} = 105,68 \text{ А}$$

$$125 \text{ А} \geq 105,68 \text{ А}$$

Для виходу зі струму встановлюємо автоматичний вимикач з тепловим розчеплювачем, який має значення $I_{tr}=125 \text{ А}$.

7.2.6 Рішення по обліку електроенергії. Проєкт організації розрахункового обліку електроенергії розробляється відповідно до вимог Правил улаштування електроустановок (ПУЕ), Кодексу комерційного обліку електричної енергії та Технічних рекомендацій на впровадження системи АСКОЕ.

Проєктом передбачається створення вузлів балансуєчого та розрахункового обліку електроенергії з використанням системи АСКОЕ на межі балансового розмежування електромереж. Конкретно, це включає:

1. Точку обліку №1 (0,4 кВ) - загальний облік електроенергії на рівні РУ-0,4 кВ та ТП, яка відповідає за розрахунковий облік приєднань (3 лінії) СЕС потужністю 50 кВт.

									Арк.
									63
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата					

2. Точку обліку №2 (0,4 кВ) - загальний облік електроенергії на рівні РУ-0,4 кВ та ТП, яка відповідає за технічний облік приєднань (3 лінії) СЕС потужністю 50 кВт.

3. Точку обліку №3 (0,4 кВ) - загальний облік електроенергії на рівні РУ-0,4 кВ, яка служить точкою обліку електроенергії для власних потреб.

Усі ці точки обліку будуть введені в систему АСКОЕ для забезпечення ефективного контролю та обліку електроенергії.

У РУ-0,4 кВ ТП був встановлений лічильник електроенергії моделі SL 7000.

Виконується перевірка розрахункової точки обліку №1, з метою переконання в його відповідності вимогам ПУЕ-1.5 щодо: кратності коефіцієнта трансформації ТС.

Коефіцієнт розрахункової кратності струму вузла обліку до робочого завантаження.

$$I_{p1} / I_{TC} = 557,75 / 600 = 0,93(93\% > 20\%)$$

Значення робочого струму вузла обліку (I_{p1}) відповідає робочому струму електростанції при потужності ($P_p = 330$ кВт) та граничному значенню регульованого коефіцієнта потужності $\cos\varphi = +0,98$:

$$I_p = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos\varphi} = \frac{330}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,9} = 557,75 \text{ А}$$

Коефіцієнт розрахункової кратності струму вузла обліку до робочого завантаження при експлуатаційному коефіцієнті потужності:

$$I_p / I_{TC} = 512,22 / 600 = 0,854(85,4\% > 20\%)$$

Значення мінімального робочого струму вузла обліку ($I_{\min}$) відповідає робочому струму електростанції при потужності ($P_p = 330$ кВт) та

									Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата					64

експлуатаційному значенню регульованого коефіцієнта потужності ($\cos\varphi = +0,9 \dots -0,9$).

$$I_{pe} = \frac{P_1}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos\varphi} = \frac{330}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,98} = 512,22 \text{ А}$$

Коефіцієнт розрахункової кратності струму вузла обліку до мінімального робочого завантаження:

$$I_{min} / I_{TC} = 102,44 / 600 = 0,1707 (1,707\% > 1\%)$$

Значення мінімального робочого струму вузла обліку (I_{min}) відповідає робочому струму інвертора при потужності ($P_p = 66 \text{ кВт}$):

$$I_p = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos\varphi} = \frac{66}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,98} = 102,44 \text{ А}$$

Вимоги ПУЕ щодо необхідної кратності струмів виконуються.

Перевірка трансформаторів струму точки №1 включає:

- перевірку завантаження вторинної обмотки трансформаторів струму, що забезпечується шляхом перевірки значення z_2 , яке повинно бути менше або дорівнювати $z_{2ном}$.

Значення $z_2 = 0,0808 \text{ Ом}$, що менше за розрахункове зведене значення опору вимірювального кола вторинної обмотки трансформатора, яке становить $0,4 \text{ Ом}$.

