

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 ПЛЄШКОВ

“ ____ ” _____ 2023 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ

ВИЩОЇ ОСВІТИ

на тему:

«Проектування системи електропостачання підприємства з виробництва м'ясовмісної продукції»

Виконав здобувач вищої освіти

IV курсу, групи ЕЕ-20-ЗСК,

ОПП «Електроенергетика,

електротехніка та електромеханіка»

спеціальності 141 «Електроенергетика,

електротехніка та електромеханіка»

_____ Стівен НГЕП

« ____ » _____ 2023 р.

Керівник роботи

доцент, канд. техн. наук

_____ Валентин СОЛДАТЕНКО

« ____ » _____ 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

Нгені Стівена Леонардовича

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи Проектування системи електропостачання підприємства з виробництва м'ясовмісної продукції

Design of the power supply system of the enterprise for the production of meat-containing products

2. Керівник роботи Солдатенко Валентин Петрович, канд. техн. наук, доцент
(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 розробка системи електропостачання підприємства з виробництва м'ясовмісної продукції. 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. Здійснити розрахунок спеціального розділу кваліфікаційної 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
<i>1</i>	<i>Розрахунок електричних навантажень</i>	<i>8.05.2023</i>	
<i>2</i>	<i>Картограма електричних навантажень</i>	<i>13.05.2023</i>	
<i>3</i>	<i>Техніко-економічне обґрунтування вибору схем електропостачання</i>	<i>15.05.2023</i>	
<i>4</i>	<i>Режими реактивної потужності системи електропостачання</i>	<i>17.05.2023</i>	
<i>5</i>	<i>Вибір кількості та потужності трансформаторів підприємства</i>	<i>19.05.2023</i>	
<i>6</i>	<i>Розрахунок струмів коротких замкнень та вибір високовольтного обладнання.</i>	<i>20.05.2023</i>	
<i>7</i>	<i>Спеціальний розділ</i>	<i>24.05.2023</i>	
<i>8</i>	<i>Оформлення пояснювальної записки роботи</i>	<i>25.05.2023</i>	
<i>9</i>	<i>Оформлення презентаційної частини роботи</i>	<i>31.05.2023</i>	

Дата видачі завдання
«___» _____ 2023 р.

Підпис керівника _____

Валентин СОЛДАТЕНКО

Завдання прийнято до виконання
«___» _____ 2023 р.

Підпис здобувача _____

Стівен НГЕПІ

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: 72 с.; 29 рис.; 29 табл.; 7 джерел

Нгепі С. Л. Проектування системи електропостачання підприємства з виробництва м'ясовмісної продукції. – 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 проблемі проектування сучасної системи електропостачання підприємства з виробництва м'ясовмісної продукції. В роботі вирішені питання визначення силових і освітлювальних електричних навантажень, дослідження режимів реактивної потужності, розрахунку струмів коротких замикання, раціонального обрання електричних схем зовнішнього і внутрішнього електропостачання, обрання високовольтного електричного обладнання для системи електропостачання підприємства.

Спеціальний розділ бакалаврської роботи було присвячено питанню комп'ютерного імітаційного моделювання гібридної системи електропостачання підприємства. Були розроблені комп'ютерні імітаційні моделі гібридної системи електропостачання підприємства з фотоелектричною станцією в складі. Виконаний аналіз режимних параметрів роботи гібридної системи електропостачання в залежності від місця установки фотоелектричної станції.

Ключові слова: споживачі електричної енергії, навантаження електричне, картограма електричних навантажень, електропостачання, гібридна система електропостачання, комп'ютерне імітаційне моделювання

ABSTRACT

Qualification work: 72 p.; 28 Fig.; 29 tables; 7 sources

Nhepi S. L. Design of the power supply system of the enterprise for the production of meat-containing products. – 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's work is devoted to the problem of designing a modern power supply system of an enterprise for the production of meat-containing products. The work deals with the determination of power and lighting electrical loads, the study of reactive power modes, the calculation of short-circuit currents, the rational selection of electrical circuits for external and internal power supply, the selection of high-voltage electrical equipment for the enterprise's power supply system.

A special section of the bachelor thesis was devoted to the issue of computer simulation modeling of the enterprise's hybrid power supply system. Computer simulation models of the hybrid power supply system of the enterprise with a photovoltaic plant in the warehouse were developed. An analysis of the operation parameters of the hybrid power supply system was performed depending on the location of the photovoltaic station.

Keywords: consumers of electric energy, electric load, cartogram of electric loads, power supply, hybrid power supply system, computer simulation modeling

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ	9
1.1 Розрахунок силових навантажень в мережі до 1 кВ	9
1.2 Розрахунок електричних освітлювальних навантажень	10
1.3 Розрахунок електричних навантажень в мережі напругою вище 1 кВ	11
1.4 Графіки електричних навантажень	16
РОЗДІЛ 2. КАРТОГРАМА ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ	21
РОЗДІЛ 3. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ СХЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ	23
3.1 Вибір схеми зовнішнього електропостачання	23
3.2 Вибір схеми внутрішнього електропостачання	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	36
РОЗДІЛ 6. РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКИХ ЗАМКНЕНЬ ТА ВИБІР ВИСОКОВОЛЬТНОГО ОБЛАДНАННЯ	38
6.1 Розрахунок струмів коротких замкнень	38
6.2 Вибір кабельних ліній напругою 10 кВ	47
6.3 Вибір електричних апаратів високої напруги	50
6.4 Вибір потужності та схем живлення трансформаторів власних потреб	51
6.5 Вибір трансформаторів струму і напруги	53
РОЗДІЛ 7. КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ГІБРИДНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВА	56
7.1 Застосування гібридних систем електропостачання промислових підприємств	56
7.2 Вибір обладнання фотоелектричної станції.....	57
7.3 Комп'ютерні імітаційні моделі гібридної системи електропостачання з фотоелектричною станцією	59
7.4 Комп'ютерне імітаційне моделювання роботи гібридної системи електропостачання з фотоелектричною станцією	63
ВИСНОВКИ	71
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	72

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Нзепі С.Л.			Проектування системи електропостачання підприємства з виробництва м'ясовмісної продукції Design of the power supply system of the enterprise for the production of meat- containing products	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перев.		Солдатенко В.П.					6	72
						ЦНТУ зр. ЕЕ-20-3СК		
Н. контр.		Солдатенко В.П.						
Затвер.		Плешков П.Г.						

ВСТУП

Кваліфікаційна робота присвячена вирішенню питання проектування системи електропостачання підприємства з виробництва м'ясовмісної продукції.

Підприємство з виробництва м'ясовмісної продукції «Meat treats» є динамічним та інноваційним підприємством, що пропонує широку номенклатуру продукції від м'ясних виробів вищого гатунку до доступних широким верствам споживачів готових м'ясовмісних продуктів для харчування людей, тварин, сировини для постачання підприємствам з виготовлення напівфабрикатів, продукції з додаванням м'яса, кормів для тварин тощо.

Стадії виробництва м'ясовмісної продукції включають наступні етапи:

- приймання та перевірка сировини: на цьому етапі проводиться приймання свіжої м'ясної сировини та перевірка її якості; підприємство співпрацює з надійними постачальниками, щоб гарантувати якість використовуваної сировини;

- підготовка сировини: м'ясна сировина піддається обробці, такій як механічне розділення та видалення непотрібних складових (шкіра, хрящі, кістки) подрібнення або перемелювання, видалення та додавання необхідних харчових інгредієнтів, таких як спеції, сіль, консерванти тощо;

- формування та фасування: оброблена сировина перетворюється на вироби шляхом формування у відповідні форми, наприклад, ковбаси, котлети, шашлики або ж залишається у вигляді фаршу для виготовлення напівфабрикатів та прямої реалізації фаршу з подальшим фасуванням в упаковку відповідно до вимог безпеки та збереження харчової продукції;

- термічна обробка: даний етап включає готування до споживання виробів, зокрема копчення, випікання, варіння, або інші методи термічної обробки продукції залежно від виду виробу;

- охолодження або заморозка: виготовлена продукція відправляється до холодильних або морозильних камер з підтриманням заданого температурного режиму в залежності від типу виготовленої продукції для зберігання до моменту реалізації.

									Арк.
									7
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата					

Метою кваліфікаційної роботи є розробка системи електропостачання підприємства з виробництва м'ясовмісної продукції.

Для досягнення мети роботи потрібно вирішити такі завдання:

1. Здійснити розрахунок електричних навантажень.
2. Здійснити розрахунок картограми електричних навантажень.
3. Провести розрахунок з техніко-економічного обґрунтування схем електропостачання підприємства.
4. Здійснити розрахунок режимів реактивної потужності системи електропостачання.
5. Провести вибір кількості та потужності силових трансформаторів підприємства.
6. Провести розрахунок струмів к.з. та вибір високовольтного обладнання для системи електропостачання.
7. Здійснити розрахунок спеціального розділу кваліфікаційної роботи.

Під час проведення розрахунку враховуються такі фактори, як потужність приймачів, їх розміщення та доступні варіанти схем зовнішнього живлення підприємства. Ці критерії мають визначальний вплив на наступні етапи розрахунку, спрямовуючи його в потрібному напрямку.

						Арк.
						8
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1

РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Цей розділ кваліфікаційної роботи присвячений темі розрахунку електричних навантажень для промислових підприємств. Основними етапами цього розрахунку є визначення силових навантажень в мережі до 1000 В, розрахунок освітлювальних електричних навантажень та визначення силових електричних в мережі напругою вище 1000 В.

1.1 Розрахунок силових навантажень в мережі до 1 кВ

Для визначення силових електричних навантажень в мережі з напругою до 1 кВ, застосовується метод коефіцієнта розрахункової потужності [1].

Виконаємо розрахунок електричних навантажень для пакувальної ділянки.

Коефіцієнт m :

$$m = \frac{P_{н. \max}}{P_{н. \min}} = \frac{30}{10} = 3$$

Середнє навантаження:

$$P_{зм} = P_{\text{сум}} K_B = 280 \cdot 0,4 = 112 \text{ кВт}$$

$$Q_{зм} = P_{зм} \operatorname{tg} \varphi = 112 \cdot 0,75 = 98,77 \text{ кВар}$$

Ефективне число електроприйм.:

$$n_{\text{еф}} = \frac{2 \sum P_H}{P_{н. \max}} = \frac{2 \cdot 280}{30} = 18,6$$

Коефіцієнт K_p береться з [1]: $K_p = 1,38$.

Розрахункове активне і реактивне навантаження:

$$P_p = P_{зм} K_p = 112 \cdot 1,38 = 154,41 \text{ кВт},$$

$$Q_p = Q_{зм} = 98,77 \text{ кВар},$$

						Арк.
						9
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

У таблиці 1.1 наведено розрахунок силових навантажень підприємства.

Таблиця 1.1. Результати розрахунку силових електричних навантажень до 1000 В

№	Назва групи споживачів	К-сть ЕС	P одн, кВт		$P_{\text{сум}}$, кВт	m	$K_{\text{в}}$	$\cos\varphi$	$\text{tg}\varphi$	Серед. навантаж.		$n_{\text{эф}}$	$K_{\text{м}}$	Розрах. навантаження		
			min	max						$P_{\text{зм}}$, кВт	$Q_{\text{зм}}$, квар			$P_{\text{р}}$, кВт	$Q_{\text{р}}$, квар	$S_{\text{р}}$, кВА
1	Пакувальна дільниця	15	10	30	280	3	0,4	0,75	0,9	112	98,77	15	1,4	154,4	98,77	183,3
2	Склад сировини	11	10	50	250	5	0,4	0,75	0,9	100	88,19	10	1,5	148,3	97,01	177,19
3	Холодильна установка №1	68	20	50	2190	2,5	0,8	0,8	0,8	1643	1232	68	1,1	1726	1232	2120,7
4	Конденсаторна	16	5	40	300	8	0,7	0,8	0,8	210	157,5	15	1,2	243,2	157,5	289,71
5	Ковбасний цех	35	20	150	1820	7,5	0,7	0,85	0,6	1274	789,6	24	1,1	1427	789,6	1631
6	Цех первинної переробки	40	50	150	1790	3	0,8	0,95	0,3	1432	470,7	40	1	1432	470,7	1507,4
7	Цех технічного фабрикату	30	15	80	920	5,3	0,3	0,65	1,2	230	268,9	23	1,4	330,5	268,9	426,03
8	Цех сироватки	20	10	100	1253	10	0,7	0,7	1	877	894,8	20	1,1	994,2	894,8	1337,6
9	Холодильна установка №2	15	25	80	690	3,2	0,7	0,75	0,9	449	395,5	15	1,2	534,7	395,5	665,12
10	Тепловий цех	20	20	100	1200	5	0,5	0,8	0,8	600	450	20	1,3	750,3	450	874,88
11	Лабораторія	14	5	25	76	5	0,7	0,8	0,8	53,2	39,9	6	1,3	68	43,89	80,93
12	Холодильна установка №3	10	5	150	800	30	0,6	0,7	1	480	489,7	10	1,3	618,3	538,7	820,01
13	Адмінбудівля	10	5	8	40	1,6	0,5	0,8	0,8	20	15	10	1,4	27,56	16,5	32,12
14	Автобаза	5	5	10	32	2	0,6	0,9	0,5	17,6	8,52	5	1,5	26,72	9,37	28,32
	Всього	309	5	150	11641	30	0,6	0,81	0,7	7497	5399	155	1,1	7896	5399	9565,2

1.2 Розрахунок електричних освітлювальних навантажень

Розрахунки освітлювальних навантажень здійснюється згідно методу питомої потужності, який описаний в [1].

Наведемо приклад розрахунку освітлювальних електричних навантажень підприємства для пакувальної ділянки.

Встановлена потужність освітлювальних приладів:

$$P_v = F \cdot p_0 \cdot 10^{-3} = 1134 \cdot 12 \cdot 10^{-3} = 13,61 \text{ } \kappa Bm$$

$$P_p = K_{\Pi} K_l p_v = 0,95 \cdot 1,20 \cdot 13,61 = 15,52 \text{ } \kappa Bm$$

$$Q_p = P_p \operatorname{tg} \varphi = 15,52 \cdot 0,484 = 7,51 \text{ кВар}$$

Розрахунок інших підрозділів здійснюється за аналогічним методом. Результати розрахунків для всіх підрозділів наведені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2. Результати розрахунку 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	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	$P_p, \text{ кВт}$	$Q_p, \text{ квар}$	$S_p, \text{ кВА}$
1	Пакувальна дільниця	1134	12	13,61	0,95	1,2	0,9	0,48	15,52	7,51	17,24
2	Склад сировини	432	12	5,18	0,95	1,2	0,9	0,48	5,91	2,86	6,57
3	Холодильна установка №1	2160	15	32,4	0,95	1,1	0,5	1,73	34,47	59,7	68,94
4	Конденсаторна	720	13	9,36	0,95	1,2	0,9	0,48	10,67	5,16	11,85
5	Ковбасний цех	1764	10	17,64	0,95	1,1	0,5	1,73	18,77	32,5	37,54
6	Цех первинної переробки	3276	10	32,76	0,95	1,1	0,5	1,73	34,86	60,4	69,72
7	Цех технічного фабрикату	12420	6	74,52	0,6	1,1	0,5	1,73	50,08	86,7	100,2
8	Цех сироватки	1764	13	22,93	0,95	1,2	0,9	0,48	26,14	12,7	29,04
9	Холодильна установка №2	1890	12	22,68	0,95	1,2	0,9	0,48	25,86	12,5	28,73
10	Тепловий цех	1386	13	18,02	0,95	1,2	0,9	0,48	20,54	9,94	22,82
11	Лабораторія	504	6	3,02	0,6	1,1	0,9	0,48	2,03	0,98	2,25
12	Холодильна установка №3	720	16	11,52	0,95	1,2	0,9	0,48	13,13	6,35	14,58
13	Адмінбудівля	1197	14	16,76	0,95	1,2	0,9	0,48	19,11	9,25	21,23
14	Автобаза	972	6	5,83	0,6	1,2	0,9	0,48	4,2	2,03	4,66
15	Територія підприємства	189000	0,1	18,9	1	1,1	0,5	1,73	21,17	36,7	42,34
	Всього по заводу			305,1					326,3	342	472,6

1.3 Розрахунок електричних навантажень в мережі напругою вище 1 кВ

Для розрахунку силових навантажень в мережі вище 1 кВ застосовується метод коефіцієнта розрахункової потужності, який описаний у [1].

Результати розрахунку наведені в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3. Розрахунок силових навантажень вище 1 кВ

Назва групи споживачів	К-сть ЕС	Р одн., кВт		Р сум.	m	K _в	cosφ	tgφ	Середньозміне навантаження		n _{эф}	K _м	Розрахункове навантаження		
		min	max						P _{зм} , кВт	Q _{зм} , квар			P _р , кВт	Q _р , квар	S _р , кВА
ТП 1, 2															
Цех первинної переробки															
силове:	40	50	150	1790	3	0,8	0,95	0,3	1432	470,68	40	1	1432	470,68	1507,37
освітлювальне:									32,76				34,86	60,38	
Всього:									1464,76	470,68			1466,86	531,06	1560,03
Цех технічного фабрикату															
силове:	30	15	80	920	5,3	0,3	0,65	1,2	230	268,9	23	1,44	330,45	268,9	426,03
освітлювальне:									74,52				50,08	86,74	
Всього:									304,52	268,9			380,53	355,64	520,85
Пакувальна діляння															
силове:	15	10	30	280	3	0,4	0,75	0,9	112	98,77	15	1,38	154,41	98,77	183,3
освітлювальне:									13,61				15,52	7,51	
Всього:									125,61	98,77			169,93	106,28	200,43
Всього по ТП 1, 2:															
силове:	85	10	150	2990	15	0,6	0,9	0,5	1774	838,35	40	1,13	2006,68	838,35	2174,76
освітлювальне:									120,89				100,46	154,63	
БК 0,4 кВ										-1125				-1125	
Всього на шинах 0,4 кВ ТП 1, 2:									1894,89	-286,65			2107,14	-132,02	2111,27
Втрати в трансформаторах:													23,69	123,72	
Кількість трансформаторів: 3															
Номинальна потужність, кВА: 1000															
Коефіцієнт завантаження: Kз = 0,7															
Всього на шинах 10 кВ ТП 1, 2:													2130,83	-8,3	2130,85
ТП 3, 4															
Ковбасний цех															
силове:	35	20	150	1820	7,5	0,7	0,85	0,6	1274	789,55	24	1,12	1427,1	789,55	1630,95
освітлювальне:									17,64				18,77	32,51	
Всього:									1291,64	789,55			1445,87	822,06	1663,23
Тепловий цех															
силове:	20	20	100	1200	5	0,5	0,8	0,8	600	450	20	1,25	750,28	450	874,88
освітлювальне:									18,02				20,54	9,94	
Всього:									618,02	450			770,82	459,94	897,61
Всього по ТП 3, 4:															

Продовження табл. 1.3

Назва групи споживачів	К-сть ЕС	Р одн., кВт		Р сум.	m	K _в	cosφ	tgφ	Середньозміне навантаження		n _{эф}	K _м	Розрахункове навантаження		
		min	max						P _{зм} , кВт	Q _{зм} , квар			P _р , кВт	Q _р , квар	S _р , кВА
БК 0,4 кВ										-1407				-1407	
Всього на шинах 0,4 кВ ТП 3, 4:									1909,66	-167,45			2139,53	-125	2143,18
Втрати в трансформаторах:													24,19	126,21	
Кількість трансформаторів: 3															
Номинальна потужність, кВА: 1000															
Коефіцієнт завантаження: Kз = 0,71															
Всього на шинах 10 кВ ТП 3, 4:													2163,72	1,21	2163,72
ТП 5, 6															
Холодильна установка №1															
сипове:	68	20	50	2190	2,5	0,8	0,8	0,8	1642,5	1231,87	68	1,05	1726,19	1231,87	2120,67
освітлювальне:									32,4				34,47	59,7	
Всього:									1674,9	1231,87			1760,66	1291,57	2183,59
Склад сировини															
сипове:	11	10	50	250	5	0,4	0,75	0,9	100	88,19	10	1,48	148,28	97,01	177,19
освітлювальне:									5,18				5,91	2,86	
Всього:									105,18	88,19			154,19	99,87	183,71
Всього по ТП 5, 6:															
сипове:	79	10	50	2440	5	0,7	0,8	0,8	1742,5	1320,06	79	1,06	1842,62	1320,06	2266,67
освітлювальне:									37,58				40,38	62,56	
БК 0,4 кВ										-600				-600	
Всього на шинах 0,4 кВ ТП 5, 6:									1780,08	720,06			1883	782,62	2039,16
Втрати в трансформаторах:													22,6	118,23	
Кількість трансформаторів: 3															
Номинальна потужність, кВА: 1000															
Коефіцієнт завантаження: Kз = 0,68															
Всього на шинах 10 кВ ТП 5, 6:													1905,6	900,85	2107,8
ТП 7, 8															
Цех сироватки															
сипове:	20	10	100	1253	10	0,7	0,7	1	877,1	894,82	20	1,13	994,18	894,82	1337,57
освітлювальне:									22,93				26,14	12,65	
Всього:									900,03	894,82			1020,32	907,47	1365,49
Холодильна установка №2															
сипове:	15	25	80	690	3,2	0,7	0,75	0,9	448,5	395,54	15	1,19	534,73	395,54	665,12

Продовження табл. 1.3

Назва групи споживачів	К-сть ЕС	Р одн., кВт		Р сум.	m	K _в	cosφ	tgφ	Середньозміне навантаження		n _{еф}	K _м	Розрахункове навантаження		
		min	max						P _{зм} , кВт	Q _{зм} , квар			P _р , кВт	Q _р , квар	S _р , кВА
Адмінбудівля															
сілове:	10	5	8	40	1,6	0,5	0,8	0,8	20	15	10	1,38	27,56	16,5	32,12
освітлювальне:									16,76				19,11	9,25	
Всього:									36,76	15			46,67	25,75	53,3
Автобаза															
сілове:	5	5	10	32	2	0,6	0,9	0,5	17,6	8,52	5	1,52	26,72	9,37	28,32
освітлювальне:									5,83				4,2	2,03	
Всього:									23,43	8,52			30,92	11,4	32,95
Лабораторія															
сілове:	14	5	25	76	5	0,7	0,8	0,8	53,2	39,9	6	1,28	68	43,89	80,93
освітлювальне:									3,02				2,03	0,98	
Всього:									56,22	39,9			70,03	44,87	83,17
Конденсаторна															
сілове:	16	5	40	300	8	0,7	0,8	0,8	210	157,5	15	1,16	243,16	157,5	289,71
освітлювальне:									9,36				10,67	5,16	
Всього:									219,36	157,5			253,83	162,66	301,48
Територія підприємства															
освітлювальне:									18,9				21,17	36,67	
Всього:									18,9	0			21,17	36,67	42,34
Всього по ТП 7, 8:															
сілове:	80	5	100	2391	20	0,7	0,73	0,9	1626,4	1511,28	48	1,09	1769,85	1511,28	2327,3
освітлювальне:									99,48	-800			109,18	79,26	
БК 0,4 кВ														-800	
Всього на шинах 0,4 кВ ТП 7, 8:									1725,88	711,28			1879,03	790,54	2038,56
Втрати в трансформаторах:													22,59	118,19	
Кількість трансформаторів: 3															
Номінальна потужність, кВА: 1000															
Коефіцієнт завантаження: Kз = 0,68															
Всього на шинах 10 кВ ТП 7, 8:													1901,62	908,73	2107,59
ТП 9															
Холодильна установка №3															
сілове:	10	5	150	800	30	0,6	0,7	1	480	489,7	10	1,29	618,26	538,67	820,01
освітлювальне:									11,52				13,13	6,35	
Всього:									491,52	489,7			631,39	545,02	834,09

Продовження табл. 1.3

Назва групи споживачів	К-сть ЕС	Р одн., кВт		Р сум.	m	K _в	cosφ	tgφ	Середньозміне навантаження		n _{эф}	K _м	Розрахункове навантаження		
		min	max						Р _{зм} , кВт	Q _{зм} , квар			Р _р , кВт	Q _р , квар	S _р , кВА
освітлювальне:									11,52				13,13	6,35	
БК 0,4 кВ										-300				-300	
Всього на шинах 0,4 кВ ТП 9:									491,52	189,7			631,39	245,02	677,27
Втрати в трансформаторах:													7,5	39,23	
Кількість трансформаторів: 1															
Номінальна потужність, кВА: 1000															
Коефіцієнт завантаження: K _з = 0,68															
Всього на шинах 10 кВ ТП 9:													638,89	284,25	699,27
Всього по об'єкту															
силове:	309	5	150	11641	30	0,6	0,99	0,2	7496,9	1166,94	155	1,05	7890,47	1166,94	7976,29
освітлювальне:									11,52				302,46	345,25	
Всього:									7802,03	1166,94			8192,93	1512,19	8331,32
Потужність КП 0,4 кВ:										-4232				-4232	
Втрати в трансформаторах:													100,57	525,58	
Всього по об'єкту:													8293,5	2037,77	8540,17
Високовольтне навантаження															
СД 1,2	2	1000	1000	2000		0,7	0,9	0,5	1400	-678,05			1400	-678,05	1555,56
Всього високовольтного навантаження:													1400	-678,05	1555,56
Всього по об'єкту 10 кВ:													9693,5	1359,72	9788,4
КП 10 кВ:														0	
Всього 10 кВ з КП:													9693,5	1359,72	9788,4
tgφ = 0,14															

1.4 Графіки електричних навантажень

У цьому пункті роботи було проведено розрахунок графіків ел. навантажень і їх параметрів відповідно до методики, описаної у джерелі [1]. Результати розрахунків наведені в таблицях 1.4–1.6 та на рисунках 1.1 – 1.5.

Таблиця 1.4. Вихідні дані до розрахунків графіків електричних навантажень

№ з/п	Робочі дні		Вихідні дні	
	<i>P</i> , %	<i>Q</i> , %	<i>P</i> , %	<i>Q</i> , %
1	100,00	100,00	50,00	70,00
2	90,00	95,00	50,00	70,00
3	98,00	98,00	50,00	70,00
4	75,00	86,00	50,00	70,00
5	48,00	68,00	50,00	70,00
6	48,00	68,00	50,00	70,00
7	68,00	82,00	50,00	70,00
8	72,00	85,00	40,00	70,00
9	75,00	87,00	40,00	63,00
10	70,00	83,00	40,00	63,00
11	72,00	84,00	40,00	63,00
12	65,00	80,00	40,00	63,00
13	58,00	76,00	40,00	63,00
14	55,00	75,00	40,00	63,00
15	68,00	82,00	40,00	63,00
16	75,00	88,00	40,00	63,00
17	78,00	89,00	40,00	63,00
18	73,00	87,00	40,00	63,00
19	72,00	86,00	50,00	70,00
20	68,00	85,00	50,00	70,00
21	60,00	78,00	50,00	70,00
22	35,00	79,00	50,00	70,00
23	63,00	80,00	50,00	70,00
24	100,00	100,00	50,00	70,00

Таблиця 1.5. Результати розрахунків 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	9696	1360	9791	4848	952	4941	8242	1156	8323	4121	809	4200
2	8727	1292	8822	4848	952	4941	7418	1098	7499	4121	809	4200
3	9503	1333	9596	4848	952	4941	8077	1133	8156	4121	809	4200
4	7272	1169	7365	4848	952	4941	6182	994	6261	4121	809	4200
5	4654	925	4745	4848	952	4941	3956	786	4033	4121	809	4200
6	4654	925	4745	4848	952	4941	3956	786	4033	4121	809	4200
7	6594	1115	6688	4848	952	4941	5605	948	5685	4121	809	4200
8	6981	1156	7076	3879	952	3994	5934	982	6015	3297	809	3395
9	7272	1183	7368	3879	857	3973	6182	1006	6263	3297	728	3376
10	6788	1129	6881	3879	857	3973	5769	959	5848	3297	728	3376
11	6981	1142	7074	3879	857	3973	5934	971	6013	3297	728	3376
12	6303	1088	6396	3879	857	3973	5357	925	5436	3297	728	3376
13	5624	1033	5718	3879	857	3973	4780	878	4860	3297	728	3376
14	5333	1020	5430	3879	857	3973	4533	867	4615	3297	728	3376
15	6594	1115	6688	3879	857	3973	5605	948	5685	3297	728	3376
16	7272	1197	7370	3879	857	3973	6182	1017	6265	3297	728	3376
17	7563	1210	7659	3879	857	3973	6429	1029	6511	3297	728	3376
18	7078	1183	7176	3879	857	3973	6017	1006	6101	3297	728	3376
19	6981	1169	7078	4848	952	4941	5934	994	6017	4121	809	4200
20	6594	1156	6695	4848	952	4941	5605	982	5690	4121	809	4200
21	5818	1061	5914	4848	952	4941	4945	901	5026	4121	809	4200
22	3394	1074	3560	4848	952	4941	2885	913	3026	4121	809	4200
23	6109	1088	6205	4848	952	4941	5192	925	5274	4121	809	4200
24	9696	1360	9791	4848	952	4941	8242	1156	8323	4121	809	4200

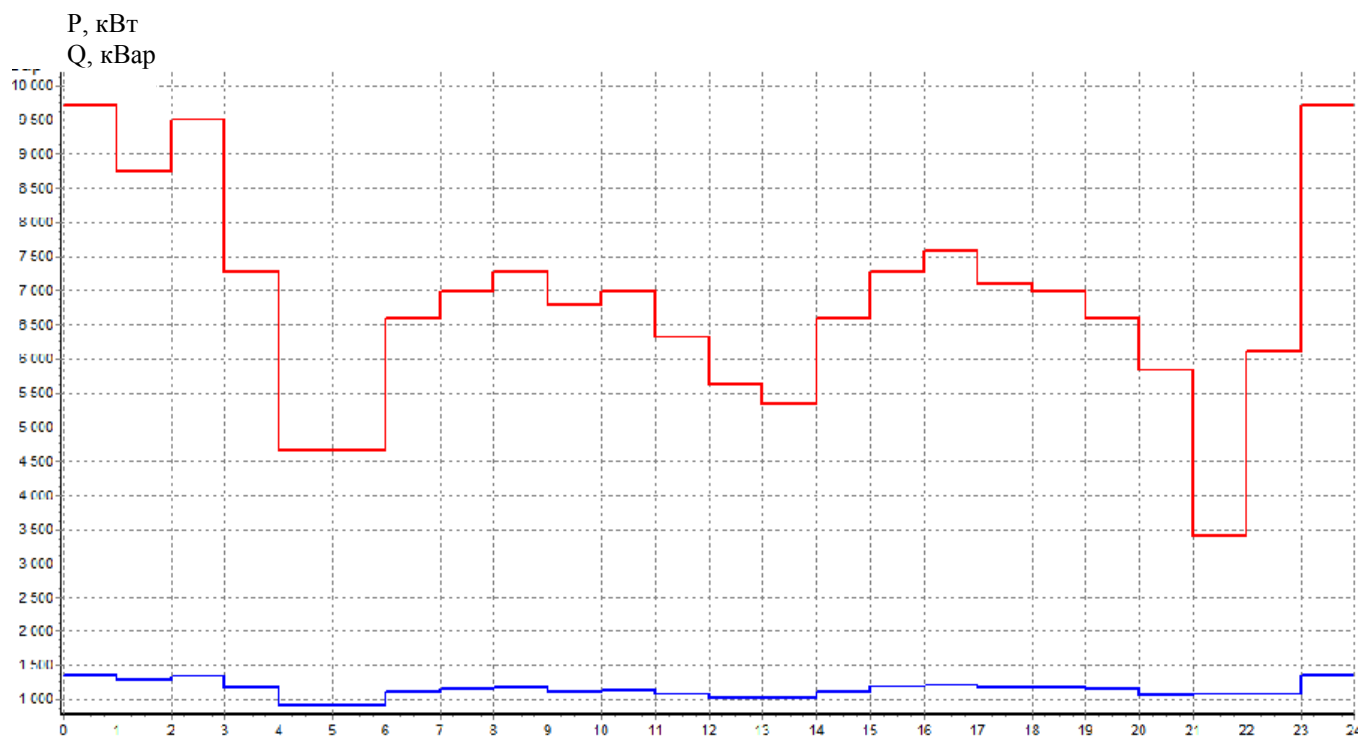


Рис. 1.1. Добові графіки активної (P) та реактивної (Q) потужностей (з. р. дні)

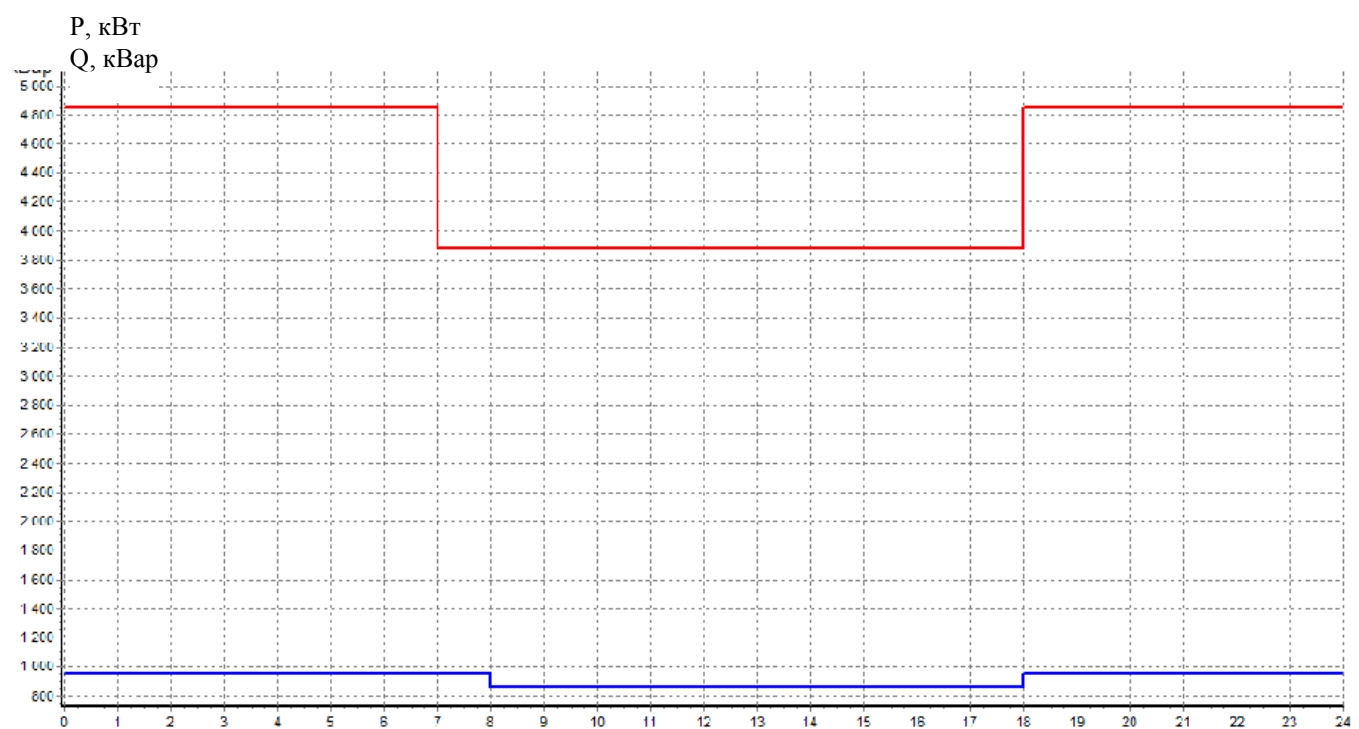


Рис. 1.2. Добові графіки активної (P) та реактивної (Q) потужностей (з.в. дні)

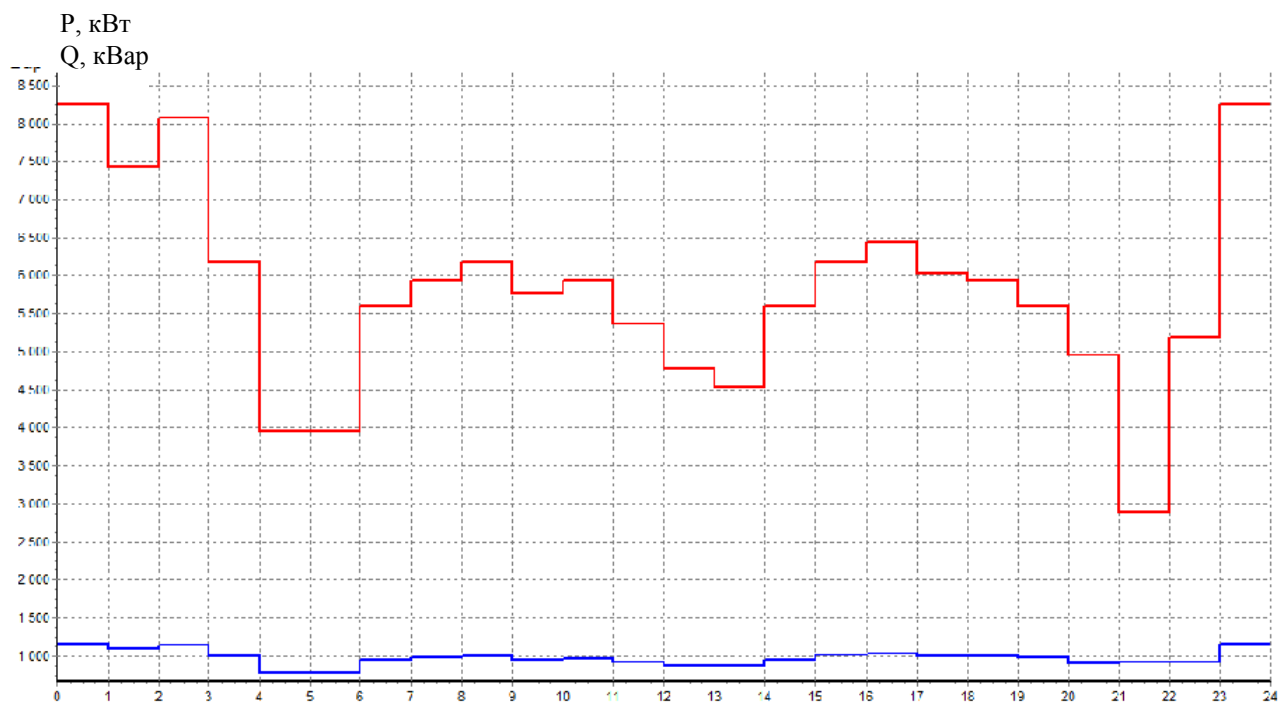


Рис. 1.3. Добові графіки активної (P) та реактивної (Q) потужностей (л. р. дні)

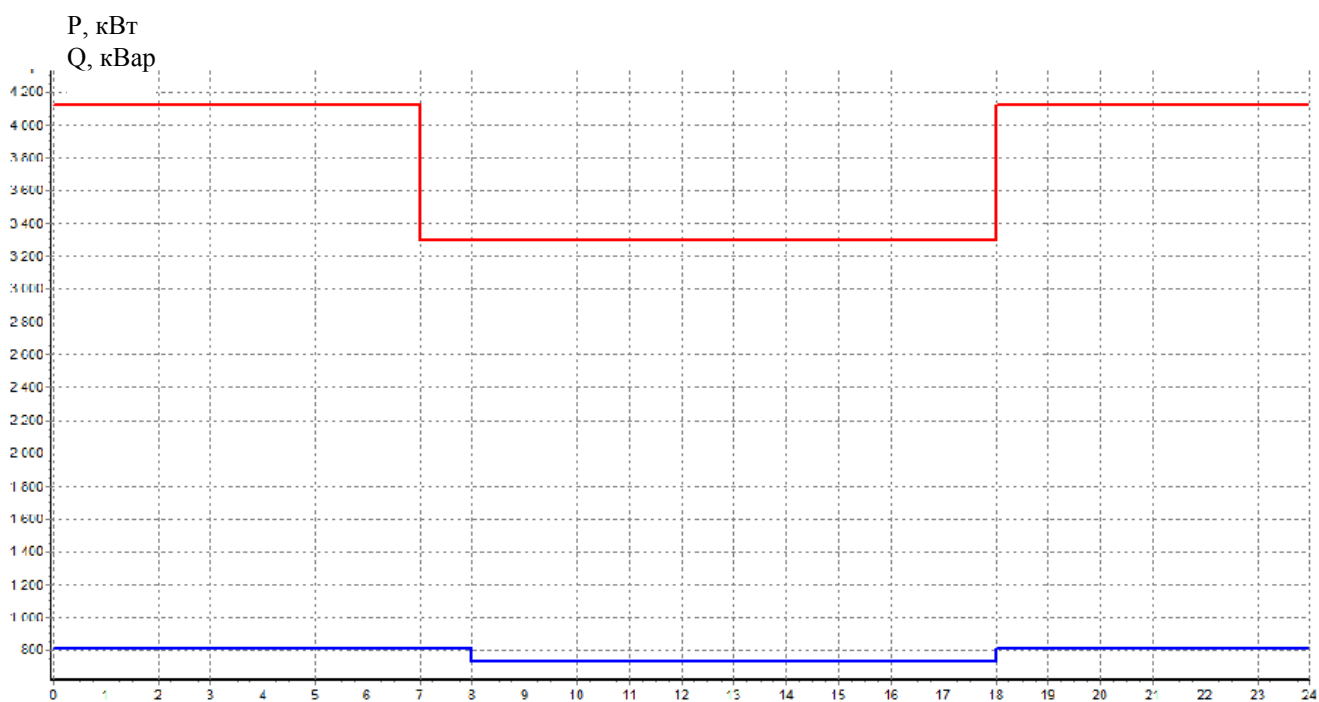


Рис. 1.4 Добові графіки активної (P) та реактивної (Q) потужностей (л. в. дні)