Розрахунок трансформатора струму точки №1, приведено у табл. 7.4

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		65

Таблиця 7.4. Розрахунок трансформатора струму точки обліку №1

Назва елементу	Опір елемента вимірювального кола, Ом		
	Фаза А	Фаза В	Фаза С
Лічильник EPQS 122.23.17TLL	0,0006	0,0006	0,0006
Опір кіл	0,0302	0,0302	0,0302
Опір перехідних контактних з'єднань	0,05	0,05	0,05
Разом, z_2 , Ом	0,0808	0,0808	0,0808

Згідно паспортних значень, номінальний опір вторинної обмотки вимірювального трансформатора струму становить 0,4 Ом при потужності 10 ВА.

Трансформатори струму підключені за трьохелементною вимірювальною схемою в фазах А, В та С. Вторинна обмотка вимірювального трансформатора має наступні технічні характеристики:

- Встановлений лічильник електроенергії - SL 7000.
- Проводи, що з'єднують облікові трансформатори струму з РУ-0,4 кВ ТП, прокладені кабелем з мідними жилами, з перерізом жил 2,5 кв.мм. Розрахункова довжина одного кола складає 4,5 метри.
- Споживана потужність лічильника не перевищує 4 Вт у трифазній мережі.
- Опір кожного послідовного кола становить 0,0302 Ом.

7.2.7. Рішення щодо пристроїв компенсації реактивної потужності. При використанні комплектних перетворюючих пристроїв (інверторів) у сонячній електростанції не потрібно встановлювати додаткові пристрої компенсації реактивної потужності. Ці інвертори можуть видавати потужність з програмованим коефіцієнтом потужності, який може бути встановлений в діапазоні від -0,9 до +0,9 під час програмування. Підтримка встановленого коефіцієнта потужності здійснюється автоматично.

В проєкті рекомендується встановлювати коефіцієнт потужності 0,98 для всіх інверторів, зокрема на етапі пусконаладження.

					Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	
					66

7.2.8. Техніко-економічне обґрунтування впровадження СЕС. Вихідні

дані:

- Планова ціна за 1 кВт·год електроенергії, що виробляється на сонячній електростанції (СЕС);
- Тариф за 1 кВт·год електроенергії, який отримується зовні;
- Кількість персоналу, який обслуговує СЕС, за посадами;
- Плановані середньомісячні заробітки обслуговуючого персоналу за посадами;
- Приблизний термін ефективної експлуатації модулів СЕС;
- Плановий середньорічний обсяг виробленої електроенергії на СЕС;
- Джерело фінансування будівництва сонячної електростанції;
- Щорічні витрати на експлуатацію.

Загальна сума капітальних вкладень на будівництво сонячної електростанції (СЕС) визначена згідно зі зведеним кошторисним розрахунком вартості і становить 6 637,834 тис. грн. З цієї суми 2 588,755 тис. грн. припадають на будівельно-монтажні роботи.