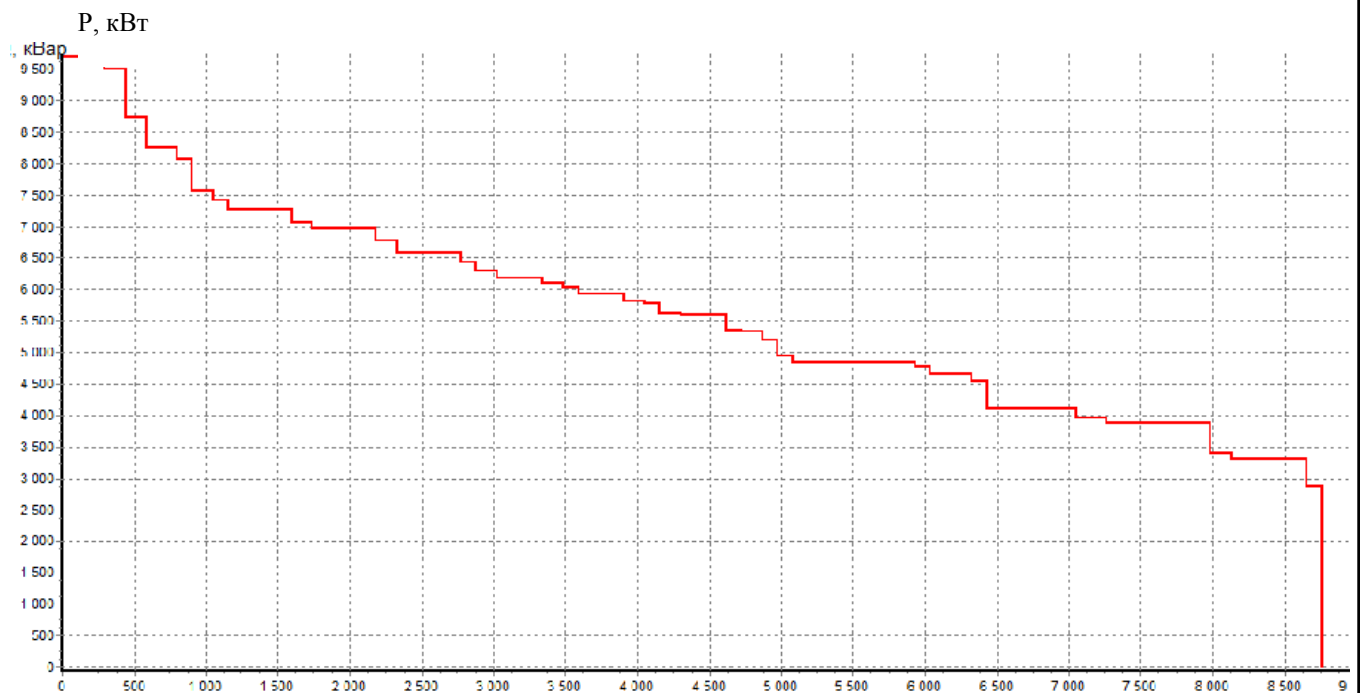


Рис. 1.5. Річний графік активного навантаження за тривалістю

Таблиця 1.6. Розрахункові параметри графіків електричного навантаження

№ з/п	Величина	Одиниця виміру	Значення
1	S_p	МВА	9791,37
2	$W_{з.р.}$	кВт·год	24031707
3	$V_{з.р.}$	квар·год	4040001
4	$W_{з.в.}$	кВт·год	6870045
5	$V_{з.в.}$	квар·год	1423370
6	$W_{л.р.}$	кВт·год	14590905
7	$V_{л.р.}$	квар·год	2452800
8	$W_{л.в.}$	кВт·год	4312320
9	$V_{л.в.}$	квар·год	893088
10	W_p	кВт·год	49804977
11	V_p	квар·год	8809259
12	$T_{\max}$	год	5165,573
13	$\tau_{\max}$	год	3594,348

РОЗДІЛ 2

КАРТОГРАМА ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

З метою візуалізації значень освітлювальних та силових навантажень на генплані, проводиться розрахунок картограми електричних навантажень. Цей розрахунок здійснюється відповідно до методики, що описана в джерелі [1]. Центр електричних навантажень було визначено за результатами розрахунку картограми.

Для прикладу наведемо розрахунок картограми для пакувальної ділянки:

$$R_1 = \sqrt{\frac{P_1}{\pi m}} = \sqrt{\frac{P_{\text{р.сил}} + P_{\text{р.осв}}}{\pi m}} = \sqrt{\frac{154,51 + 15,52}{3,14 \cdot 0,1}} = 23,26 \text{ мм},$$
$$\alpha_i = \frac{P_{\text{і.осв}} \cdot 360}{\pi R_i^2} = \frac{15,52 \cdot 360}{170,03} = 32,88^\circ.$$

Розрахунок для інших підрозділів здійснюється аналогічно. Результати розрахунків приведені в табл. 2.1.

Координати центру електр. навантажень, м:

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n X_i P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} = \frac{1586652,6}{10183,78} = 155,8,$$
$$Y = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} = \frac{2318667,3}{10183,78} = 227,68.$$

Під час розрахунку координат центру ел. навантажень було встановлено, що він співпадає з одним із підрозділів підприємства. Оскільки таке розташування може призвести до зворотних перетоків активної електроенергії, центр живлення потрібно перенести в бік живлення. Нове місцезнаходження підстанції відображено на генплані.

						Арк.
						21
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Таблиця 2.1. Розрахункові дані для побудови картограми та визначення центру електричних навант.

№ п/п	Найменування	$P_{P, \text{силь}}$ кВт	$P_{P, \text{осв}}$ кВт	P_P , кВт	m	R , мм	α	x , м	y , м	$P \cdot x$, кВт · м	$P \cdot y$, кВт · м
1.	Пакувальна дільниця	154,41	15,52	169,93	0,1	23,26	32,88	15,00	240,00	2548,95	40783,20
2.	Склад сировини	148,28	5,91	154,19	0,1	22,15	13,80	15,00	195,00	2312,85	30067,05
3.	Холодильна установка №1										
	а) 0.4 кВт	1726,19	34,47	1760,66	0,1	74,86	7,05	195,00	150,00	343328,70	264099,00
	б) 10.5 кВт (СД)	1400	0	1400,00	0,1	66,76	0,00	195,00	150,00	273000,00	210000,00
4.	Конденсаторна	243,16	10,67	253,83	0,1	28,42	15,13	135,00	165,00	34267,05	41881,95
5.	Ковбасний цех	1427,1	18,77	1445,87	0,1	67,84	4,67	135,00	315,00	195192,45	455449,05
6.	Цех первинної переробки	1432	34,86	1466,86	0,1	68,33	8,56	75,00	315,00	110014,50	462060,90
7.	Цех технічного фабрику	330,45	50,08	380,53	0,1	34,80	47,38	150,00	210,00	57079,50	79911,30
8.	Цех сироватки	994,18	26,14	1020,32	0,1	56,99	9,22	75,00	150,00	76524,00	153048,00
9.	Холодильна установка №2	534,73	25,86	560,59	0,1	42,24	16,61	105,00	90,00	58861,95	50453,10
10.	Тепловий цех	750,28	20,54	770,82	0,1	49,53	9,59	255,00	315,00	196559,10	242808,30
11.	Лабораторія	68	2,03	70,03	0,1	14,93	10,44	255,00	390,00	17857,65	27311,70
12.	Холодильна установка №3	618,26	13,13	631,39	0,1	44,83	7,49	315,00	390,00	198887,85	246242,10
13.	Адмінбудівля	27,56	19,11	46,67	0,1	12,19	147,41	270,00	45,00	12600,90	2100,15
14.	Автобаза	26,72	4,2	30,92	0,1	9,92	48,90	195,00	300,00	6029,40	9276,00
15.	Територія підприємства	0	21,17	21,17	0,1	8,21	360,00	75,00	150,00	1587,75	3175,50
	Всього по підприємству	9881,32	302,46	10183,78						1586652,60	2318667,30

РОЗДІЛ 3

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ СХЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Мета цього розділу випускної кваліфікаційної роботи полягає у техніко-економічному обґрунтуванні вибору схем зовнішнього і внутрішнього електропостачання підприємства.

3.1 Вибір схеми зовнішнього електропостачання

Метод вибору схеми зовнішнього електропостачання підприємства базується на визначенні мінімальних приведених затрат, як описано в джерелі [1].

Вихідні дані до роботи вказують на те, що підприємство може отримувати електропостачання від підстанції системи з напругою 115/10,5 кВ, розташованої за 5 км або глухою відпайкою від транзитної дволанцюгової ЛЕП 115 кВ. Таким чином, для вибору оптимальної схеми зовнішнього електропостачання доцільно розглянути два варіанти:

1. Постачання електроенергії забезпечується кабельними лініями з напругою 10 кВ.
2. Постачання електроенергії забезпечується повітряними лініями з напругою 110 кВ з встановленням ГЗП 110/10 кВ.

На рис. 3.1 наведено схеми обох варіантів зовнішнього електропостачання.

Варіант 1. Електропостачання здійснюється КЛ 10 кВ (рис. 3.1 а).

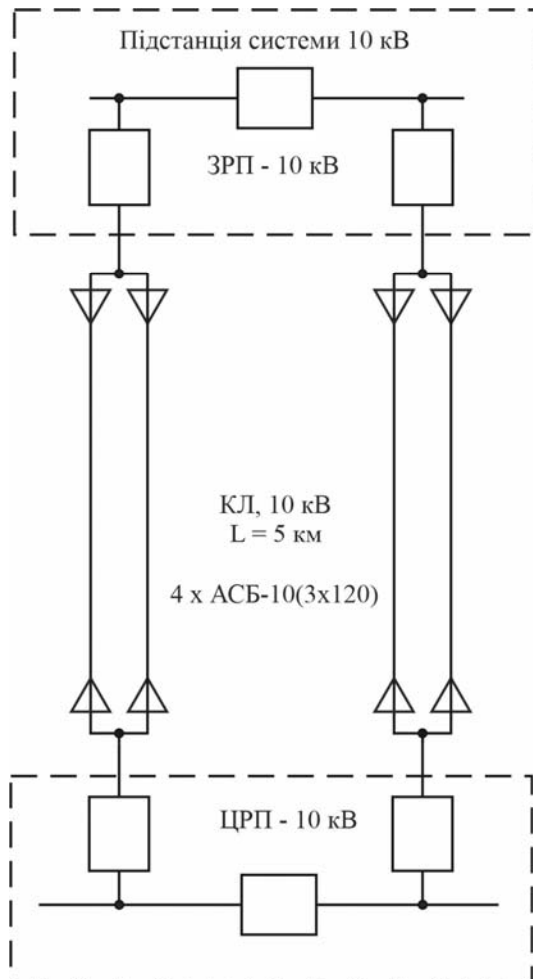
Розрахунковий струм, А:

$$I_{\max} = \frac{S_P}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{9797}{\sqrt{3} \cdot 10} = 565,63$$

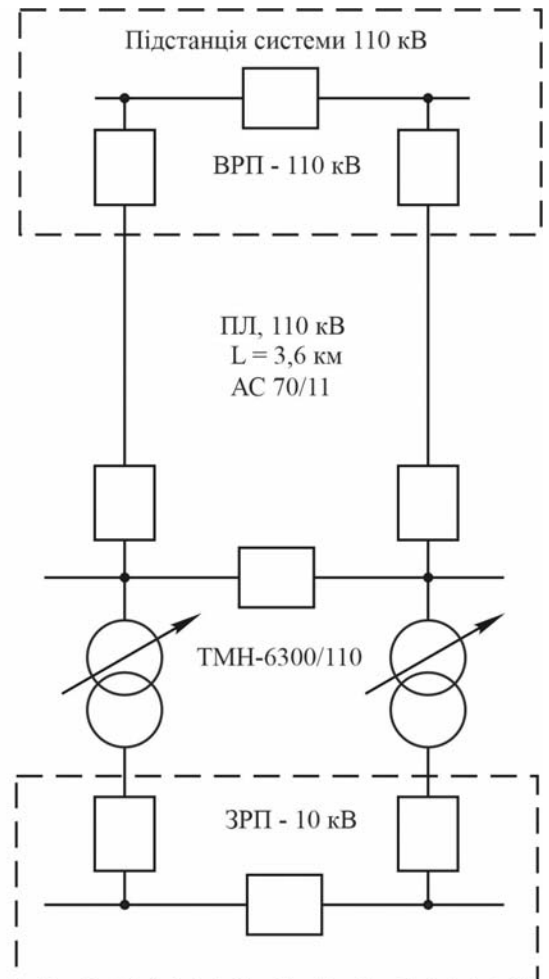
Обираємо 4 КЛ марки АСБ-10(3х120). Технічні дані кабельної лінії:

$$I_{\text{доп}} = 240 \text{ А}, \Delta P_{1\text{км}} = 18 \text{ кВт/км}, K_{\text{КЛ}} = 50 \text{ тис. грн./км.}$$

						Арк.
						23
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		



а)



б)

Рис. 3.1. Варіанти схем зовнішнього електропостачання підприємства

Перевірка КЛ за умовою нагріву в норм. режимі:

$$I_p = 141,41 \text{ A} \leq K_n I_{don} = 0,84 \cdot 240 = 201,6 \text{ A}$$

Перевірка КЛ за умовою нагріву в авар. режимі:

$$I_{p.av} = 2I_p = 2 \cdot 141,41 = 282,82 \text{ A} \leq K_{an} K'_n I_{don} = 1,25 \cdot 1 \cdot 240 = 300 \text{ A}$$

Силові кабелі АСБ-10(3x120) задовольняють умовам перевірки.

Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

Арк.

24

Величина коефіцієнта завантаження КЛ в норм. режимі:

$$K_3 = \frac{I_p}{I_{дон}} = \frac{141,41}{240} = 0,59$$

Втрати потужності в КЛ:

$$\Delta P_{кл} = \Delta P_{1км} l_{\Sigma} K_3^2 = 18 \cdot 20 \cdot 0,3481 = 125,32 \text{ кВт}$$

Втрати електроенергії в КЛ:

$$\Delta W_{л} = \Delta P_{л} \tau = 62,66 \cdot 3599,32 = 225533,39 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Вартість втрат електроенергії в КЛ:

$$C_{втр} = \Delta W_{\Sigma} C_0 = 225533,39 \cdot 5,09 \cdot 0,001 = 1147,96 \text{ тис.грн.}$$

Результати розрахунку капітальних вкладень для першого варіанту схеми електропостачання наведено в табл. 3.1.

Таблиця 3.1. Результати розрахунку капітальних вкладень для варіанту № 1

№ вар.	Назва елемента схеми	Оди- ниця	Кількість	Вартість	Всього
1	КЛ 10 кВ	км	20	50	1000
	Траншея	км.	5	14,3	71,5
	Шафи КРП серії КУ-10	шт.	2	10,7	21,4
Всього					1092,9

Результати розрахунку поточних витрат для першого варіанту наведено в табл. 3.2.

										Арк.
										25
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата						

Таблиця 3.2. Результати розрахунку поточних витрат для варіанту № 1

№ вар	Назва елемента схеми	K_j тис.грн.	P_{aj} %	C_{aj} тис.грн.	$P_{эj}$ %	C_{aj} тис.грн.	C_j тис.грн.
1	КЛ 10 кВ	1000	5	50	5	50	100
	Траншея	71,5	5	3,575	5	3,575	7,15
	Шафи КРП серії КУ-10	21,4	15	3,21	5	1,07	4,28
Всього							111,43

Схема одного ланцюга містить вимикач 10 кВ, КЛ загальною довжиною 10 км. Параметри надійності цих елементів такі:

- КЛ: $K_n = 0,09 \cdot 10^{-3}$, $T_v = 0,7 \cdot 10^{-3}$ рік, $\lambda_a = 0,8$ 1/рік.

- вимикач: $K_n = 2 \cdot 10^{-3}$, $T_v = 0,45 \cdot 10^{-3}$ рік, $\lambda_a = 4 \cdot 10^{-3}$ 1/рік;

Параметр потоку відмов:

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i = 0,004 + 0,8 = 0,804 \quad 1/\text{рік}$$

Середній час відновлення 1-го ланцюга:

$$T_g = \frac{\sum \lambda_i T_{vi}}{\lambda} = \frac{(0,004 \cdot 0,00045 + 0,8 \cdot 0,0007)}{0,804} = 0,00069876 \quad \text{рік}$$

Коефіцієнт планового простою 1-го ланцюга:

$$K_n = 1,2 K_{n \max} = 1,2 \cdot 0,002 = 0,0024$$

Коефіцієнт аварійного простою 1-го ланцюга:

$$K_a = \lambda T_g = 0,804 \cdot 0,000698756218905473 = 0,0005618$$

						Арк.
						26
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Значення коефіцієнта K_n для випадку, за якого 1 ланцюг відімкнений для планового ремонту, а 2-й в цей час відключається внаслідок пошкодження:

$$K_{an} = 0.5 \lambda K_n^2 = 0,5 \cdot 0,804 \cdot 0,00000576 = 0,00000231552$$

Коефіцієнт аварійного простою 2-х ланцюгів:

$$K_a^{(2)} = K_a^2 + 2K_{an} = 0,00000031561924 + 2 \cdot 0,00000231552 = 0,0000049467$$

Значення середньорічного часу аварійного простою, год:

$$T_a = K_a^{(2)} \cdot 8760 = 0,0000049467 \cdot 8760 = 0,04333$$

Очікуваний збиток від недовідпуску електроенергії внаслідок аварій, тис. грн./рік:

$$U = U_0 P_{cp} T_a = 23,2 \cdot 5,72 \cdot 0,04333 = 5,75$$

Зведені витрати для першого варіанту, тис. грн./рік:

$$Z_i = E_n K_i + C_i + C_{exp.i} + U_i = 0,12 \cdot 1092,9 + 111,43 + 1147,96 + 5,75 = 1396,288$$

Так само проводиться розрахунок зведених витрат для варіанту живлення ПЛ напругою 110 кВ зі спорудженням на території підприємства ГЗП 110/10,5 кВ. Результати порівняння техніко-економічних характеристик обох варіантів схем зовнішнього електропостачання показані в таблиці 3.3.

									Арк.
									27
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата					

Таблиця 3.3. Результати техніко-економічних розрахунків варіантів схем зовнішнього електропостачання заводу

Показники	Варіанти	
	1	2
Капітальні вкладення	1092,9	2183
Поточні витрати	111,43	407,8
Вартість втрат електроенергії	1147,96	1547,18
Збиток	5,75	3,23
<i>Зведені витрати</i>	<i>1396,288</i>	<i>2220,17</i>

З таблиці 3.3 видно, що приведені витрати на варіант схеми зовнішнього електропостачання № 1 (кабельними лініями 10 кВ) є суттєво меншими. Його і будемо враховувати в подальших розрахунках.

3.2 Вибір схеми внутрішнього електропостачання

Для внутрішньозаводської системи електропостачання було обрано радіальну схему живлення через кабельні лінії з напругою 10 кВ. Таке рішення було ухвалено без проведення техніко-економічних розрахунків з таких причин:

- у порівнянні з магістральною та змішаною схемами, радіальна схема забезпечує максимальний рівень стабільності електропостачання.

- зважаючи на те, що відстані між цехами заводу, де розташовані ТП 10/0,4 кВ, не є дуже великими, можна стверджувати, що втрати потужності в КЛ 10 кВ є невеликими.

Схема внутрішнього електропостачання заводу приведена в графічній частині кваліфікаційної роботи.

РОЗДІЛ 4

РЕЖИМИ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Мета цього розділу випускної роботи – розрахунок режимів реактивної потужності в системі електропостачання промислового підприємства. Для здійснення розрахунку балансу реактивної потужності, вибору кількості, потужності та місця розташування компенсуючих пристроїв була використана методика, описана в джерелі [1].

4.1 Розрахунок балансу реактивної потужності

Номінальна реактивна потужність СД:

$$Q_{ном} = P_{ном} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{CD} = 1000 \cdot 0,484 = 484 \text{ кВАр}$$

Розрахункова активна потужність синхронного двигуна:

$$P_{CD} = N_{CD} P_{ном} K_{вик} = 2 \cdot 1000 \cdot 0,7 = 1400 \text{ кВт}$$

Номінальна реактивна потужність, яка генерується СД:

$$Q_{cd} = P_{CD} \operatorname{tg} \varphi_n = 1400 \cdot 0,484 = 677,6 \text{ кВА}$$

Максимальна реактивна потужність, що генерується СД:

$$Q_{\max cd} = \frac{\alpha_M P_{CD} \operatorname{tg} \varphi_n}{\eta} = \frac{1,21 \cdot 1400 \cdot 0,484}{0,9} = 911 \text{ кВАр}$$

									Арк.
									29
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата					

Сумарне споживання активної потужності:

$$P_p = P_n + \Delta P_m + P_\epsilon + P_{cd} = 8640 + 95 + 0 + 1400 = 10135 \text{ кВт}$$

Сумарне споживання реактивної потужності:

$$Q_p = Q_n + \Delta Q_m + Q_\epsilon - Q_{CD} = 5793 + 499 + 0 - 677,6 = 5614,4 \text{ кВАр}$$

Реактивна потужність, що споживається від системи:

$$Q_e = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi_c = 10135 \cdot 0,15 = 1520,25 \text{ кВАр}$$

Потужність компенсуючих пристроїв:

$$Q_{КП} = Q_p - Q_e = 5614,4 - 1520,25 = 4094,15 \text{ кВАр}$$

Мінімальна кількість трансформаторів:

$$N_0 = \frac{P_n}{\beta \cdot S_{ном}} = \frac{8640}{0,7 \cdot 1000} = 12,34 \approx 13 \text{ шт.}$$

Розглянемо варіанти кількістю трансформаторів 10/0,4 кВ: $N_T = N_0$,
 $N_T = N_0 + 1$, $N_T = N_0 + 2$.

Варіант 1. Кількість трансформаторів 10/0,4 кВ $N = N_0 = 13$ шт.

Реактивна потужність, яка може бути передана з мережі 10 кВ в електричну мережу напругою 0,4 кВ:

$$Q_1 = \sqrt{(N \cdot \beta \cdot S_{ном})^2 - P_n^2} = \sqrt{(13 \cdot 0,7 \cdot 1000)^2 - 8640^2} = 2856,64 \text{ кВАр}$$

						Арк.
						30
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Потужність КП, які встановлюються в мережі до 1000 В:

$$Q_{KH} = Q_H - Q_1 = 5793 - 2856,64 = 2936,36 \text{ кВАр}$$

Потужність КП, які встановлюються в мережі напругою 10 кВ:

$$Q_{KB} = Q_p - Q_{KH} - Q_e = 5381 - 2936,36 - 1520,25 = 924,39 \text{ кВАр}$$

Розрахунок КП для варіантів з кількістю трансформаторів $N_0 + 1$, $N_0 + 2$ виконується аналогічним чином. Результати розрахунку приведені в табл. 4.1.

Таблиця 4.1. Результати розрахунку потужності КП

<i>№ варіанту</i>	<i>Кількість тр-торів</i>	<i>Q_1, кВАр</i>	<i>Q_{KH}, кВАр</i>	<i>Q_{KB}, кВАр</i>
1	13	2856,64	2936,36	924,39
2	14	4624,98	1168,02	2692,73
3	15	5966,61	0	3860,75

4.2 Вибір кількості, потужності та місця розташування компенсуючих пристроїв

Результати розрахунку потужності високовольтних та низьковольтних БК для варіантів з кількістю трансформ. N_0 , $N_0 + 1$, $N_0 + 2$ приведені в табл. 4.2 – 4.4.

Таблиця 4.2. Вибір БК при кількості цехових трансформаторів $N_T = 13$

№ КТП	К-сть т-рів	$P_p, \text{кВт}$	$Q_p, \text{кВАр}$	$Q_{пр}, \text{кВАр}$	$Q_{кп}, \text{кВАр}$	Кількість та потужність БК, шт.·кВАр	Сума $Q_{БК}, \text{кВАр}$	$Q_{кп} - Q_{БК}, \text{кВАр}$	K_z	$S_p, \text{кВА}$
1,2	3	2130,77	1116,38	0	1116,38	3·150; 3·225;	1125	-8,62	0,71	2130,787
3, 4	3	2163,66	1407,92	0	1407,92	3·67; 3·402;	1407	0,92	0,72	2163,66
5, 6	3	1903,35	1489,62	887,28	602,34	3·200;	600	2,34	0,7	2100,991
7, 8	3	1899,33	1697,27	895,85	801,42	3·67; 3·200;	801	0,42	0,7	2100,18
9	1	638,23	580,95	287,51	293,44	3·100;	300	-6,56	0,7	697,3309

БК 0,4 кВ: 4233 квар. БК 10 кВ: 0 квар.

Таблиця 4.3. Вибір БК при кількості цехових трансформаторів $N_T = 14$

№ КТП	К-сть т-рів	$P_p, \text{кВт}$	$Q_p, \text{кВАр}$	$Q_{пр}, \text{кВАр}$	$Q_{кп}, \text{кВАр}$	Кількість та потужність БК, шт.·кВАр	Сума $Q_{БК}, \text{кВАр}$	$Q_{кп} - Q_{БК}, \text{кВАр}$	K_z	$S_p, \text{кВА}$
1,2	3	2130,77	1116,38	0	1116,38	3·150; 3·225;	1125	-8,62	0,71	2130,787
3, 4	4	2163,66	1407,92	1777,24	0		0	0	0,65	2581,407
5, 6	3	1903,35	1489,62	887,28	602,34	3·200;	600	2,34	0,7	2100,991
7, 8	3	1899,33	1697,27	895,85	801,42	3·67; 3·200;	801	0,42	0,7	2100,18
9	1	638,23	580,95	287,51	293,44	3·100;	300	-6,56	0,7	697,3309

БК 0,4 кВ: 2826 квар. БК 10 кВ: 1 х 450 + 1 х 900 = 1350 квар.

Таблиця 4.4. Вибір БК при кількості цехових трансформаторів $N_T = 15$

№ КТП	К-сть т-рів	$P_p, \text{кВт}$	$Q_p, \text{кВАр}$	$Q_{пр}, \text{кВАр}$	$Q_{кп}, \text{кВАр}$	Кількість та потужність БК, шт.·кВАр	Сума $Q_{БК}, \text{кВАр}$	$Q_{кп} - Q_{БК}, \text{кВАр}$	K_z	$S_p, \text{кВА}$
1,2	4	2130,77	1116,38	1816,54	0		0	0	0,6	2405,511
3, 4	4	2163,66	1407,92	1777,24	0		0	0	0,65	2581,407
5, 6	3	1903,35	1489,62	887,28	602,34	3·200;	600	2,34	0,7	2100,991
7, 8	3	1899,33	1697,27	895,85	801,42	3·67; 3·200;	801	0,42	0,7	2100,18
9	1	638,23	580,95	287,51	293,44	3·100;	300	-6,56	0,7	697,3309

БК 0,4 кВ: 1701 квар. БК 10 кВ: 1 х 900 + 1 х 1350 = 2250 квар.

Розрахунок приведених витрат для варіанту з кількістю цехових трансформаторів $N_T = N_0$ приведено нижче.

Втрати активної потужності в КП 0,4 кВ:

$$\Delta P_{KH} = P_{ПИТ}^{KH} \cdot Q_{KH} = 0,0045 \cdot 4233 = 19,05 \text{ кВт}$$

Втрати активної потужності в КП 10 кВ:

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

Втрати активної потужності в цехових трансформаторах, спричинені передачею реактивної потужності через них:

$$\Delta P_{ТП} = \frac{P_{HH}^2 + Q_1^2}{U_H^2} R_T \cdot 10^{-3} = \frac{8640^2 + 2856,64^2}{10^2} \cdot 0,07 \cdot 0,001 = 57,97 \text{ кВт}$$

де $R_{екв}$ – еквівалентний активний опір ТП:

$$R_{екв} = \frac{\Delta P_K \cdot U_{ном}^2}{N \cdot S_{ном}^2} \cdot 10^3 = \frac{8,6 \cdot 10^2}{13 \cdot 1000^2} \cdot 1000 = 0,07 \text{ Ом}$$

Втрати активної потужності в синхронних двигунах:

$$\begin{aligned} \Delta P_{CD} &= Q_{CD} \left(\frac{D_1}{Q_{ном}} + \frac{2D_2 Q_{CD}}{Q_{ном}^2 N_{CD}} \right) + Q_{CD}^2 \frac{D_2}{Q_{ном}^2 N_{CD}} = \\ &= 911 \cdot \left(\frac{0,85}{484} + \frac{2 \cdot 0,75 \cdot 911}{484^2 \cdot 2} \right) + 911^2 \cdot \frac{0,75}{484^2 \cdot 2} = 5,59 \text{ кВт} \end{aligned}$$

						Арк.
						33
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Вартість КП 0,4 кВ:

$$K_{KH} = \sum_{i=1}^n N_{KH i} \cdot K_{KH i} =$$
$$= 6 \cdot 3,53 + 3 \cdot 3,67 + 3 \cdot 4,71 + 6 \cdot 5,32 + 3 \cdot 5,53 + 3 \cdot 8,18 = 119,37 \text{ тис.грн.}$$

Вартість КП 10 кВ:

$$K_{KB} = \sum_{i=1}^n N_{KB i} \cdot K_{KB i} = 0 \text{ тис.грн.}$$

Вартість ТП:

$$K_{КТП} = N_{КТП(2)} \cdot K_{КТП(2)} + N_{КТП(1)} \cdot K_{КТП(1)} =$$
$$= 4 \cdot 893,2 + 5 \cdot 472,5 = 5935,3 \text{ тис.грн.}$$

Приведені витрати:

$$З = E_H (K_{KH} + K_{KB} + K_{КТП}) + C_0 \tau (\Delta P_{KH} + \Delta P_{KB} + \Delta P_{ТП} + \Delta P_{СД}) =$$
$$= 0,12 \cdot (119,37 + 0 + 5935,3) + 5,09 \cdot 3599 \cdot (19,05 + 0 + 57,97 + 5,59) \cdot 10^{-3} =$$
$$= 2239,89 \text{ тис.грн.}$$

Розрахунок приведених витрат для варіантів $N_0 + 1$, $N_0 + 2$ проводиться аналогічним чином. Результати розрахунку наведені в табл. 4.5.

						Арк.
						34
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Таблиця 4.5. Результати розрахунку приведених витрат 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>	$R_{CKB},$ <i>Ом</i>	$S_{пр},$ <i>кВА</i>	$\Delta P_{TP},$ <i>кВт</i>	$K_{KH},$ <i>тис. грн.</i>	$K_{KB},$ <i>тис. грн.</i>	$K_{KTP},$ <i>тис. грн.</i>	$З,$ <i>тис. грн.</i>
1	4233	19,1	0	0	13	0,07	9100	57,97	119,37	0	5935,3	2240
2	2826	12,7	1350	4,05	14	0,06	9800	57,62	84,24	25,41	6356	2241
3	1701	7,65	2250	6,75	15	0,06	10500	66,15	53,52	36,61	6776,7	2402

Як видно з розрахунків, приведені витрати на варіант з мінімальною кількістю цехових трансформаторів виявились найменшими. Його і приймаємо для подальших розрахунків.

РОЗДІЛ 5

ВИБІР КІЛЬКОСТІ ТА ПОТУЖНОСТІ ТРАНСФОРМАТОРІВ ПІДПРИЄМСТВА

У даному розділі випускної кваліфікаційної роботи розглядається процес вибору потужності та кількості силових трансформаторів для силових цехових трансформаторних підстанцій. Для визначення кількості та потужності необхідних трансформаторів використовується методика, описана у джерелі [1].

Умови перевірки вибору силового трансформатора для ТП-1:

$$K_3 = \frac{S_p}{n_T S_{\text{НОМТ}}} = \frac{1420,52}{2 \cdot 1000} = 0,71,$$

$$S_{\text{НОМТ}} = 2 \cdot 1000 = 2000 \geq \frac{S_p}{K_1} = \frac{1420,52}{1,08} = 1315,$$

$$S_{\text{НОМТ}} = 1000 \geq \frac{S_p}{K_2} = \frac{1420,52}{1,4} = 1015.$$

Отже ТМ-1000/10/04 задовольняє умовам вибору.

Аналогічні розрахунки для інших цехових трансформаторних підстанцій проводяться за тією ж методикою.

Отримані результати розрахунку та вибору трансформаторів для підстанцій підприємства наведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1. Результати вибору цехових ТП

№ ТП	К-сть	$S_{роз}$, кВА	K_3	$S_{ном} > S_p/K_1$	$S_{ном} > S_p/K_2$	Марка
ТП-1	2	1420,52	0,71	1315	1015	ТМ-1000-10/0,4
ТП-2	1	710,26	0,71	658	507	ТМ-1000-10/0,4
ТП-3	2	1442,44	0,72	1336	1030	ТМ-1000-10/0,4
ТП-4	1	721,22	0,72	668	515	ТМ-1000-10/0,4
ТП-5	2	1400,66	0,70	1297	1000	ТМ-1000-10/0,4
ТП-6	1	700,33	0,70	648	500	ТМ-1000-10/0,4
ТП-7	2	1400,12	0,70	1296	1000	ТМ-1000-10/0,4
ТП-8	1	700,06	0,70	648	500	ТМ-1000-10/0,4
ТП-9	1	697,33	0,70	646	498	ТМ-1000-10/0,4

РОЗДІЛ 6

РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКИХ ЗАМКНЕНЬ ТА ВИБІР ВИСОКОВОЛЬТНОГО ОБЛАДНАННЯ

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

6.1 Розрахунок струмів коротких замкнень

Для проведення розрахунку струмів короткого замикання була складена розрахункова схема (див. рис. 6.1), в якій вказано точки системи електропостачання, де необхідно виконати розрахунки струмів к.з.

За складеною розрахунковою схемою, було створено схему заміщення, на якій всі елементи мережі були представлені у вигляді опорів (див. рис. 6.2).

Виконаємо розрахунок активних і реактивних опорів компонентів електричної мережі.

Опори системи:

$$X_c = \frac{U_c^2}{S_{к.з.}} = \frac{10,5^2}{100} = 1,103 \text{ Ом} \quad R_c = \frac{X_c}{25} = \frac{1,103}{25} = 0,044 \text{ Ом}$$

Опори КЛ 10 кВ (2хАСБ-10(3х120, 5 км):

$$R_{кл} = \frac{r_0 \cdot l}{n_{кл}} = \frac{0,258 \cdot 5}{2} = 0,645 \text{ Ом}$$

$$X_{кл} = \frac{x_0 \cdot l}{n_{кл}} = \frac{0,081 \cdot 5}{2} = 0,2 \text{ Ом}$$

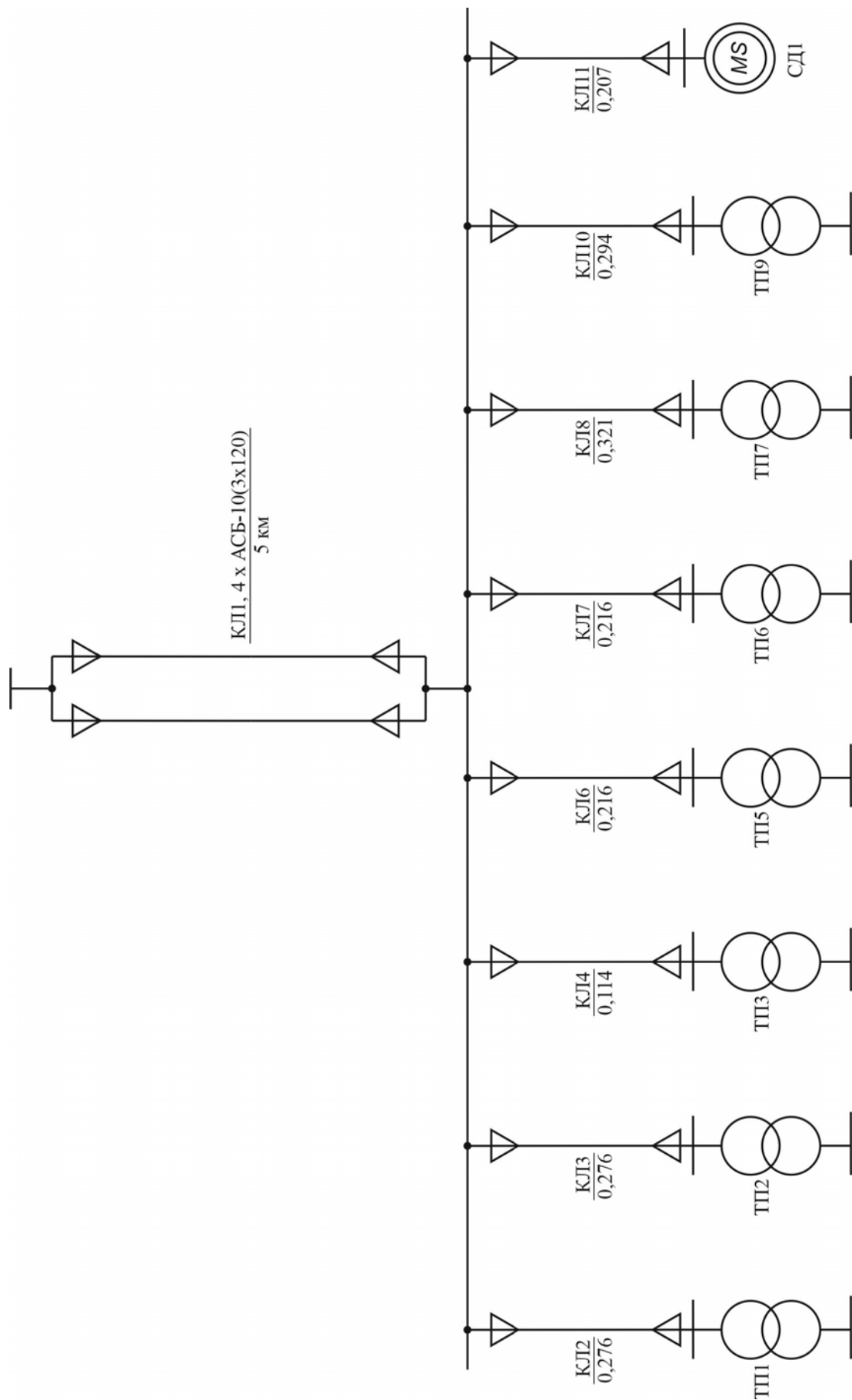


Рис. 6.1. Розрахункова схема СЕП

Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

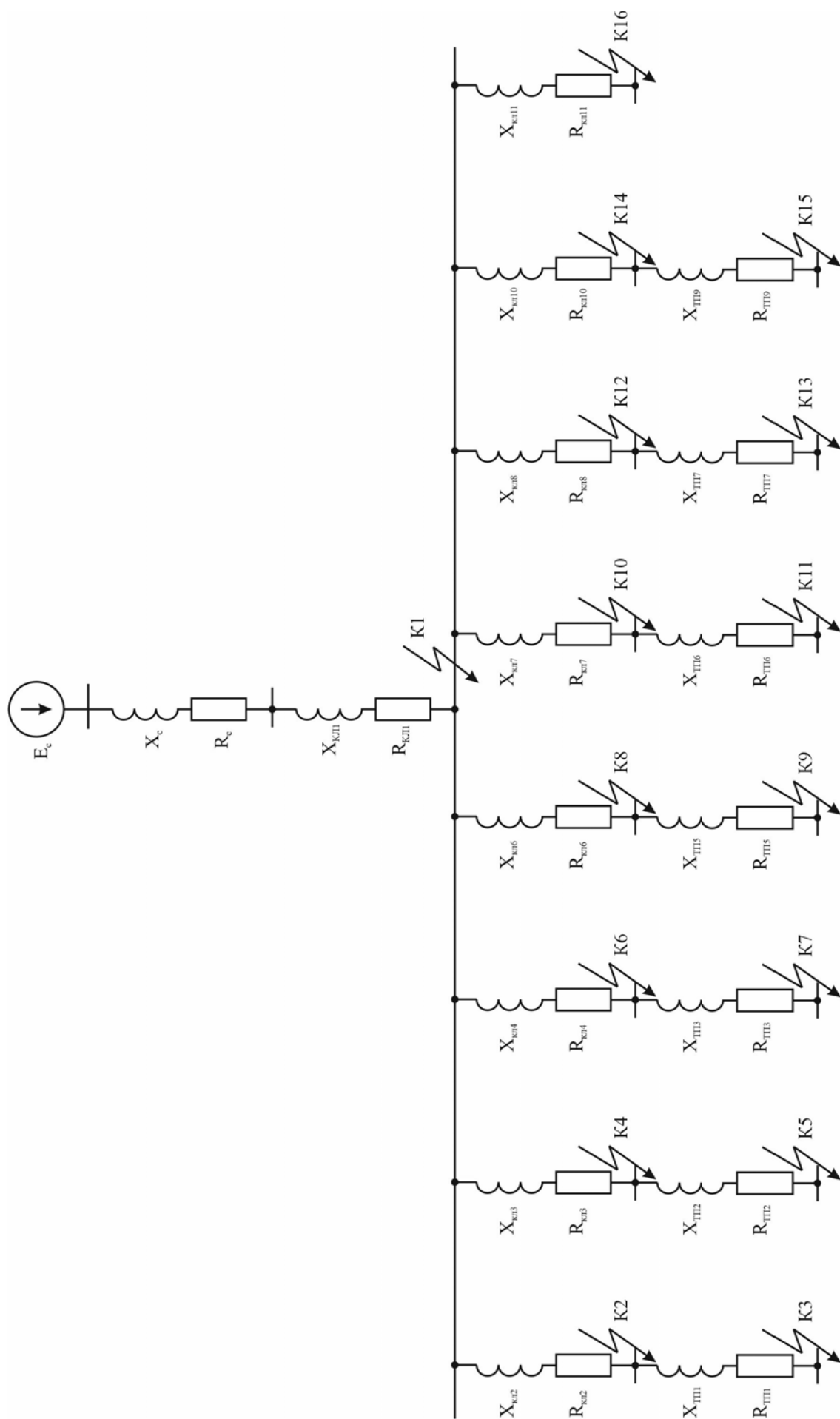


Рис. 6.2. Схема заміщення СЕС

Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

Результуючі опори до т. К1:

$$X_{K1} = X_c + X_{кл} = 1,103 + 0,2 = 1,303 \text{ Ом}$$

$$R_{K1} = R_c + R_{кл} = 0,044 + 0,645 = 0,689 \text{ Ом}$$

$$Z_{K1} = \sqrt{R_{K1}^2 + X_{K1}^2} = \sqrt{0,689^2 + 1,303^2} = 1,474 \text{ Ом}$$

Надперехідний струм в т. К1 від системи:

$$I''_{K1(c)} = \frac{U_{сп.ном.}}{\sqrt{3}Z_{K1}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 1,474} = 4,11 \text{ кА}$$

Стала часу в т. К1:

$$T_{a1} = \frac{X_{K1}}{\omega R_{K1}} = \frac{1,303}{314 \cdot 0,689} = 0,006 \text{ с}$$

Ударний коефіцієнт в т. К1:

$$k_{y\partial 1} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{a1}}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,006}} = 1,189$$

Ударний струм в т. К1 від системи:

$$i_{y\partial 1(c)} = \sqrt{2}k_{y\partial}I''_{K1(c)} = \sqrt{2} \cdot 1,189 \cdot 4,11 = 6,91 \text{ кА}$$

Номінальна повна потужність СД:

$$S_{ном} = \frac{P_{ном}}{\cos \varphi_{ном} \cdot \eta} = \frac{1}{0,8 \cdot 0,96} = 1,3 \text{ МВА}$$

						Арк.
						41
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Номінальний струм СД:

$$I_{ном} = \frac{S_{ном}}{\sqrt{3}U_{ном}} = \frac{1,3}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 0,071 \text{ кА}$$

Надперехідний струм СД:

$$I''_{K1(СД)} = n_{СД} \frac{E_*}{x_d''} I_{ном} = 2 \cdot \frac{1,1}{0,2} \cdot 0,071 = 0,781 \text{ кА}$$

Стала часу СД:

$$T_{aСД} = \frac{X_{СД}}{\omega R_{СД}} = \frac{15}{314} = 0,0478 \text{ с}$$

Ударний коефіцієнт струму підживлення від СД:

$$k_{y\partial(СД)} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{a(СД)}}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,0478}} = 1,811$$

Ударний струм в т. К1 від СД:

$$i_{y\partial 1(СД)} = \sqrt{2} k_{y\partial(СД)} I''_{K1(СД)} = \sqrt{2} \cdot 1,811 \cdot 0,781 = 2 \text{ кА}$$

Сумарний надперехідний струм к.з. на шинах ЦРП:

$$I''_{K1} = I''_{K1(c)} + I''_{K1(СД)} = 4,11 + 0,781 = 4,89 \text{ кА}$$

						Арк.
						42
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Сумарний ударний струм на шинах ЦРП:

$$i_{y\partial 1} = i_{y\partial 1(c)} + i_{y\partial 1(CД)} = 6,91 + 2 = 8,91 \text{ кА}$$

Розрахунковий струм КЛ1:

$$I_p = \frac{S_p}{n\sqrt{3}U_{cp.ном}} = \frac{1420,52}{2 \cdot 1,73 \cdot 10,5} = 39,05 \text{ А}$$

Тепловий імпульс:

$$B_k = I_{K1}^2 (t_{p.з.min} + T_a) = 4,89^2 (1,365 + 0,006) = 32,78 \text{ кА}^2\text{с}$$

Мінімальний переріз КЛ за умовою термічної стійкості:

$$F_{min} = \frac{1}{C} \sqrt{B_k} = \frac{1}{94} \sqrt{32,78} \cdot 10^3 = 60,91 \text{ мм}^2$$

Обираємо кабель ААШВ-10(3 х 70) ($I_{доп \text{ кл}} = 165 \text{ А}$, $x_{0\text{кл1}} = 0,086 \text{ Ом/км}$, $r_{0\text{кл1}} = 0,443 \text{ Ом/км}$).

Опори КЛ1:

$$R_{кл} = r_0 \cdot l_{кл} = 0,443 \cdot 0,276 = 0,122 \text{ Ом}$$

$$X_{кл} = x_0 \cdot l_{кл} = 0,086 \cdot 0,276 = 0,024 \text{ Ом}$$

Параметри інших КЛ 10 кВ приведені в табл. 6.1.

						Арк.
						43
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Таблиця 6.1. Параметри КЛ 10 кВ

№ КЛ	l , км	r_0 , Ом/км	x_0 , Ом/км	R , Ом	X , Ом
1	5,000	0,258	0,081	0,645	0,203
2	0,276	0,443	0,086	0,122	0,024
3	0,276	0,443	0,086	0,122	0,024
4, 5	0,114	0,443	0,086	0,051	0,010
6	0,216	0,443	0,086	0,096	0,019
7	0,216	0,443	0,086	0,096	0,019
8, 9	0,321	0,443	0,086	0,142	0,028
10	0,294	0,443	0,086	0,130	0,025
11	0,207	0,443	0,086	0,092	0,018
12	0,207	0,443	0,086	0,092	0,018

Результуючі опори до т. К2:

$$X_{K2} = X_{K1} + X_{кл} = 1,303 + 0,024 = 1,327 \text{ Ом}$$

$$R_{K2} = R_{K1} + R_{кл} = 0,689 + 0,122 = 0,811 \text{ Ом}$$

$$Z_{K2} = \sqrt{R_{K2}^2 + X_{K2}^2} = \sqrt{0,811^2 + 1,327^2} = 1,555 \text{ Ом}$$

Надперехідний струм в т. К2:

$$I_{K2}'' = \frac{U_{ср.ном.}}{\sqrt{3}Z_{K2}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 1,555} = 3,9 \text{ кА}$$

Стала часу в т. К2:

$$T_{a2} = \frac{X_{K2}}{\omega R_{K2}} = \frac{1,327}{314 \cdot 0,811} = 0,0052 \text{ с}$$

Ударний коефіцієнт в т. К2:

$$k_{y\partial 2} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{a2}}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,0052}} = 1,146$$

Ударний струм в т. К2:

$$i_{y\partial 2} = \sqrt{2} k_{y\partial} I''_{K2} = \sqrt{2} \cdot 1,146 \cdot 3,9 = 6,32 \text{ кА}$$

Опори цехового трансформатора ТП1 (ТМ-1000/10):

$$R_{mp} = \frac{\Delta P_{\kappa} U_{cp.ном}^2}{S_{ном}^2} = \frac{8,6 \cdot 10,5^2}{1000^2} \cdot 10^3 = 0,948 \text{ Ом}$$

$$X_{mp} = \frac{U_{\kappa, \%} U_{cp.ном}^2}{S_{ном}} = \frac{5,5 \cdot 10,5^2}{1000} \cdot 10 = 6,064 \text{ Ом}$$

Результуючі опори до т. К3 (приведені до 0,4 кВ):

$$X_{K3} = (X_{K2} + X_{mp}) \left(\frac{U_{нн}}{U_{вн}} \right)^2 = (1,327 + 6,064) \left(\frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 0,0107 \text{ Ом}$$

$$R_{K3} = (R_{K2} + R_{mp}) \left(\frac{U_{нн}}{U_{вн}} \right)^2 = (0,811 + 0,948) \left(\frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 0,0026 \text{ Ом}$$

$$Z_{K3} = \sqrt{R_{K3}^2 + X_{K3}^2} = \sqrt{0,0026^2 + 0,0107^2} = 0,011 \text{ Ом}$$

						Арк.
						45
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Надперехідний струм в т. КЗ:

$$I_{K3}'' = \frac{U_{cp.ном.}}{\sqrt{3}Z_{K3}} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 0,011} = 20,99 \text{ кА}$$

Стала часу в т. КЗ:

$$T_{a3} = \frac{X_{K3}}{\omega R_{K3}} = \frac{0,0107}{314 \cdot 0,0026} = 0,0131 \text{ с}$$

Ударний коефіцієнт в т. КЗ:

$$k_{y\partial 3} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{a3}}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,0131}} = 1,466$$

Ударний струм в т. КЗ:

$$i_{y\partial 3} = \sqrt{2}k_{y\partial}I_{K3}'' = \sqrt{2} \cdot 1,466 \cdot 20,99 = 43,52 \text{ кА}$$

Розрахунок струмів короткого замикання для інших точок системи електропостачання підприємства проводиться за аналогічною методикою. У табл. 6.2 наведені отримані результати цього розрахунку.

						Арк.
						46
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Таблиця 6.2. Результати розрахунку струмів к. з.

№ точки к.з.	$R, \text{ Ом}$	$X, \text{ Ом}$	$I_{\kappa}'' , \text{ кА}$	$T_a, \text{ с}$	$k_{y\partial}$	$i_{y\partial}, \text{ кА}$
1	0,6890	1,3030	4,89	0,0060	1,189	8,91
2	0,8110	1,3270	3,90	0,0052	1,146	6,32
3	0,0026	0,0107	20,99	0,0131	1,466	43,52
4	0,8110	1,3270	3,90	0,0052	1,146	6,32
5	0,0026	0,0107	20,99	0,0131	1,466	43,52
6	0,7400	1,3130	4,02	0,0057	1,173	6,67
7	0,0024	0,0107	20,99	0,0142	1,494	44,35
8	0,7850	1,3220	3,94	0,0054	1,157	6,45
9	0,0025	0,0107	20,99	0,0136	1,479	43,90
10	0,7850	1,3220	3,94	0,0054	1,157	6,45
11	0,0025	0,0107	20,99	0,0136	1,479	43,90
12	0,8310	1,3310	3,86	0,0051	1,141	6,23
13	0,0026	0,0107	20,99	0,0131	1,466	43,52
14	0,8190	1,3280	3,89	0,0052	1,146	6,30
15	0,0026	0,0107	20,99	0,0131	1,466	43,52
16	0,7810	1,3210	3,95	0,0054	1,157	6,46

8.2 Вибір кабельних ліній напругою 10 кВ

Згідно з Правилами улаштування електроустановок (ПУЕ) [2], переріз струмопровідних ліній з напругою понад 1 кВ має бути вибраний з урахуванням тривало допустимої сили струму в нормальному та післяаварійному режимах, а також з оцінкою очікуваного зростання навантаження, яке не повинно перевищувати 25-30% від розрахункового значення. В якості прикладу проведемо розрахунок з вибору КЛ1.

Розрахунковий струм КЛ1:

$$I_p = \frac{S_p}{n\sqrt{3}U_{cp.ном}} = \frac{1420,52}{2 \cdot 1,72 \cdot 10,5} = 39,05 \text{ A}$$

Обираємо кабель ААШВ-10(3х70)

Перевірка КЛ за допустимим навантаженням:

$$I_p = 39,05 \text{ A} \leq K_n \cdot I_{дон} = 0,9 \cdot 165 = 148,5 \text{ A}$$

Перевірка КЛ в аварійному режимі:

$$I_{ав} = 78,1 \text{ A} \leq K_{ан} \cdot K'_n \cdot I_{дон} = 1,35 \cdot 1 \cdot 165 = 222,75 \text{ A}$$

Тепловий імпульс:

$$B_k = I_{K1}^2 (t_{p.з. min} + T_a) = 4,89^2 (1,365 + 0,006) = 60,91 \text{ кА}^2\text{с}$$

Мінімальний переріз КЛ за умовою термічної стійкості:

$$F_{min} = \frac{1}{C} \sqrt{B_k} = \frac{1}{94} \sqrt{32,78} \cdot 10^3 = 60,91 \text{ мм}^2$$

Результати вибору інших КЛ наведено в табл. 6.3.

						Арк.
						48
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Таблиця .6.3. Результати вибору КЛ 10 кВ

№ КЛ	$n, шт$	S_p, MVA	I_p, A	$I_{p.ав.}, A$	$F_{ек}, \frac{мм^2}{мм^2}$	$B_{к}, \frac{мм^2}{кА^2 \cdot с}$	$F_{min}, \frac{мм^2}{мм^2}$	Марка кабеля	$I_{дон}, A$	K_n	$K_n I_{дон}, A$	$K_{ан}$	K'_n	$K_{ан} K'_n I_{дон}, A$
1	4	9788,4	134,56	269,12	112,13	32,78	60,91	4 х АСБ-10(3 х 120)	240	0,8	192	1,35	0,9	291,6
2	2	1420,52	39,05	78,1	32,54	32,78	60,91	2 х ААШВ-10(3х70)	165	0,9	148,5	1,35	1	222,75
3	1	710,26	39,05	-	32,54	32,78	60,91	1 х ААШВ-10(3х70)	165	1	165	-	-	-
4, 5	3	2163,66	39,66	79,32	33,05	32,78	60,91	3 х ААШВ-10(3х70)	165	0,85	140,25	1,35	0,9	200,48
6	2	1400,66	38,51	77,02	32,09	32,78	60,91	2 х ААШВ-10(3х70)	165	0,9	148,5	1,35	1	222,75
7	1	700,33	38,51	-	32,09	32,78	60,91	1 х ААШВ-10(3х70)	165	1	165	-	-	-
8, 9	3	2100,18	38,49	76,98	32,08	32,78	60,91	3 х ААШВ-10(3х70)	165	0,85	140,25	1,35	0,9	200,48
10	1	697,33	38,34	-	31,95	32,78	60,91	1 х ААШВ-10(3х70)	165	1	165	-	-	-
11	1	1250	68,73	-	57,28	32,78	60,91	1 х ААШВ-10(3х70)	165	1	165	-	-	-
12	1	1250	68,73	-	57,28	32,78	60,91	1 х ААШВ-10(3х70)	165	1	165	-	-	-

6.3 Вибір електричних апаратів високої напруги

В даному пункті було здійснено вибір таких електричних апаратів:

- високовольтних вимикачів номінальною напругою 10 кВ;
- вибір розрядників та обмежувачів перенапруги.

Розрахунки проводились згідно з методикою, що описана в роботі [1].

Результати розрахунків з вибору ввідного вимикача 10 кВ дано в табл. 6.4.

Таблиця 6.4. Вибір ввідного вимикача 10 кВ

Параметр вимикача	Умова вибору	Розрахунок
Номінальна напруга, кВ	$U_{уст} \leq U_{ном}$	$10 \leq 10$
Довготривалий струм, кА	$I_{роб.форс} \leq I_{ном}$	$565,13 \leq 630$
Відключаюча здатність: - симетричний струм: - аперіодична складова: - повний струм:	$I_{n\tau} \leq I_{відкл.ном}$ $i_{a\tau} \leq \sqrt{2}\beta_n I_{відкл.ном}$ $\sqrt{2}I_{n\tau} + i_{a\tau} \leq \sqrt{2}I_{ном.відкл} (1 + \beta_n)$	$4,89 \leq 20$ $0 \leq 11,31$ $1,41 \cdot 4,89 + 0 < 1,41 \cdot 20 \cdot (1 + 0,4)$ $6,92 \leq 39,6$
Динамічна стійкість: - симетричний струм: - ударний струм:	$I'' \leq I_{дин.ст}$ $i_y \leq 1,8\sqrt{2}I_{дин.ст}$	$4,89 \leq 52$ $8,91 \leq 132,37$
Термічна стійкість	$B_k \leq I_{TH}^2 t_{TH}$	$29,84 \leq 1200$

Мінімальний час від початкового моменту к. з. до моменту розходження контактів:

$$\tau = t_{pz.min} + t_{c.g} = 0,5 + 0,042 = 0,542 \text{ с}$$

Аперіодична складова струму к. з.:

$$i_{a\tau} = \sqrt{2}I''e^{\frac{-\tau}{T_a}} = 1,41 \cdot 4,89 \cdot e^{\frac{-0,542}{0,006}} = 0 \text{ кА}$$

Тепловий імпульс:

$$B_{\kappa} = I''^2(t_{c.в.} + t_{pz.max} + T_a) = 4,89^2 (0,042 + 1,2 + 0,006) = 29,84 \text{ кА}^2\text{с}$$

Обираємо до встановлення вакуумний вимикач ВР1-10-20/630.

6.4 Вибір потужності та схем живлення трансформаторів власних потреб

Схема підключення трансформаторів власних потреб приведена на рис. 6.3.

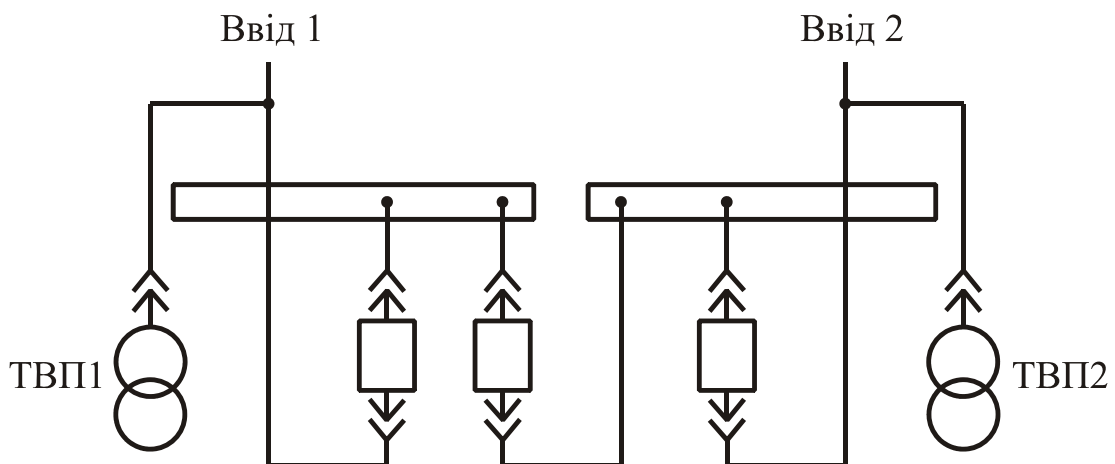


Рис. 6.3. Схема приєднання ТВП

Результати розрахунку навантаження ТВП наведені в табл. 6.5.

Таблиця 6.5. Результати розрахунку електричного навантаження ТВП

№ n/n	Споживачі	$P_{ном},$ кВт	$n,$ шт.	$P_{сум},$ кВт	$\cos \varphi$	$\tan \varphi$	$P_{уст},$ кВт	$Q_{уст},$ кВАр
1.	Пристрої підігріву комірок КРП	0,6	24	14,4	0,97	0,25	14,4	4
2.	Опалення і освітлення примі-							
	щення оперативного персоналу	6	3	18	0,97	0,25	18	5
3.	Зовнішнє освітлення	4,5	4	18	0,97	0,25	18	5
4.	Споживання оперативними							
	колами	4,5	4	18	0,97	0,25	18	5
Всього							68,4	19

Сумарне навантаження ТВП:

$$S_{уст} = \sqrt{P_{уст}^2 + Q_{уст}^2} = \sqrt{68,4^2 + 19^2} = 70,99 \text{ кВА}$$

Розрахункова потужність ТВП:

$$S_p = K_c S_{уст} = 0,8 \cdot 70,99 = 56,79 \text{ кВА}$$

Обираємо до встановлення 2 ТВП типу ТМ-40/10.

Коефіцієнт завантаження:

$$K_3 = \frac{S_p}{n \cdot S_{ном}} = \frac{56,79}{2 \cdot 40} = 0,71$$

6.5 Вибір трансформаторів струму і напруги

В табл. 6.6 наведено результати розрахунків з вибору ТС на вводах 10 кВ.

Таблиця 6.6. Результати розрахунків з вибору ТС на вводах 10 кВ

Параметр ТС	Умова вимору	Розрахунок
Номінальна напруга	$U_{уст} \leq U_{ном}$	$10 \leq 10$
Довготривалий номінальний струм	$I_{роб.форс} \leq I_{ном}$	$565,13 \leq 600$
Динамічна стійкість	$i_y \leq i_{дин.}$	$8,91 \leq 81$
Термічна стійкість	$B_k \leq I_{тер}^2 t_{тер}$	$29,84 \leq 2976,75$
Вторинне навантаження	$Z_2 \leq Z_{ном}$	$0,2 \leq 0,4$

Обираємо ТС типу ТЛК-10/600 У1. Технічні характеристики ТС наведено в табл. 6.7.

Таблиця 6.7. Технічні характеристики трансформатора струму ТЛК-10/600 У1

Тип	$U_{ном}$	$I_{ном}$	$I_{д.с.}$	$Z_{2ном}$	$I_{тн}$	t_n
ТЛК-10/600 У1	10	600	81	0,4	31,5	3

Результати розрахунків вторинного навантаження обраного ТС приведені в табл. 6.8.

Таблиця 6.8. Результати розрахунків вторинного навантаження ТС

Назва обладнання	Тип	Навантаження по фазах		
		Фаза А	Фаза В	Фаза С
Амперметр	Е 377	0,1	-	0,1
Лічильник	230ART2	0,1	0,1	0,1
Всього на вводі		0,2	0,1	0,2

						Арк.
						53
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Опір приладів, Ом:

$$Z_{\text{прил}} = \frac{S_{\text{прил}}}{I_{\text{ном}}^2} = \frac{0,2}{5^2} = 0,01$$

Необхідний опір проводів, Ом:

$$R_{\text{пров}} = Z_{2\text{ном}} - Z_{\text{прил}} - R_{\text{к}} = 0,4 - 0,01 - 0,1 = 0,29 \text{ Ом}$$

Переріз проводів вторинних кіл ТС, мм²:

$$F = \frac{\rho \cdot l_{\text{розр}}}{R_{\text{пров}}} = \frac{0,0283 \cdot 50}{0,29} = 4,88$$

Обираємо контрольний кабель АКРВГ-6.

Опір кабелю, Ом:

$$R_{\text{пров.ст.}} = \frac{\rho \cdot l_{\text{розр}}}{F_{\text{пр.ст}}} = \frac{0,0283 \cdot 50}{6} = 0,24$$

Вторинне навантаження ТС, Ом:

$$Z_2 = Z_{\text{прил}} + R_{\text{пров.ст}} + R_{\text{конт}} = 0,01 + 0,24 + 0,1 = 0,35$$

Результати розрахунку навантаження ТН наведені в табл. 6.9.

						Арк.
						54
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Таблиця 6.9. Результати розрахунку навантаження ТН

<i>Прилад</i>	<i>Тип</i>	<i>S, ВА</i>	<i>Число обмоток</i>	<i>Число приладів</i>	<i>S_Σ, ВА</i>
Вольтметр	Е 377	1	1	1	1
Ватметр	Д-335	1,5	1	1	1,5
Варметр	Д-304	2	1	1	2
Багатофункціональний лічильник	230ART2	7,5	3	1	22,5
Багатофункціональний лічильник	230AR	7,5	2	9	135
<i>Всього</i>					<i>162</i>

Обираємо ТН типу НАМИ-10-66-У3: $S_{\text{ном}} = 200$ ВА, $U_{\text{ном}} = 10$ кВ,
клас точн.— 0,5.

РОЗДІЛ 7

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ГІБРИДНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВА

7.1 Застосування гібридних систем електропостачання промислових підприємств

Гібридна система електропостачання – це система, яка поєднує різні джерела енергії для забезпечення електропостачання. Такі системи зазвичай комбінують відновлювані джерела енергії, наприклад сонячні панелі або вітрові турбіни, з традиційними джерелами енергії, такими як дизельні генератори, акумуляторні батареї, розподільовальна електрична мережа.

Головна перевага гібридних систем полягає в тому, що вони забезпечують стабільне і незалежне електропостачання, особливо в регіонах, де немає доступу до централізованої електромережі. Вони дозволяють ефективно використовувати відновлювані джерела енергії, зменшуючи залежність від дорого вартісних паливних ресурсів і знижуючи рівень шкідливих вуглецевих викидів.

У гібридних системах електропостачання можуть бути різні режими роботи. Наприклад, коли виробництво енергії з відновлюваних джерел перевищує потреби споживачів, надлишок енергії може зберігатися в електричних акумуляторах або використовуватися для генерації в розподільовальну електричну мережу. У випадку, коли виробництво енергії з відновлюваних джерел недостатнє, система може автоматично активувати традиційні джерела енергії, використовувати запаси електрики із акумуляторів.

Гібридні системи електропостачання стають все більш популярними, особливо у сфері житлового будівництва, комерційних підприємств та сільськогосподарських підприємств. Вони сприяють зниженню витрат на енергію, покращенню сталості постачання електроенергії і зменшенню впливу на навколишнє середовище.

Особливого поширення в гібридних системах електропостачання отримали фотоелектричні станції з сонячними батареями.

7.2. Вибір обладнання фотоелектричної станції

На поверхні покрівлі одного із корпусів підприємства заплановано до розміщення сонячних батарей фотоелектричної станції та інверторних перетворювачів. З урахуванням потрібної потужності генерації та технічної можливості їх розміщення на покрівлі будівлі виконаємо розрахунок з вибору необхідного числа сонячних батарей.

Фотоелектрична станція встановлюється з метою зменшення грошової плати за спожиту від розподільчальної мережі електричну енергію.

Необхідна потужність фотоелектричної станції:

$$P_{\text{ФЕС}} = 0,667 \cdot P_p = 0,667 \cdot 270 = 180 \text{ кВт.}$$

Обираємо фотоелектричні модулі типу Jinko Solar JKM260P з величиною номінальної потужності 260 Вт кожен. Технічні дані фотоелектричних модулів Jinko Solar JKM260P приведено в табл. 7.1.

Таблиця 7.1. Технічні дані фотоелектричних модулів Jinko Solar JKM260P

№ з/п	Найменування показника	Значення
1	Максимальна потужність, P_{max} , Вт	260
2	Струм короткого замикання, $I_{\text{к.з.}}$, А	8,98
3	Напруга холостого ходу, $U_{\text{х.х.}}$, В	38,1
4	Напруга в точці максимальної потужності, $U_{\text{мп}}$, В	31,1
5	Струм в точці максимальної потужності, $I_{\text{мп}}$, А	8,37
6	Коефіцієнт ефективності, %	16,21

Для забезпечення необхідної потужності фотоелектричної станції необхідно встановити наступне число сонячних батарей (фотоелектричних модулів):

$$N_{CB} = \frac{P_{\Phi EC}}{P_{CB}} = \frac{180}{0,26} = 692 \text{ шт.}$$

Враховуючи втрати електричної потужності в сонячних батареях та інверторних пристроях обираємо до встановлення $N_{CB} = 700$ шт. панелей.

Установлена величина потужності фотоелектричних модулів:

$$P_{\Phi EC} = N_{CB} P_{CB} = 700 \cdot 0,26 = 182 \text{ кВт.}$$

Згідно аналізу існуючих типів інверторного обладнання обрано до встановлення пристрої Sunny Tripower 15000TL, дані яких приведено в табл. 7.2.

Таблиця 7.2. Технічні дані інверторних пристроїв Sunny Tripower 15000TL

№ з/п	Найменування показника	Значення
1	Номінальна потужність Вт	15 000
2	Максимальне напруга постійного струму, кВ	1,0
3	Робоча напруга постійного струму, кВ	0,36-0,8
4	Робочий максимальний струм, кА	0,033
5	Номінальне значення повної потужності, ВА	15 340
6	Робочий максимальний струм (змінний), кА	0,024
7	Робоча вихідна напруга, кВ	0,38
8	Коефіцієнт ефективності, в.о.	0,982

Необхідна кількість інверторів:

$$N_{\text{інв}} = \frac{P_{\Phi EC}}{P_{\text{ном.інв}}} = \frac{182000}{15000} = 12,13 \approx 13 \text{ шт.}$$

						Арк.
						58
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

7.3 Комп'ютерні імітаційні моделі гібридної системи електропостачання з фотоелектричною станцією

На рис. 7.1 приведено узагальнену структурну схему гібридної системи електропостачання з фотоелектричною станцією, яка працює в паралельному режимі з мережею електроживлення.

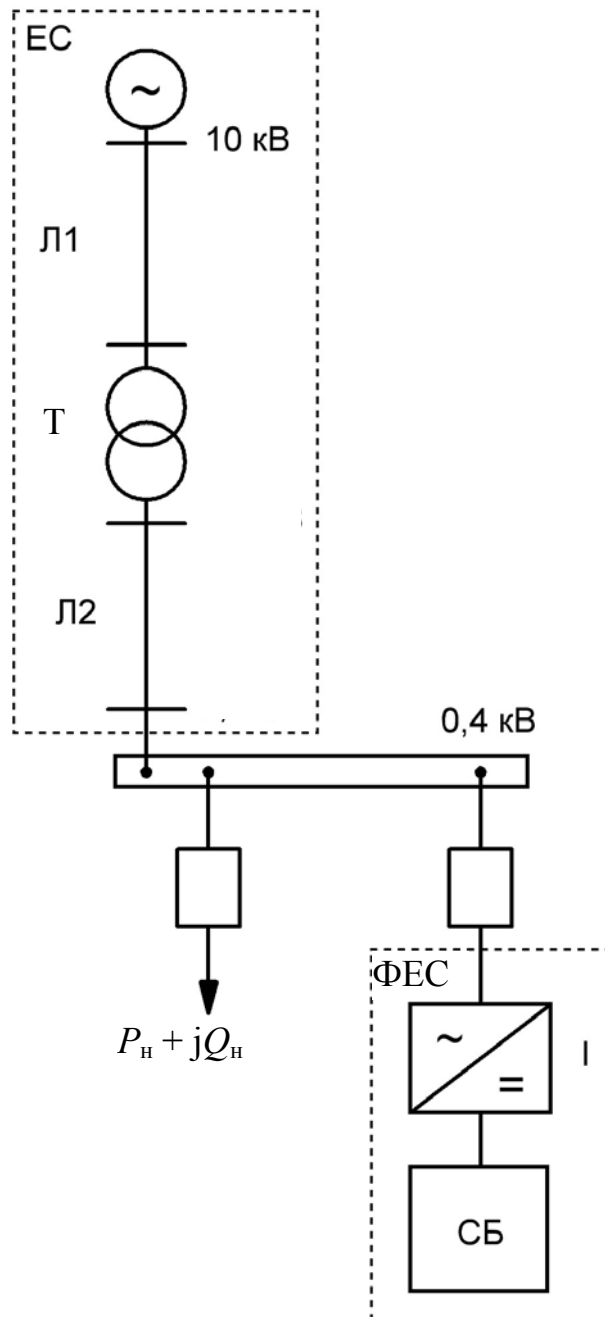


Рис. 7.1. Узагальнена структурна схема гібридної системи електропостачання з фотоелектричною станцією

На рис. 7.1 приведено:

ЕС – енергетична система (розподільвальна мережа);

Л1 – електропередавальна лінія 10 кВ;

Т – понижуючий трансформатор 10/0,4 кВ;

Л2 – електропередавальна лінія 0,4 кВ;

$P_n + jQ_n$ – активна та реактивна потужність навантаження споживачів підприємства;

ФЕС – фотоелектрична станція;

І – інверторний перетворювач;

СБ – сонячні батареї.

Інженерами та вченими розроблено велике число як розрахункових та експериментальних методів аналізу режимів роботи гібридних систем електропостачання.

Одним із найбільш поширених методів такого аналізу є використання комп'ютерних імітаційних моделей. Згаданий метод дає можливість з достатньою для інженерних та наукових потреб точністю виконувати аналіз параметрів режиму систем електропостачання (струми, напруги, потужності).

Для реалізації завдання виконання аналізу режимів роботи гібридної системи електропостачання з відновлюваними джерелами енергії слід вирішити задачу розробки комп'ютерної імітаційної моделі гібридної системи електропостачання з фотоелектричною станцією.

Вирішенню вказаної задачі присвячений даний розділ роботи.

Комп'ютерна імітаційна модель гібридної системи електропостачання з фотоелектричною станцією складається з моделей для окремих її елементів. Принципова схема гібридної системи електропостачання, для якої виконувалась розробка комп'ютерної імітаційної моделі, показана на рис. 7.2.

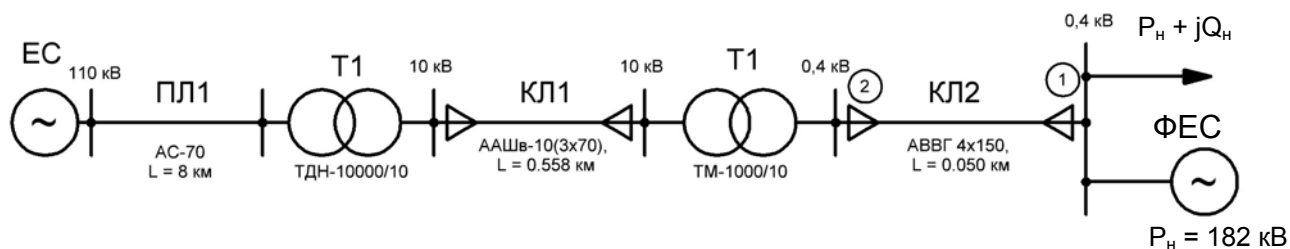
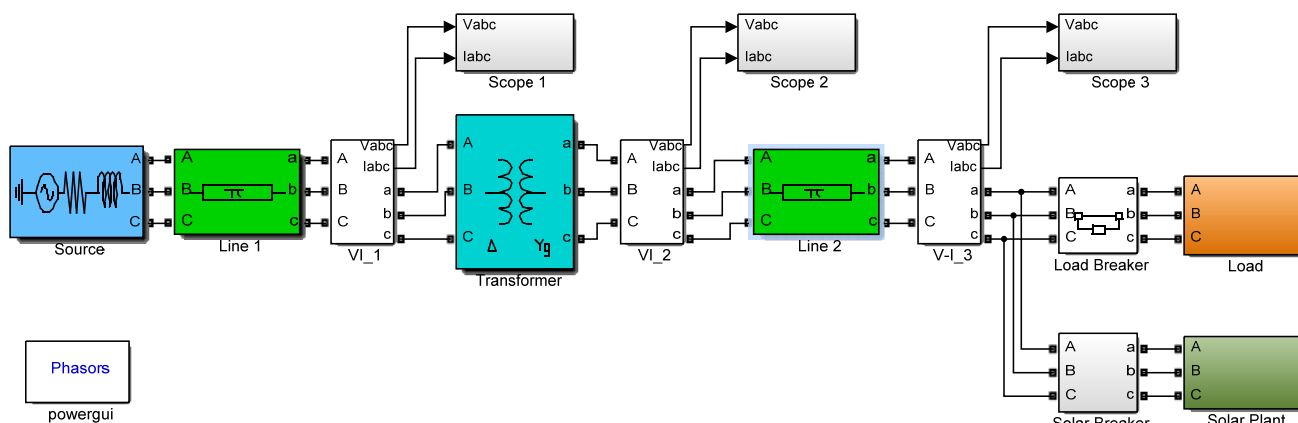
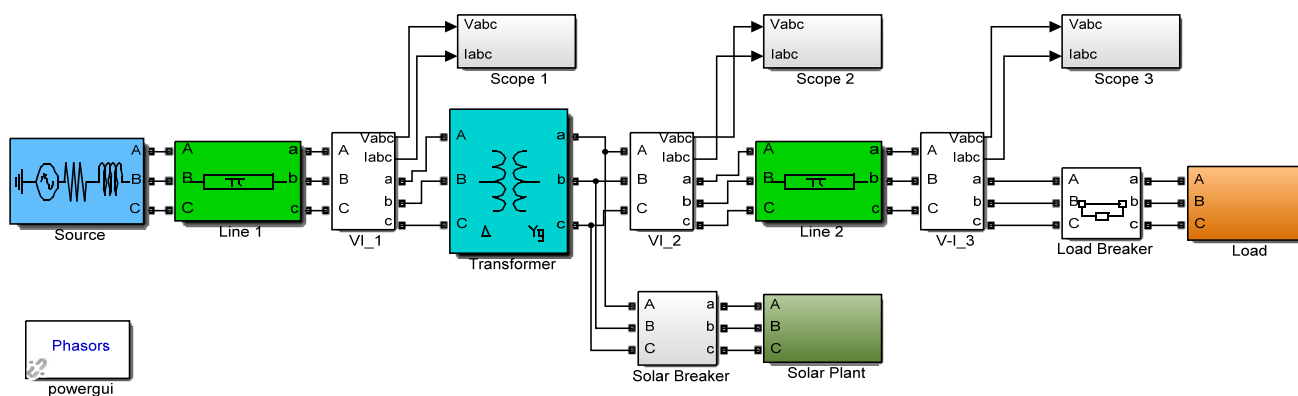


Рис. 7.2. Принципова схема гібридної системи електропостачання з ФЕС

На рис. 7.3 приведена узагальнена функціональна схема реалізована в пакеті Matlab/Simulink комп'ютерної моделі гібридної системи електропостачання.



а)



б)

Рис. 7.3. Узагальнена функціональна схема реалізована в пакеті Matlab/Simulink комп'ютерної моделі гібридної системи електропостачання:

а – підключення ФЕС в пункті 1; б – підключення ФЕС в пункті 2

Структурні схеми комп'ютерних моделей підблоків *Load* та *Solar Plant* приведені на рис. 7.4 та рис. 7.5 відповідно.

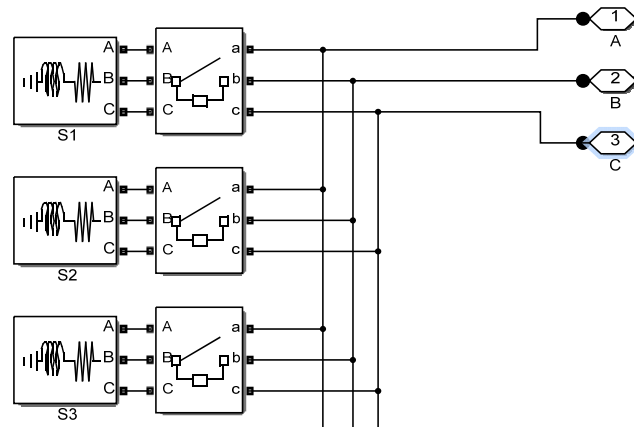


Рис. 7.4. Структурна схема комп'ютерної моделі підблоку *Load* ($S = [S1 \dots S24]$)

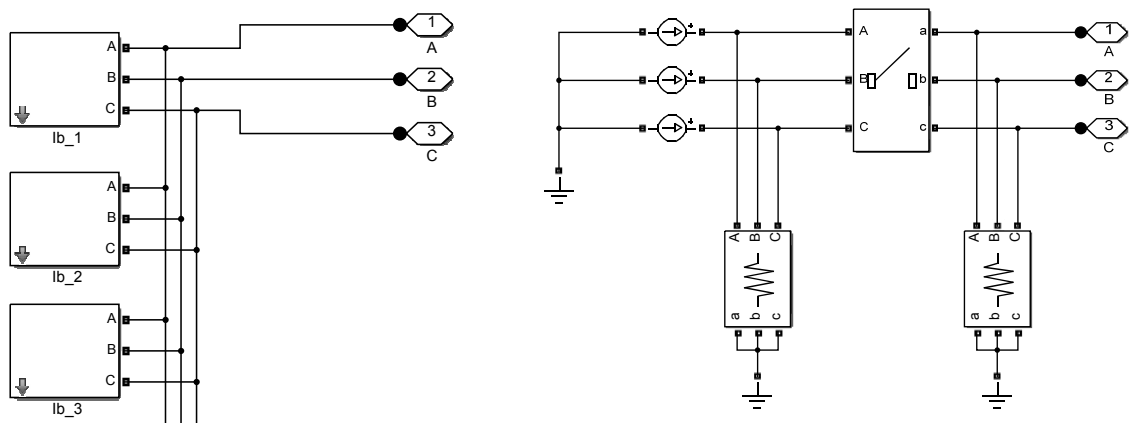


Рис. 7.5. Структурна схема моделі блоку *Solar Plant* ($Ib = [Ib_1 \dots Ib_{16}]$)

Особливість будови вказаних підблоків викликана тим, що в бібліотеці елементів SimPowerSystems не передбачено моделі змінного в часі навантаження (генерації). Тому зміна значень електричних навантажень та значень генерації електроенергії ФЕС у відповідності з графіками навантажень (генерації) моделюються для кожного інтервалу усереднення окремим блоком навантаження (трифазного джерела струму).

7.4 Комп'ютерне імітаційне моделювання роботи гібридної системи електропостачання з фотоелектричною станцією

Запропоновані в роботі комп'ютерні імітаційні моделі дають можливість аналізувати режими роботи гібридної системи електропостачання з фотоелектричною станцією, зокрема визначати рівні напруги у вузлах схеми та величину втрат потужності в елементах електричних мереж. За її допомогою є можливість виконати перевірку правильності результатів, що були отримані шляхом теоретичних досліджень.

Основними завданнями аналізу режимів роботи гібридної системи електропостачання з фотоелектричною станцією методом комп'ютерного імітаційного моделювання є наступні:

- розрахувати ступінь впливу фотоелектричної станції на величину напруги для різних варіантів підключення ФЕС до мережі;
- виконати аналіз значення втрати активної потужності в складових елементах системи електропостачання для різних варіантів підключення ФЕС до мережі.

В результаті аналізу принципової схеми гібридної системи електропостачання (рис. 7.2) очевидно, що підключити ФЕС можливо у вузлі 1 або вузлі 2. Другий варіант підключення ФЕС доцільно брати до уваги лише у випадку, коли електропередавальна лінія Л2 належить підприємству та відсутні організаційно-технічних складнощі такого варіанту підключення ФЕС.

Підсумки виконаного комп'ютерного імітаційного моделювання режиму роботи гібридної системи електропостачання для обох варіантів приєднання ФЕС до мережі розподілу електричної енергії приведено на рис. 7.10(6) – 7.24(20).