Повернення коштів можна побачити на рис. 7.14 та рис. 7.15

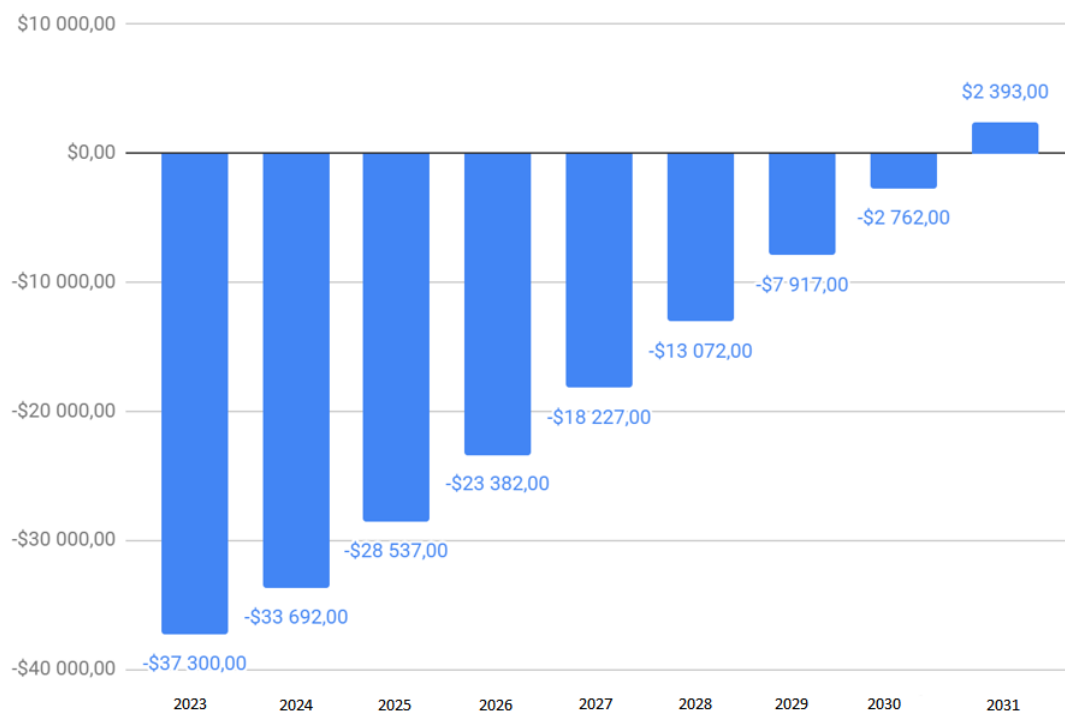


Рис. 7.14. Термін окупності СЕС

Вартість системи становить 37 300 доларів США. Вартість електроенергії складає 2,56 гривень за кіловат-годину і залишається незмінною. Щорічно система виробляє 54,3 мегават-години електроенергії. Термін окупності становить 8 років.