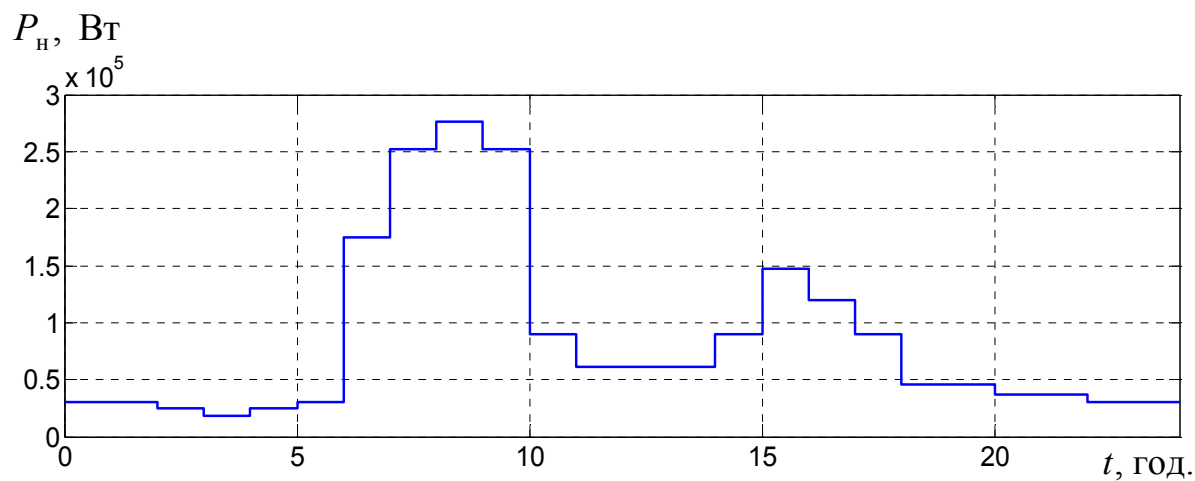


Рис. 7.6. Графік активного навантаження підприємства протягом доби

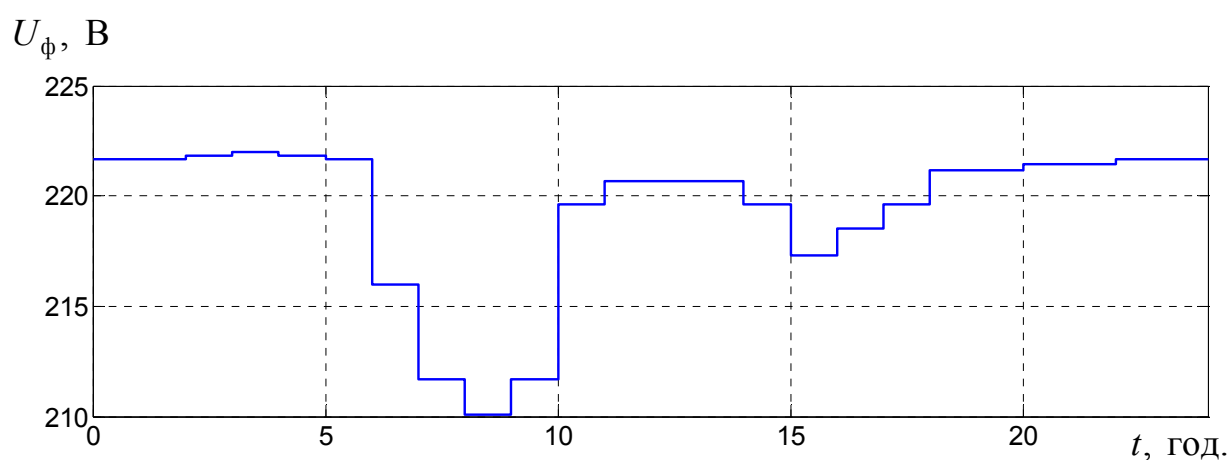


Рис. 7.7. Графік фазної напруги в точці 1 схеми при відсутності ФЕС

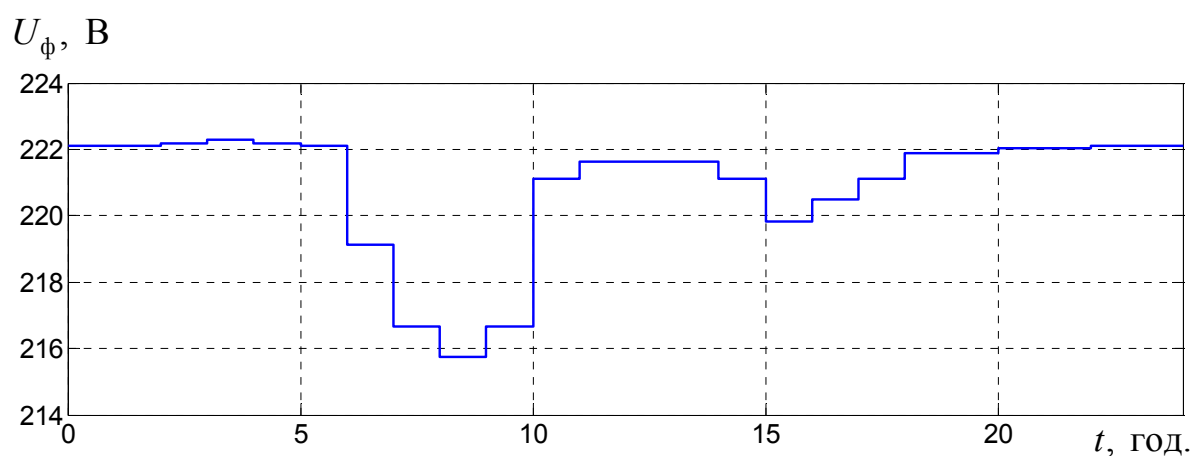


Рис. 7.8. Графік фазної напруги в точці 2 схеми при відсутності ФЕС

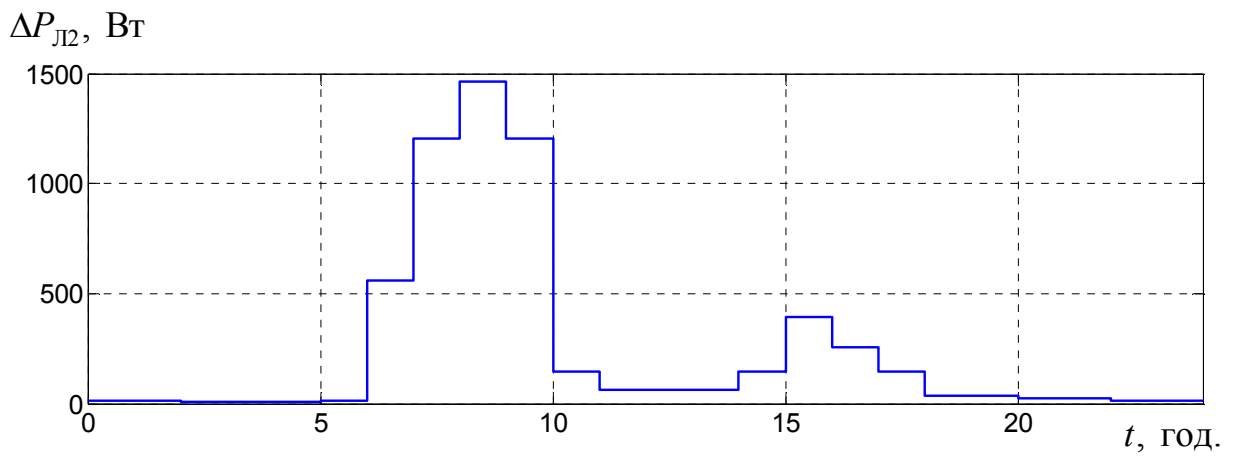


Рис. 7.9. Графік втрат потужності в лінії Л2 при відсутності ФЕС

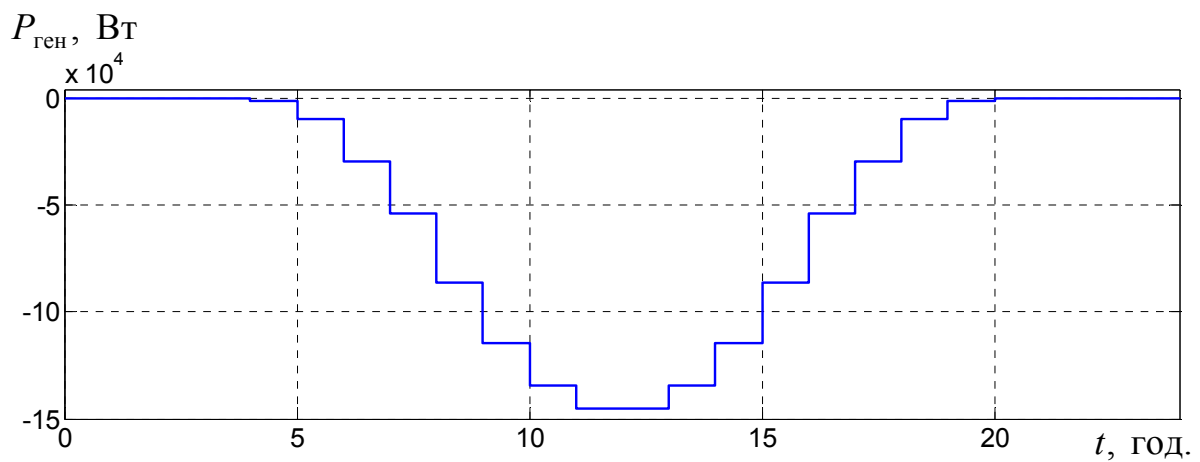


Рис. 7.10. Графік виробництва активної потужності ФЕС

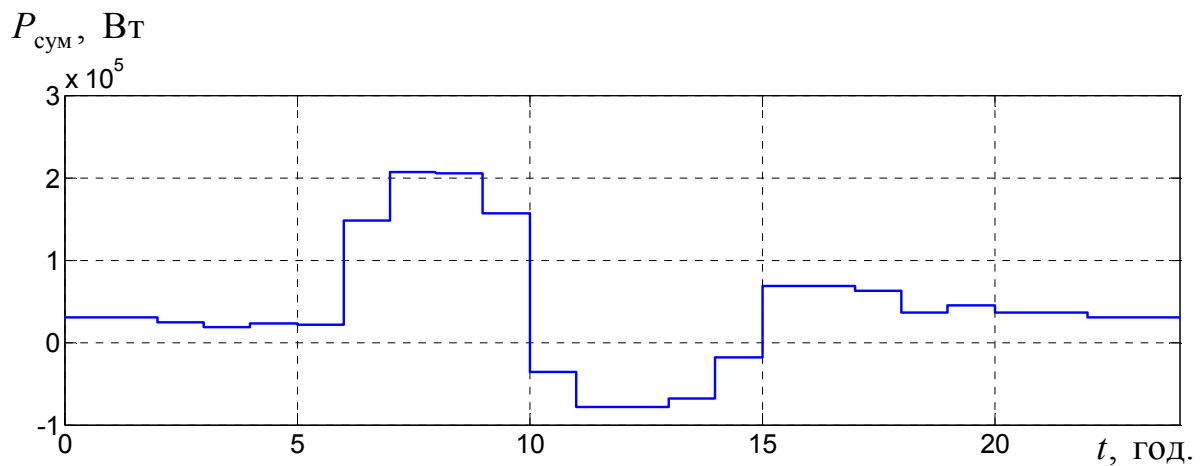


Рис. 7.11. Графік суми генерації ФЕС і споживання навантаженням

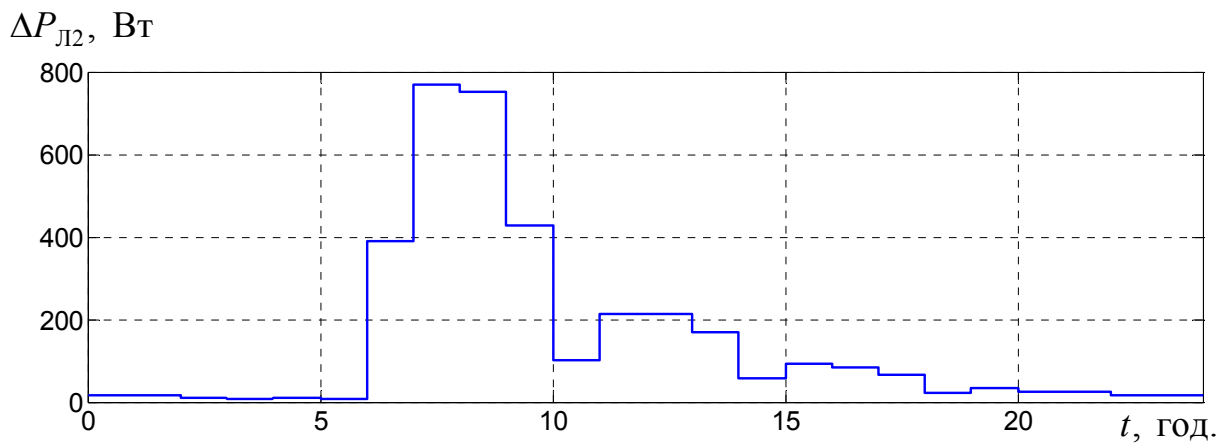


Рис. 7.12. Графік втрат потужності в лінії Л2 при підключенні ФЕС в точці 1

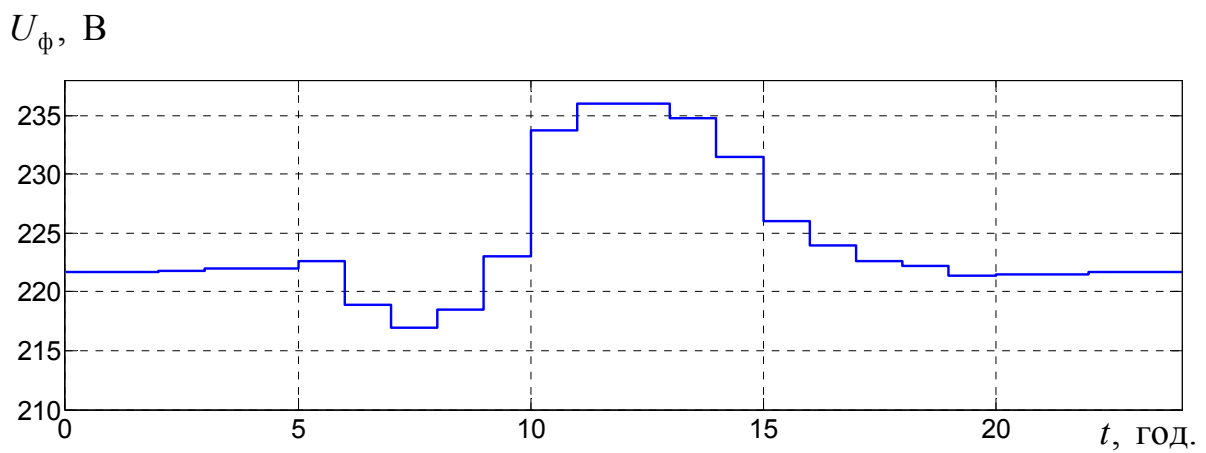


Рис. 7.13. Графік фазної напруги при підключенні ФЕС в точці 1

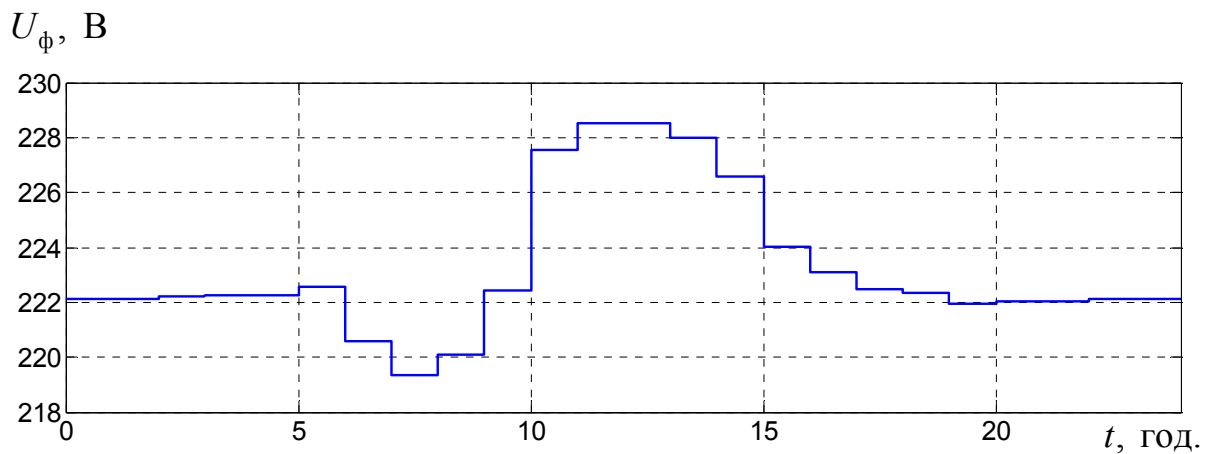


Рис. 7.14. Графік фазної напруги при підключенні ФЕС в точці 1

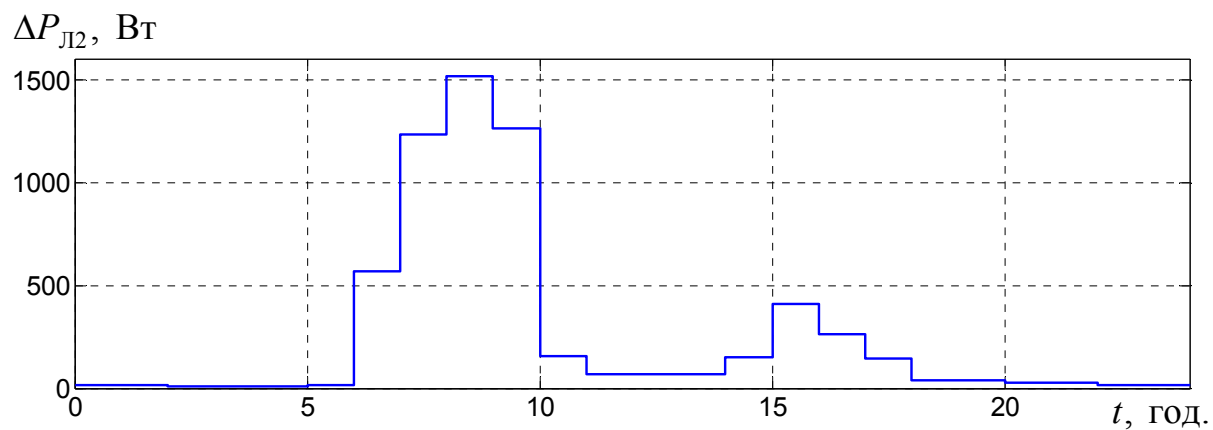


Рис. 7.15. Графік втрат потужності в лінії Л2 при підключенні ФЕС в точці 2

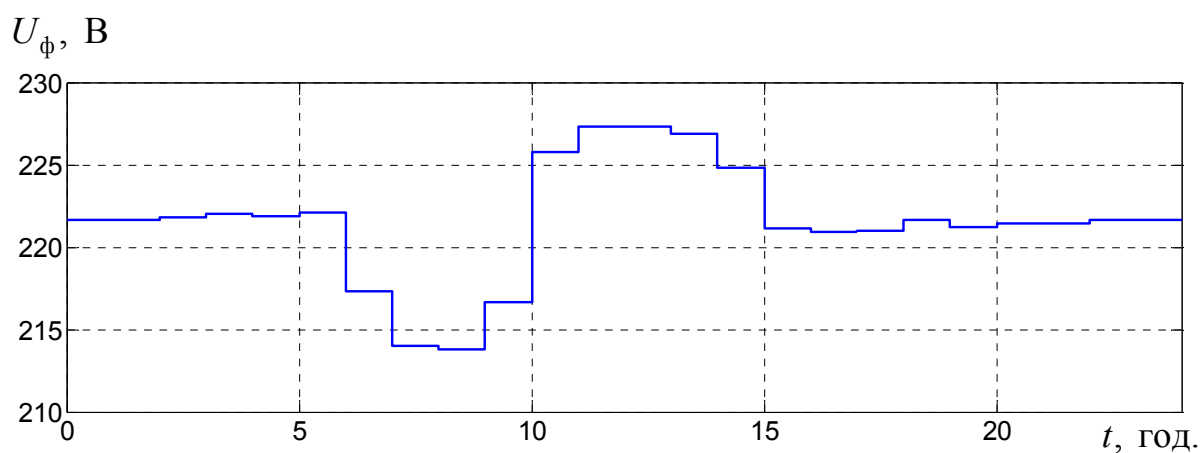


Рис. 7.16. Графік фазної напруги при підключенні ФЕС в точці 1

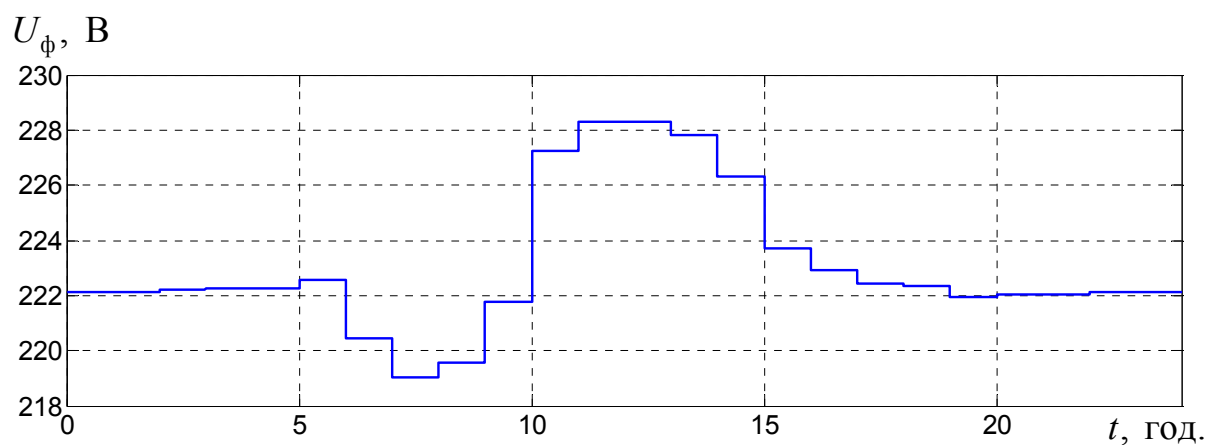


Рис. 7.17. Графік фазної напруги при підключенні ФЕС в точці 2

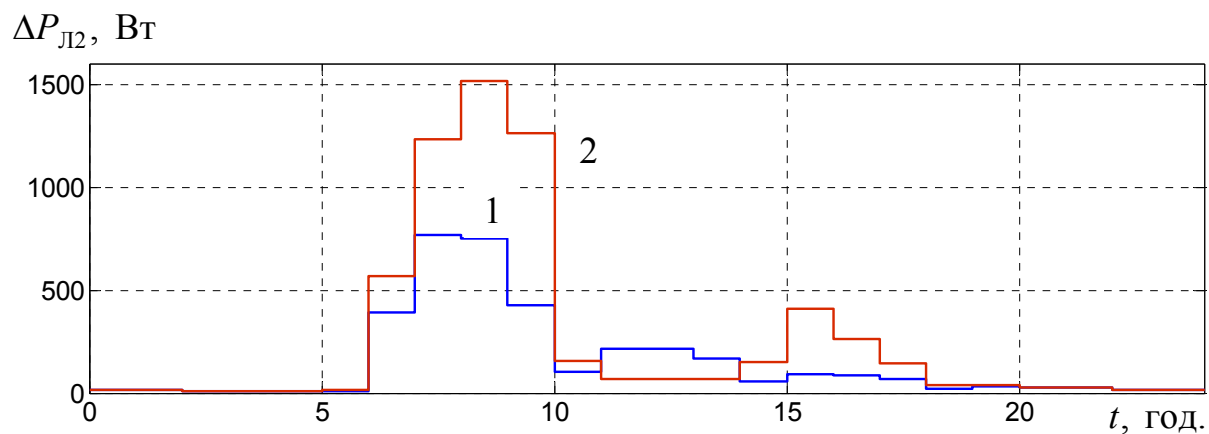


Рис. 7.18. Графік втрат потужності в лінії Л2 при підключенні ФЕС в точках 1 і 2

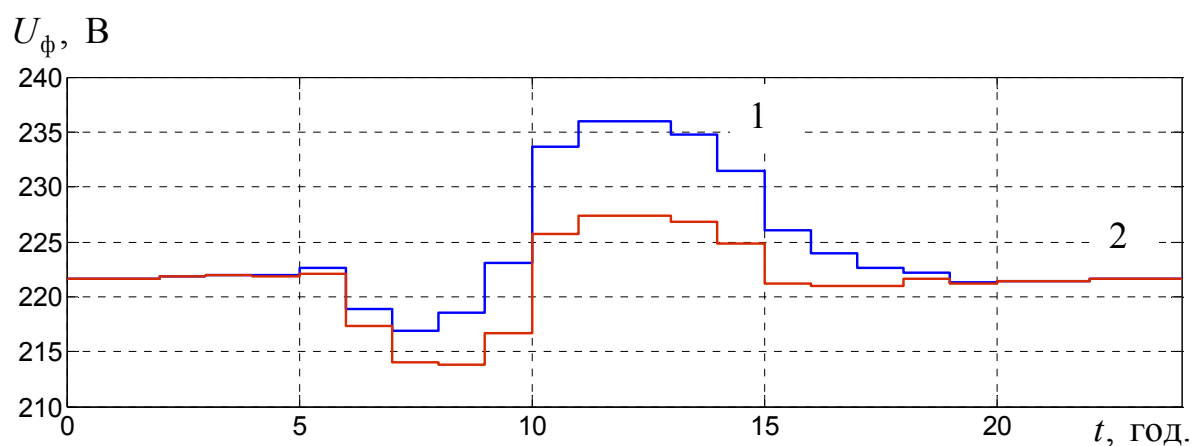


Рис. 7.19. Графік фазної напруги U_ϕ в точці 1 схеми

1 – при підключенні ФЕС в точці 1; 2 – при підключенні ФЕС в точці 2

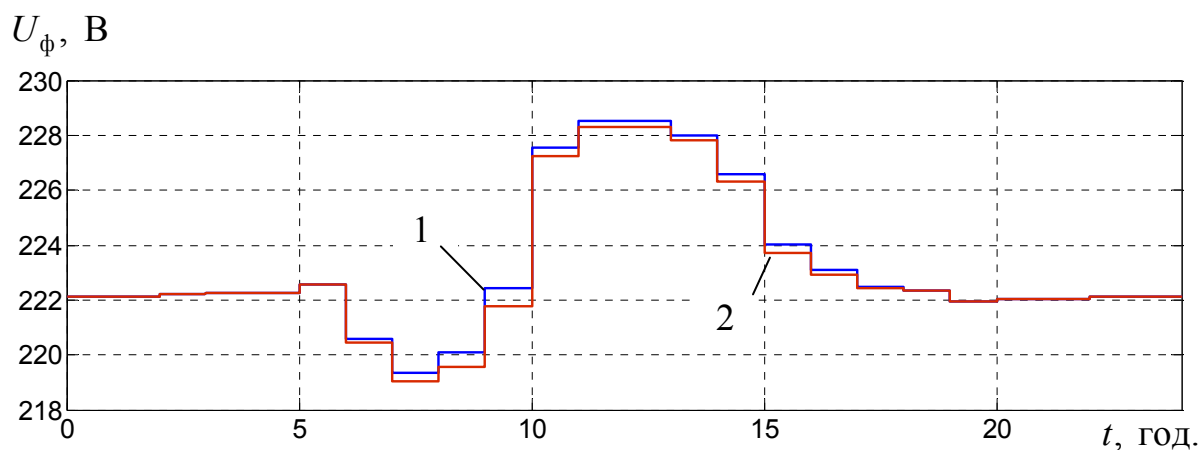


Рис. 7.20. Графік фазної напруги точці 2 схеми

1 – при підключенні ФЕС в точці 1; 2 – при підключенні ФЕС в точці 2

Було виконано статистичну обробку значень напруги в точках 1 та 2 схеми для випадків приєднання ФЕС до цих точок, а підсумки подано в табл. 7.3.

Таблиця 7.3. Підсумки статистичної обробки даних напруг

Година	Приєднання ФЕС в точку 1 схеми				Приєднання ФЕС в точку 2 схеми			
	$U_{ф.т1}, В$	$\Delta U_{т1}, \%$	$U_{ф.т2}, В$	$\Delta U_{т2}, \%$	$U_{ф.т1}, В$	$\Delta U_{т1}, \%$	$U_{ф.т2}, В$	$\Delta U_{т2}, \%$
1	221,63	0,77	222,13	1	221,66	0,76	222,12	0,96
2	221,64	0,75	222,2	0,95	221,66	0,73	222,12	1,03
3	221,85	0,9	222,26	1,09	221,89	0,85	222,29	1,01
4	222,01	0,97	222,31	1,13	222,04	0,97	222,4	1,1
5	222,07	0,93	222,39	1,09	221,98	0,93	222,31	1,07
6	222,77	1,32	222,64	1,28	222,13	1	222,67	1,22
7	218,95	-0,49	220,68	0,3	217,38	-1,14	220,48	0,26
8	216,96	-1,37	219,47	-0,22	214,06	-2,66	219,04	-0,42
9	218,55	-0,64	220,15	0,08	213,88	-2,72	219,66	-0,18
10	223,15	1,49	222,44	1,12	216,8	-1,49	221,81	0,88
11	233,75	6,29	227,56	3,5	225,88	2,66	227,4	3,35
12	236,09	7,33	228,59	3,94	227,35	3,39	228,39	3,78
13	236,03	7,32	228,56	3,93	227,31	3,37	228,38	3,87
14	234,87	6,81	228,08	3,74	226,89	3,17	227,83	3,65
15	231,53	5,27	226,6	3,1	224,83	2,23	226,34	2,93
16	226,03	2,76	224,01	1,84	221,12	0,54	223,7	1,73
17	223,99	1,86	223,14	1,46	220,94	0,42	222,9	1,34
18	222,68	1,18	222,56	1,2	221,08	0,54	222,44	1,12
19	222,28	1,1	222,32	1,13	221,69	0,81	222,36	1,06
20	221,37	0,61	222	0,89	221,22	0,62	221,99	0,93
21	221,5	0,68	222,09	0,99	221,54	0,74	222	0,92
22	221,55	0,69	222,06	0,96	221,58	0,72	222,1	0,96
23	221,65	0,74	222,18	1,02	221,69	0,75	222,17	0,96
24	221,68	0,78	222,12	0,97	221,65	0,8	222,16	1,04
<i>M</i>	224,31	2,04	223,3	1,6	221,58	0,73	223,12	1,43
$P_{\text{інт}}, \%$		79,3		100		100		100

Також було виконано статистичну обробку значень втрат потужності в лінії Л2 для випадків приєднання ФЕС в точках 1 і 2, а підсумки подано в табл. 7.4.

Таблиця 7.4. Підсумки статистичної обробки значень втрат потужності в лінії ЛЗ

Година	Приєднання ФЕС в т. 1			Приєднання ФЕС в т. 2		
	P_1 , Вт	P_2 , Вт	$\Delta P_{ЛЗ}$, Вт	P_1 , Вт	P_2 , Вт	$\Delta P_{ЛЗ}$, Вт
1	30611,07	30628,04	16,97	30611,04	30628,03	16,99
2	30611,08	30628,07	16,99	30611,02	30628,07	17,05
3	24531,03	24542,02	10,99	24531,05	24542,02	10,97
4	18430,07	18436,04	5,97	18430,01	18436,04	6,03
5	23119,09	23129,09	10	24545,09	24556,08	10,99
6	20744,09	20751,08	6,99	30736,1	30752,03	15,93
7	147958,1	148347	388,94	176136	176701	565
8	206351	207121,1	770,04	255928	257160,1	1232,06
9	205567,1	206318,1	750,96	283765,1	285281,1	1516,01
10	157207,1	157634	426,97	262335	263597,1	1262,04
11	-36640	-36537,9	102,04	95194,08	95347	152,92
12	-78869,9	-78658,9	211,02	64376,05	64445,08	69,03
13	-78870	-78659	210,99	64376,05	64445,05	69
14	-68755	-68585	169,98	64097,03	64165,06	68,03
15	-17652	-17593,9	58,08	94406	94558,09	152,09
16	69100,05	69192,03	91,98	152090,1	152497	406,94
17	69027,09	69110,08	82,99	121482,1	121742	259,95
18	62170,06	62236,01	65,95	91190,09	91337,07	146,98
19	35943,02	35965,08	22,06	45899	45936,05	37,05
20	44321,06	44355,04	33,98	45740,08	45777,08	37
21	36669,03	36693,01	23,98	36669,07	36693,1	24,03
22	36669	36693,06	24,06	36669,03	36693,06	24,03
23	30611,05	30628,07	17,02	30611,06	30628,09	17,03
24	30611,09	30628,09	17	30611,05	30628,01	16,96
Сумм	999464,3	1003000	3535,95	2111039	2117173	6134,11

Із аналізу даних, що подані в табл. 7.3 за приєднання ФЕС в т.1 семи деякий час наявні понаднормові відхилення напруги, що стає причиною поганої якості електричної енергії за показником усталеного відхилення напруги (інтегральна ймовірність $P(\Delta U_{т1}) = 79,3\% < 95\%$). У разі ж приєднання ФЕС в т.2 семи значення усталеного відхилення напруги задовольняє вимогам нормативних документів. Однак, як можна бачити із результатів визначення втрат потужності (табл. 7.4) у разі приєднання ФЕС до т.2 схеми величина втрат електроенергії в лінії Л2 зросли на 42 %. Тому оптимально приєднати ФЕС в т.1 схеми при вжитті заходів з нормалізації режиму напруги.

ВИСНОВКИ

В випускній кваліфікаційній роботі було здійснено проектування системи електропостачання підприємства з виробництва м'ясовмісної продукції.

Згідно чинних норм, розрахунок силових навантажень було проведено методом коефіцієнта розрахункової потужності. Для визначення освітлювальних навантажень застосовувався метод питомої потужності.

При здійсненні техніко-економічного порівняння схем зовнішнього електропостачання було встановлено, що передача електроенергії до підприємства за допомогою кабельних ліній напругою 10 кВ з підстанції на відстані 5 км є більш ефективним варіантом, ніж використання повітряних ліній з напругою 110 кВ.

У результаті проведення розрахунку балансу реактивної потужності було визначено потрібну кількість і потужність компенсуючих пристроїв з напругами 10 кВ і 0,4 кВ.

Після проведення розрахунку струмів короткого замикання було визначено необхідне високовольтне обладнання, зокрема вимикачі та кабельні лінії внутрішньозаводської мережі з напругою 10 кВ. Окрім цього було розглянуто питання вибору вимірювальних трансформаторів струму та напруги з номінальною напругою 10 кВ.

Проведено аналіз гібридної системи електропостачання з фотоелектричними станціями, визначено оптимальну точку підключення фотоелектростанції.

Загалом, система енергопостачання, яку було розроблено, відповідає вимогам надійності, та економічності, які ставляться до подібних систем.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. 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.
2. Правила улаштування електроустановок / Міненерговугілля України. – Київ : 2017. – 617 с.
3. Електропостачання: підручник / П. О. Василега. – Суми : Сумський державний університет, 2019. – 521 с.
4. 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.
5. Рудницький В. Г. Внутрішньоцехове електропостачання. Курсове проектування : навчальний посібник / В. Г. Рудницький. – Суми : Університетська книга, 2007. – 280 с.
6. 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.
7. Рудницький В. Г. Внутрішньозаводське електропостачання. Курсове проектування : навчальний посібник / В. Г. Рудницький. – Суми : Університетська книга, 2006. –153 с.

						Арк.
						72
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		