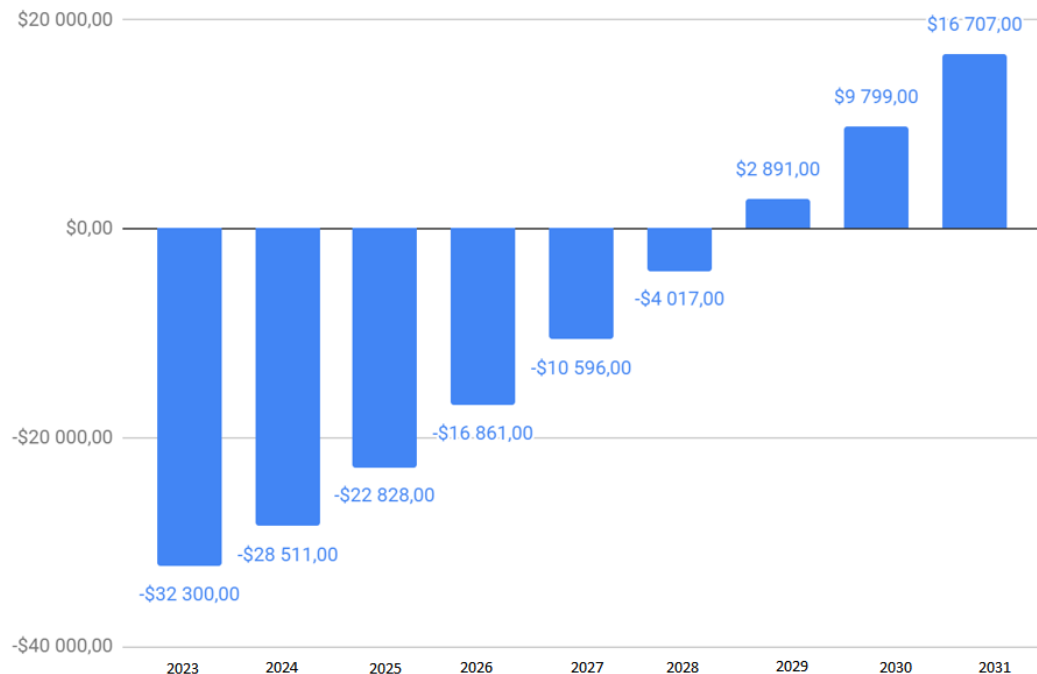


Рис. 7.15. Термін окупності СЕС

Вартість системи становить 37 300 доларів США. 80% обладнання можна придбати з ПДВ, що складає приблизно 5000 доларів США. Після виключення ПДВ, підсумкова ціна системи становить 32 300 доларів США. Вартість електроенергії становить 2,56 гривень за кіловат-годину на 2021 рік, а коефіцієнт подорожчання становить +5% на рік до рівня 0,13 долара за кіловат-годину. Щорічно система виробляє 54,3 мегават-години електроенергії. Термін окупності становить 5,5 років.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі була проведена розробка електротехнічної системи електроспоживання комбінату хлібопродуктів. Розрахунок силових та світлових електричних навантажень був виконаний за допомогою модифікованого методу упорядкованих діаграм, використовуючи метод коефіцієнта розрахункової потужності. При визначенні освітлювальних навантажень був застосований метод питомої потужності.

Порівняння схем зовнішнього електропостачання показало, що передача електроенергії повітряними лініями 35 кВ від підстанції є найбільш доцільним варіантом, ніж використання кабельних ліній напругою 10 кВ.

Було також проведено розрахунок балансу реактивної потужності, на основі якого визначено необхідну кількість та потужність компенсуючих пристроїв для напруги 10 кВ та 0,4 кВ.

Розрахунок струмів коротких замикань дозволив вибрати високовольтне обладнання, таке як вимикачі та роз'єднувачі, а також кабельні лінії для внутрішньозаводської мережі 10 кВ.

Окремий розділ випускної кваліфікаційної роботи був присвячений розробці системи електрозбереження підприємства, з особливим акцентом на модернізацію систем освітлення адміністративно-побутових приміщень, виробничих приміщень та системи зовнішнього освітлення.

У загальному, розроблена система електропостачання відповідає вимогам економічності, гнучкості та надійності, що ставляться до такого типу систем.

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		69

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Електротехнічні системи електроспоживання : [навч. посіб.] / П. Г. Плешков, В. В. Зінзура, Н. Ю. Гарасьова [та ін.] ; за заг. ред. П. Г. Плешкова. - Кропивницький : ЦНТУ, 2021. – 208 с.

2. Методичні вказівки до виконання курсового проекту (електропостачання заводу) для студентів 4-5 курсів спеціальності 8.090603 ”Електротехнічні системи електроспоживання” усіх форм навчання / Укл.: П.Г. Плешков, А.Г. Котиш, А.Ю. Орлович. – Кіровоград:КДТУ, 2004. – 133.с.

3. Правила улаштування електроустановок / Міненерговугілля України. – Київ : 2017. – 617 с.

4. Електропостачання: підручник / П. О. Васи́лга. – Суми : Сумський державний університет, 2019. – 521 с.

5. Надійність електроенергетичних систем і електричних мереж: підручник / А. В. Журахівський, С. В. Казанський, Ю. П. Матеєнко, О. Р. Пастух. – Київ.: КПІ ім.. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2017. – 456 с.

6. Рудницький В. Г. Внутрішньоцехове електропостачання. Курсове проектування : навчальний посібник / В. Г. Рудницький. – Суми : Університетська книга, 2007. – 280 с.

7. Перехідні процеси в системах електропостачання / Г. Г. Півняк, В. Н. Винославський, А. Я. Рибалко, Л. І. Несен та ін. – Дніпропетровськ : Вид-во НГА України, 2000. – 378 с.

8. Рудницький В. Г. Внутрішньозаводське електропостачання. Курсове проектування : навчальний посібник / В. Г. Рудницький. – Суми : Університетська книга, 2006. –153 с.

									Арк.
									70
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата					