

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет будівництва, транспорту та енергетики

Кафедра «Електротехнічні системи та енергетичний менеджмент»

“Допущено до захисту”

Зав. кафедри ЕТС та ЕМ

к.т.н., професор

Петро ПЛЄШКОВ

“ ____ ” _____ 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ
ВИЩОЇ ОСВІТИ

на тему:

«Проектування системи електропостачання
заводу з виробництва керамічних виробів»

Виконав здобувач вищої освіти

IV курсу, групи ЕЕ–22мб

ОПП «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»

спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»

_____ Роман КАЛЬЧЕНКО

« ____ » _____ 2025 р.

Керівник роботи

доцент, канд.техн.наук,

_____ Катерина ПЕТРОВА

« ____ » _____ 2025 р.

Рецензент _____

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

Петро ПЛЄШКОВ

«_____» _____ 2025 р.

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

Кальченка Романа Олександровича

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи Проектування системи електропостачання заводу з

виробництва керамічних виробів

Design of the power supply system for a ceramic production plant

2. Керівник роботи Петрова Катерина Григорівна, к.т.н., доцент

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

3. Строк подання роботи до захисту 06.06.2025 р.

4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи Метою роботи є створення сучасної системи електропостачання підприємства з виробництва керамічних виробів з мінімальними втратами в елементах мережі та розробленням комплексу заходів з підвищення надійності системи електропостачання критичних споживачів промислового об'єкта

Завдання: 1. Електричні навантаження в системі електропостачання. 2. Картограма електричних навантажень та місце розташування центральної розподільної установки (головної знижувальної підстанції). 3. Техніко-економічне обґрунтування схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання підприємства. 4. Компенсація реактивної потужності 5. Трансформаторні підстанції 6. Розрахунок струмів коротких замикань і вибір обладнання

електроустановок та силових мереж системи електропостачання. 7. Спеціальний розділ. Висновки. Перелік посилань

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів валіфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Електричні навантаження в системі електропостачання</i>	<i>03.02.25</i>	
2	<i>Картограма електричних навантажень та місце розташування центральної розподільної установки (головної знижувальної підстанції)</i>	<i>03.03.25</i>	
3	<i>Техніко-економічне обґрунтування схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання підприємства</i>	<i>31.03.25</i>	
4	<i>Компенсація реактивної потужності</i>	<i>14.04.25</i>	
5	<i>Трансформаторні підстанції</i>	<i>28.04.25</i>	
6	<i>Розрахунок струмів коротких замикань і вибір обладнання електроустановок та силових мереж системи електропостачання</i>	<i>05.05.25</i>	
7	<i>Спеціальний розділ</i>	<i>19.05.25</i>	
8	<i>Оформлення пояснювальної записки КР</i>	<i>26.05.25</i>	
9	<i>Оформлення презентаційної частини КР</i>	<i>26.05.25</i>	

Дата видачі завдання

«03» лютого 2025 р.

Підпис керівника _____

Катерина ПЕТРОВА

Завдання прийнято до виконання

«03» лютого 2025 р.

Підпис здобувача _____

Роман КАЛЬЧЕНКО

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: 72 с.; 17 рис.; 36 табл.; 10 джерел.

Кальченко Р. О. Проєктування системи електропостачання заводу з виробництва керамічних виробів. – Рукопис.

Бакалаврська робота за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» ОПІ «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». – Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, 2025 рік.

Основна мета – забезпечення надійного, ефективного та безпечного електроживлення всіх споживачів підприємства, з урахуванням технологічних особливостей виробництва, енергетичних вимог і вимог нормативних документів.

У роботі здійснено повний розрахунок електричних навантажень, зокрема: силових навантажень у мережах до і понад 1000 В, освітлювальних навантажень та побудовано графіки електроспоживання. Визначено оптимальне місце розташування головної знижувальної підстанції. Проведено техніко-економічне обґрунтування вибору схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання підприємства, а також виконано розрахунок реактивної потужності з подальшим підбором та розміщенням пристроїв компенсації. Спеціальний розділ присвячено розробці системи гарантованого електроживлення відповідальних споживачів заводу. Проведено розрахунок повної потужності навантажень, пускових струмів, тривалості автономної роботи генератора, втрат у кабельних лініях та допустимих навантажень.

Ключові слова: електропостачання, керамічне виробництво, резервне живлення, дизель-генератор, надійність електропостачання.

ABSTRACT

Qualification work: 72 p.; 17 fig.; 36 tables; 10 sources.

Kalchenko R. O. Design of the power supply system for a ceramic production plant. – Manuscript.

Bachelor's thesis on speciality 141 "Electric power engineering, electrical engineering and electromechanics", OPP "Electric power engineering, electrical engineering and electromechanics". – Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, 2025.

The main goal is to ensure reliable, efficient, and safe power supply to all consumers of the enterprise, taking into account the technological features of the production process, energy requirements, and regulatory standards. The work includes a comprehensive calculation of electrical loads, including: power loads in networks up to and above 1000 V, lighting loads, and the development of electricity consumption graphs. The optimal location for the main step-down substation has been determined. A technical and economic justification has been carried out for selecting the schemes of external and internal power supply for the enterprise. Additionally, reactive power has been calculated, followed by the selection and placement of compensation devices.

A special section is devoted to the development of a guaranteed power supply system for the plant's critical consumers. It includes calculations of total load power, starting currents, generator autonomous operation time, power losses in cable lines, and permissible load levels.

Keywords: power supply, ceramic production, backup power, diesel generator, power supply reliability.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1. Електричні навантаження в системі електропостачання.....	11
1.1. Визначення силових електронавантажень у мережах до 1000 В	11
1.2. Визначення освітлювальних електронавантажень	13
1.3. Визначення електронавантажень у силових мережах вище 1000 В	15
1.4. Графіки електричних навантажень	21
2. Картограма електричних навантажень та місце розташування головної знижувальної підстанції (ГЗП)	25
3. Техніко-економічне обґрунтування схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання підприємства.....	28
3.1. Схема приєднання та вибір напруги живлення.....	28
3.2. Вибір напруги і схеми внутрішнього електропостачання	31
4. Компенсація реактивної потужності.....	32
4.1. Розрахунок балансу реактивної потужності та вибір пристроїв для її компенсації.....	32
4.2 Вибір кількості, потужності та місця розташування пристроїв компенсації реактивної потужності	33
5. Трансформаторні підстанції	41
5.1. Вибір кількості та потужності трансформаторів цехових трансформаторних підстанцій	41
5.2. Компоновка та місце розташування трансформаторних підстанцій	42
6. Розрахунок струмів коротких замикань і вибір обладнання електроустановок та силових мереж системи електропостачання	43

						КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ					
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	Проектування системи електропостачання заводу з виробництва керамічних виробів			<i>Літ.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>	
<i>Розроб.</i>		Р. Кальченко									
<i>Перевір.</i>		К. Петрова			Design of the power supply system for a ceramic production plant			ЦНТУ гр. ЕЕ-22мб			
<i>Н.контр.</i>											
<i>Затв.</i>		П. Плешков									

1. ЕЛЕКТРИЧНІ НАВАНТАЖЕННЯ В СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЗАВОДУ З ВИРОБНИЦТВА КЕРАМІЧНИХ ВИРОБІВ

1.1. Визначення силових електронавантажень у мережах до 1000 В

Розрахунок електричних навантажень виконується згідно з методикою, наведеною у [2]. Для цеху підготовки глиняної маси №1 визначаються наступні показники:

- загальна кількість змонтованого технологічного обладнання — $n = 48$ од;
- сумарна номінальна потужність усіх споживачів — $\sum P_H = 720$ кВт;
- середня потужність навантаження — $\sum P_{CM} = 504$ кВт та $\sum Q_{CM} = 378$ кВар відповідно активна та реактивна.

$$n_E = 2 \cdot \sum P_H / P_{H.MAX} = 2 \cdot 720 / 25 = 48.$$

Таким чином, обчислене навантаження становить:

$$P_P = \sum P_{CM} \cdot K_M = 504 \cdot 1,0 = 504 \text{ кВт};$$

$$Q_P = \sum Q_{CM} = 378 \text{ кВар};$$

$$S_P = \sqrt{P_P^2 + Q_P^2} = 630 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

У вигляді таблиці 1.1 наведено результати аналогічних обчислень для інших підрозділів та в цілому для заводу керамічних виробів.

										Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата						

Таблиця 1.1. Розрахунок обсягів ел. нав. в мережі до 1 кВ

№	Структурні підрозділи заводу	n	Р од.		P_{Σ}	m	K_B	cos ϕ	tg ϕ	Серед. Зм.		n_E	K_M	Розрах. знач. навантаження		
			min	max						P_{CM} , кВт	Q_{CM} , квар			P_P , кВт	Q_P , квар	S_P , кВА
1	Цех підготовки глиняної маси №1	48	3	...	25	8	0,7	0,80	0,75	504	378	48	1,00	504	378	630
2	Цех форм. керам. заготовок №1	31	1	...	30	30	0,7	0,80	0,75	232	174	22	1,00	232	174	290
3	Адміністративно-лаб. корпус	32	1	...	20	20	0,75	0,90	0,48	341	165	32	1,00	341	165	378
4	Цех форм. керам. заготовок №2	29	10	...	50	5,0	0,7	0,80	0,75	291	218	17	1,00	291	218	364
5	Насосна станція технічної води	16	10	...	100	10	0,60	0,7	1,02	546	557	16	1,21	662	557	866
6	Корпус сушіння та стабілізації виробів	102	1	...	20	20	0,70	0,75	0,88	1121	989	102	1,00	1121	989	1495
7	Цех високотемп. випалу (0,38 кВ)	26	7,0	...	40	6	0,80	0,9	0,48	312	151	20	1,00	312	151	347
8	Цех підготовки та зберігання сировини	25,0	10,0	...	50	5,0	0,4	0,75	0,88	218,0	192	22	1,3	283,0	192,0	342,0
9	Склад готової керам. продукції	9	10	...	15	2	0,60	0,90	0,48	78	38	9	1,30	102	42	110
10	Цех підготовки глиняної маси №2	9	5,0	...	15	3,0	0,7	0,80	0,75	88	66	9	1,00	88	72	113
11	Хімічний цех глазури та добавок	87	7,5	...	40	5	0,61	0,82	0,70	1108	780	87	1,00	1108	780	1355
12	Цех регенерації відходів глини	18	10	...	100	10	0,40	0,70	1,02	552	563	18	1,33	737	563	927
13	Пічний комплекс №1	18	1	...	25	25	0,75	0,90	0,48	113	54	12	1,00	113	54	125
14	Пічний комплекс №2	8	15	...	15	1	0,75	0,90	0,48	90	44	8	1,00	90	48	102
15	Підготовчий цех форм. обл. 0,38 кВ	38	1	...	30	30	0,30	0,70	1,02	128	130	28	1,33	170	130	214
16	Склад сировини та матеріалів	9	10	...	15	2	0,60	0,90	0,48	105	51	9	1,30	137	56	148
17	Котельно-енергетичне відділення	24	10	...	80	8	0,60	0,75	0,88	279	246	12	1,26	351	246	429
18	Цех обслуговування та ремонту устаткування	54	1	...	40	40	0,25	0,70	1,02	349	356	54	1,26	440	356	566
19	Компресорна станція	4,0	125,0	...	125	1,0	0,6	0,7	1,02	360,0	367	4,0	1,5	546	404	679
	Загалом по заводу керам. виробів	587	1	...	125	125	0,56	0,78	0,81	6813	5518	194	1,06	7212	5518	9081

Арк.

Зм Арк № докум Підпис Дата

1.2. Визначення освітлювальних електронавантажень

Розглянемо приклад використання методики розрахунку освітлювального навантаження на прикладі цеху підготовки глиняної маси №1 з площею $F = 1600 \text{ м}^2$ та заданим питомим значенням освітлювального навантаження $\rho_0 = 12 \text{ кВт/м}^2$ визначається встановлена потужність:

$$P_B = F \cdot \rho_0 \cdot 10^{-3} = 1600 \cdot 12 \cdot 10^{-3} = 19,2 \text{ кВт.}$$

Отже, розраховані значення потужностей:

$$P_P = K_C \cdot K_1 \cdot P_B = 0,95 \cdot 1,2 \cdot 19,2 = 21,9 \text{ кВт}$$

$$Q_P = P_P \cdot \text{tg}\phi = 21,9 \cdot 0,48 = 10,6 \text{ кВар}$$

$$S_P = \sqrt{P_P^2 + Q_P^2} = \sqrt{21,9^2 + 10,6^2} = 24,3 \text{ кВА}$$

До табл. 1.2 наведено узагальнені результати розрахунків освітлювального навантаження для всіх підрозділів підприємства, виконаних за аналогічною схемою.

Таблиця 1.2. Освітлювальні ел. нав. підрозділів заводу керамічних виробів

Підрозділи заводу	F , м^2	ρ_0 , Вт/м^2	P_B , кВт	$\cos \varphi$	$\text{tg}\varphi$	P_P , кВт	Q_P , кВар	S_P , кВА
Цех підготовки глиняної маси №1	1 600	12	19,20	0,9	0,48	21,9	10,6	24,3
Цех формування керамічних заготовок №1	1 700	12	20,40	0,90	0,48	23,3	11,3	25,8
Адміністративно-лабораторний корпус	2 000	20	40,00	0,90	0,48	38,4	18,6	42,7
Цех формування керамічних заготовок №2	1 450	12	17,40	0,90	0,48	19,8	9,6	22,0
Насосна станція технічної води	900	8	7,20	1,00	0,00	6,1	0,0	6,1
Корпус сушіння та стабілізації виробів	2 540	14	35,56	0,90	0,48	40,5	19,6	45,0
Цех високотемпературного випалу	2 590	10	25,90	0,5	1,73	27,7	47,7	55,115

Продовження табл. 1.2.

Підрозділи заводу	F , м ²	ρ_0 , Вт/м ²	P_B , кВт	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	P_P , кВт	Q_P , кВар	S_P , кВА
Цех підготовки та зберігання сировини	1 390	14	19,46	0,5	1,73	20,8	35,9	41,4
Склад готової керамічної продукції	740	6	4,44	1,0	0,0	2,69	0,00	2,7
Цех підготовки глиняної маси №2	1 070	12	12,85	1,0	0,0	12,2	0,00	12,2
Хімічний цех глазурі та добавок	1 300	14	18,20	0,9	0,48	20,7	10,0	23,1
Цех регенерації відходів глини	1 050	12	12,60	0,5	1,7	13,4	23,2	26,8
Пічний комплекс №1	2 300	10	23,00	0,5	1,73	24,5	42,4	48,944
Пічний комплекс №2	2 340	10	23,40	0,50	1,73	24,9	43,1	49,795
Підготовчий цех формівочного обладнання	3 120	14	43,68	0,90	0,48	49,8	24,1	55,3
Склад сировини та матеріалів	1 470	6	8,82	1	0	5,30	0,0	5,3
Котельно-енергетичне відділення	1 600	10	16,00	1	0	13,6	0,0	13,6
Цех обслуговування та ремонту устаткування	1 500	18	27,00	0,9	0,48	30,8	14,9	34,2
Компресорна станція	450	8	3,60	1	0	3,10	0,0	3,1
Освітлення території заводу	151 124	0,2	30,2	0,6	1,12	0,5	1,73	20,3
Загалом			409			420	340	573

Продовження табл. 1.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
ТП № 3, 4 (3,0 шт X1000)																
Цех підготовки глиняної маси №2																
1	9	5	...	15	125	□	0,7	0,8	0,75	88	66	9	1	87,5	72,2	113,4
Освітлювальне навантаження									13	0				12,2	0,0	12,2
Всього по цеху									100	66				99,7	72,2	123,1
Цех формування керамічних заготовок №2																
2	29,00	10,00	...	50,00	416,00	5,00	0,7	0,80	0,75	291	218	16,64	1,00	291,2	218,4	364,0
Освітлювальне навантаження				□					17	8				19,8	9,6	22,0
Всього по цеху									309	227				311,0	228,0	385,7
Склад готової керамічної продукції																
3	29	10	...	50	416	5	0,7	0,8	0,75	291	218	16,64	1	291,2	218,4	364,□
Освітлювальне навантаження									4	0				2,70	0,00	2,70
Всього по цеху									296	218				293,□	218,4	366,1
Цех підг. глиняної маси №1																
4	48	3	...	25	720	8,333	0,7	0,8	0,75	□04	378	48	1	504,0	378,0	630,0
Освітлювальне навантаження									19	9				21,9	10,6	24,3
Всього по цеху									523	387				525,9	388,6	653,9
Пічний комплекс №1																
5	18	1	...	25,0	150	25,0	0,75	0,90	0,48	113	54	12	1,00	112,5	54,5	125,0
Освітлювальне навантаження									23	40				24,5	42,4	□8,9
Всього по цеху									136	94				137,0	96,9	167,8
Компресорна станція																
6	4,0	125	...	125	600,0	1	0,6	0,7	1,02	361	368	4	1,52	546,13	404,02	679,3
Сил. навант□ження									4,0	0,0				3,13	0,00	3,1
Освітлюв. навантаження																
Всього по компресорній									365	368				549,2	404,0	681,8
Освітлення території заводу	□															
Всього по території заводу									30	52				20,3	29,3	35,7
Силова разом	137	1	...	125	2427	125	0,68	0,78	0,79	1646	1302	39	1,00	1646,4	1302,2	2099,1
Освітлювальна по ТП 3									111	58				84,1	62,6	113,2
Всього на шинах 0,4 кВ по ТП 3									1757	1360				1730,5	1364,8	2203,9
Втрати в тр-рах ТП 3,4				□										6,6	34,3	34,9
Всього на шинах 10 кВ по ТП 3														1737,1	1399,0	2230,4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
ТП №5 (2,0 шт X1000)															
Пічний комплекс №2															
1	8	15	...	15	120	1	0,8	0,90	0,48	90	44	8	90,0	47,9	102,0
									23	41			24,9	43,1	49,8
									113	84			114,9	91,1	146,6
Всього по цеху															
Адміністративно-лабораторний корпус															
2	32	1	...	20	454	20	0,75	0,90	0,48	341	165	32	340,5	164,9	378,3
									40	19			38,4	18,6	42,7
									38	184			378,9	183,5	421,0
Всього по заводоуправлінню та лаб.															
Цех формування керамічних заготовок №1															
3	31	1	...	30	331	30	0,7	0,8	0,75	232	174	22,07	231,7	173,8	289,6
									20	10			23,3	11,3	25,8
									252	184			255,0	185,0	315,0
Всього по цеху															
Насосна станція технічної води															
4	16	10	...	100	910	10	0,6	0,7	1,02	546	557	16	662,5	557,0	865,5
									7	0			6,1	0,0	6,1
									553	557			668,6	557,0	870,2
Всього по насосній станції															
	87	1,0	...	100	1815	100	0,68	0,79	0,78	1208	939	36	1208,2	939,3	1530,4
Всього силова по ТП 5															
									9	70			92,7	73,0	118,0
Освітлювальна по ТП 5															
									1299	1009			1300,9	1012,3	1648,3
На шинах 0,4 кВ по ТП 5															
													6,7	34,6	35,2
Втрати в тр-рах ТП 5															
													1307,5	1046,9	1675,0
Всього на шинах 10 кВ по ТП 5															

Продовження табл. 1.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
ТП № 6, 7 (4,0 шт X1000)																
Підготовчий цех формівничого обладнання																
1	38	1	...	30	425	30	0,3	0,7	1,02	128	130	28,33	1,33	16□,7	130,1	213,8
									44	21				49,8	24,1	55,3
									171	1□1				219,5	154,2	268,2
Склад сировини та матеріалів																
2	9	10	...	15	175	15	0,60	0,9	0,48	105	51	9	1,3	136,7	55,9	147,7
									44	21				5,3	0,0	5,3
									149	72				141,9	55,9	152,6
Котельно-енергетичне відділення																
3	24	10	...	80	465	8	0,6	0,75	0,88	279	246	11,63	1,26	351,0	246,1	428,6
								□	16	0				13,6	0,0	13,6
									295	246				364,6	246,1	439,8
Цех обслуговування та ремонту устаткування																
4	54	1	...	40	1394	40	0	1	1	349	356	54	1	440,3	355,5	565,9
									27	13				30,8	14,9	34,2
									376	369				471,1	370,4	5□9,3
Корпус сушіння та стабілізації виробів																
5	102	1	...	20	1602	20	1	1	1	1□21	989	102	1	1121,4	989,0	1495,2
									36	17				40,5	19,6	45,0
									1157	1006				1161,9	1008,6	1538,6
Силова по корпусу																
	227	1	...	80	4061	80	0,49	0,75	0,89	1981	1772	102	1,10	2182□7	1771,5	2811,1
Освітлювальна по ТП 6,7																
									166	73				140,0	58,7	153,5
На шинах 0,4 кВ по ТП 6,7																
									2147	1844				2322,7	1830,2	2957,1
Втрати в тр. ТП 6,7																
														19,0	99,4	101,2
На шинах 10 кВ по ТП 6,7																
														2341,8	1929,6	3034,3

Продовження табл. 1.3

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	Цех високотемпературного випалу															
	а) 10,5 кВ (встановлені РТП-10)	2,0	8 000	8 000,0	16 000	1,0	0,60	0,90	0,48	9600	4649			9600,0	4649,5	10666,7
	Пічний комплекс №1															
2	а) 10,5 кВ (встановлені ДСП-10)	2,0	5 000	5 000,0	10 000	1,0	0,50	0,80	0,75	5000	3750			5000,0	3750,0	6250,0
	Пічний комплекс №2															
3	а) 10,5 кВ (встановлені ДСП-10)	2,0	5 000	5 000,0	10 000	1,0	0,50	0,80	0,75	5000	3750			5000,0	3750,0	6250,0
	Всього по заводу													26869,9	18160,6	32431,4

Кз= 0,649

1.4. Графіки електричних навантажень

У таблиці 1.4 подано початкові дані, необхідні для побудови графіків добових навантажень заводу керамічних виробів.

Таблиця 1.4. Добове розподілення електричних навантажень

№	Робочі дні зимового періоду			Вихідні дні зимового періоду			Робочі дні літнього періоду			Вихідні дні літнього періоду		
	<i>P, кВт</i>	<i>Q, кВар</i>	<i>S, кВА</i>	<i>P, кВт</i>	<i>Q, кВар</i>	<i>S, кВА</i>	<i>P, кВт</i>	<i>Q, кВар</i>	<i>S, кВА</i>	<i>P, кВт</i>	<i>Q, кВар</i>	<i>S, кВА</i>
1	10748	6175	12973	9136	6175	11027	9136	5248	11027	7765	6175	9373
2	10748	6538	12973	9673	6538	11675	9136	5557	11027	8222	6175	9924
3	10748	6538	12973	9673	6538	11675	9136	5557	11027	8222	6175	9924
4	10748	6538	12973	9673	6538	11675	9136	5557	11027	8222	6175	9924
5	14778	6538	17837	9673	6538	11675	12562	5557	15162	8222	8490	9924
6	14778	6175	17837	9136	6175	11027	12562	5248	15162	7765	8490	9373
7	22839	4903	27567	7255	4903	8756	19414	4168	23432	6167	13121	7443
8	24720	4903	29837	7255	4903	8756	21012	4168	25361	6167	14202	7443
9	26870	4903	32431	7255	4903	8756	22839	4168	27567	6167	15437	7443
10	26870	4903	32431	7255	4903	8756	22839	4168	27567	6167	15437	7443
11	24452	4903	29513	7255	4903	8756	20784	4168	25086	6167	14047	7443
12	22033	4903	26594	7255	4903	8756	18728	4168	22605	6167	12658	7443
13	24183	4903	29188	7255	4903	8756	20555	4168	24810	6167	13893	7443
14	24720	4903	29837	7255	4903	8756	21012	4168	25361	6167	14202	7443
15	26870	4903	32431	7255	4903	8756	22839	4168	27567	6167	15437	7443
16	26870	6175	32431	9136	6175	11027	22839	5248	27567	7765	15437	9373
17	23646	6175	28540	9136	6175	11027	20099	5248	24259	7765	13584	9373
18	22571	6175	27242	9136	6175	11027	19185	5248	23156	7765	12967	9373
19	16659	6175	20107	9136	6175	11027	14160	5248	17091	7765	9571	9373
20	16659	6175	20107	9136	6175	11027	14160	5248	17091	7765	9571	9373
21	14778	6175	17837	9136	6175	11027	12562	5248	15162	7765	8490	9373
22	14778	6175	17837	9136	6175	11027	12562	5248	15162	7765	8490	9373
23	14778	6175	17837	9136	6175	11027	12562	5248	15162	7765	8490	9373
24	12091	6175	14594	9136	6175	11027	10278	5248	12405	7765	8490	9373

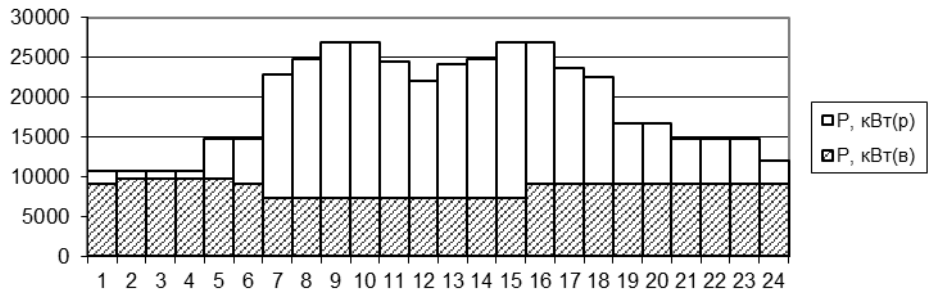


Рисунок 1.1. Зміна активної потужності в зимовий період

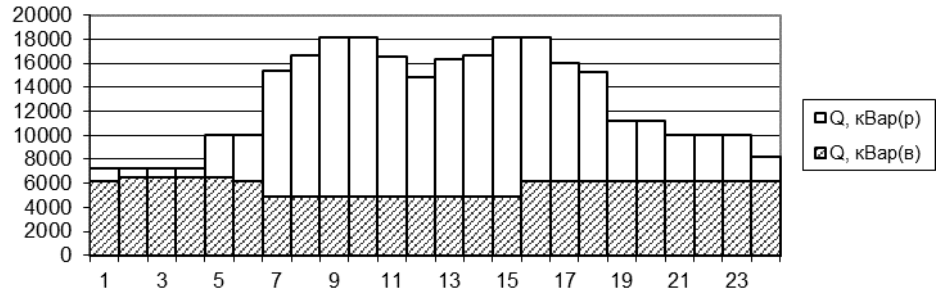


Рисунок 1.2. Зміна реактивної потужності в зимовий період

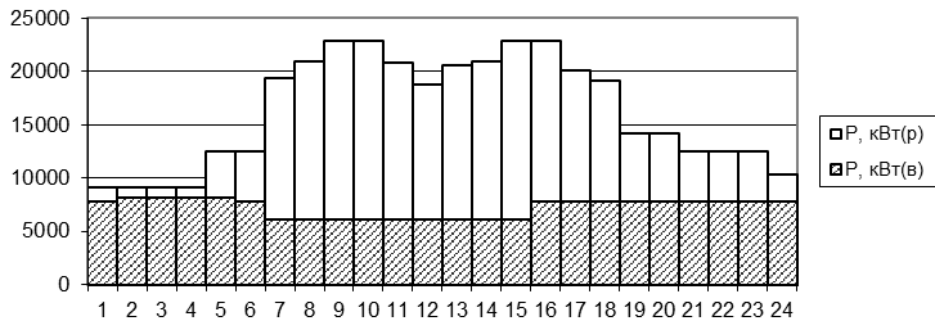


Рисунок 1.3. Графік активного навантаження в літній сезон

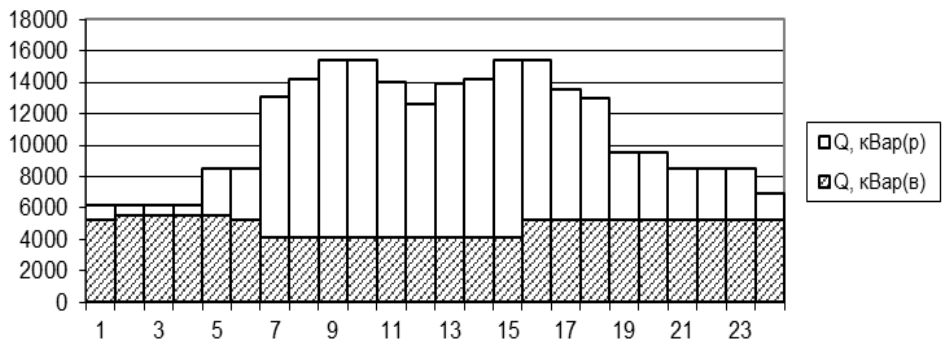


Рисунок 1.4. Графік реактивного навантаження в літній сезон

$$T_M = \sqrt{\frac{W_P^2 + V_P^2}{S_P^2}} = 4800 \text{ год.}$$

$$\tau = \left(0,124 + \frac{T_M}{10^4} \right)^2 \cdot 8760 = 3196 \text{ год.}$$

Таблиця 2.1. Вихідні значення для формування просторової моделі (картограми) навантажень

№ з/п	Найм. структурн. підрозд. об'єкту	$P_{P_{\text{свл}}}$, кВт	$P_{P_{\text{осв}}}$, кВт	$P_{P_{\Sigma}}$, кВт	R , м	a	x , м	y , м	P_x , кВт м	P_y , кВт м
1	Цех підг. глиняної маси №1	504,00	21,89	525,89	18,30	14,98	346	176	182062,43	92293,34
2	Цех формування керамічних заготовок №1	231,70	23,26	254,96	12,74	32,84	282	153	71821,11	39008,27
3	Адміністративно-лабораторний корпус	340,50	38,40	378,90	15,53	36,48	207	243	78432,30	92072,70
4	Цех формування керамічних заготовок №2	291,20	19,84	311,04	14,07	22,96	345	249	107307,42	77447,96
5	Насосна станція технічної води	662,49	6,12	668,61	20,63	3,30	273	75	182529,18	50145,38
6	Корпус сушіння та стабілізації виробів	1121,40	40,54	1161,94	27,20	12,56	63	69	73202,12	80173,75
7	Цех високотемпературного випалу б) 0,38 кВ	312,00	27,56	339,56	14,70	29,22	456	213	154838,27	72325,77
8	Цех підготовки та зберігання сировини	282,85	20,71	303,56	13,90	24,56	477	126	144797,82	38248,48
9	Склад готової керамічної продукції	101,51	2,66	104,18	8,14	9,21	387	171	40316,81	17814,40
10	Цех підготовки глиняної маси №2	87,50	12,20	99,70	7,97	44,05	389	246	38732,67	24525,71

Продовження таблиці 2.1.

№ з/п	Найм. структурн. підрозд. об'єкту	$P_{Ресил}$, кВт	$P_{Росе}$, кВт	$P_{p\Sigma}$, кВт	R , м	a	x , м	y , м	P_x , кВт м	P_y , кВт м
11	Хімічний цех глазури та добавок	1108,18	20,75	1128,93	26,81	6,62	464	54	523258,06	60962,10
12	Цех регенерації відходів глини	736,76	13,41	750,17	21,85	6,43	447	128	335325,73	95646,60
13	Пічний комплекс №1	112,50	24,47	136,97	9,34	64,32	342	107	46844,42	14587,52
14	Пічний комплекс №2	90,00	24,90	114,90	8,55	78,01	285	243	32745,82	27920,12
15	Підготовчий цех формівочного обладнання	169,67	49,80	219,46	11,82	81,68	137	137	29956,51	29956,51
16	Склад сировини та матеріалів	136,65	5,29	141,95	9,51	13,42	84	252	11923,40	35770,19
17	Котельно-енергетичне відділення	350,95	13,60	364,55	15,23	13,43	56	252	20232,71	91867,44
18	Цех обслуговування та ремонту устаткування	440,29	30,78	471,07	17,32	23,52	86	162	40276,23	76312,85
19	Компресорна станція	546,13	3,06	549,19	18,70	2,01	342	345	187822,56	189470,12
	Територія заводу		20,31	20,31	3,60	360,000	0,000	0,000	0,000	0,000
			7626	419,5	8045,8					2302425,55

3. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ СХЕМ ЗОВНІШНЬОГО ТА ВНУТРІШНЬОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЗАВОДУ

3.1. Схема приєднання та вибір напруги живлення

У межах роботи (див. рис. 3.1) проведено аналіз можливих схем приєднання підприємства до зовнішніх мереж електропостачання з розглядом варіантів живлення на напругу 35 кВ та 110 кВ.

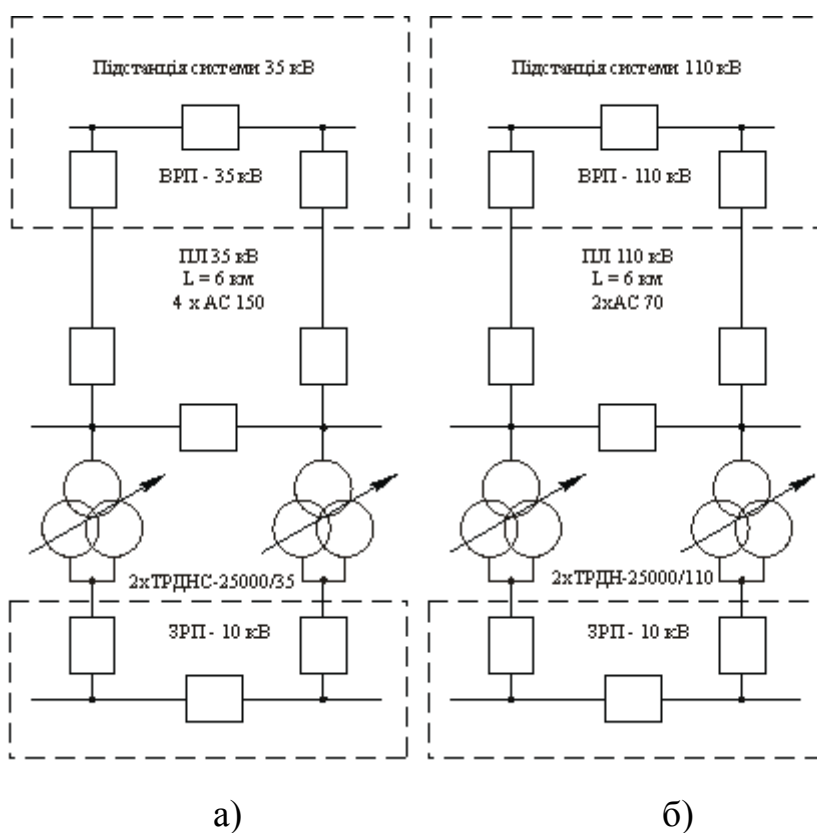


Рисунок 3.1. Порівняння альтернативних схем зовнішнього живлення заводу
керамічних виробів

Варіант №1 — схема електропостачання згідно з рис. 3.1 а ($U_{ном} = 35 \text{ кВ}$),
визначаємо параметри схеми:

$$I_P = \frac{S'_p}{2\sqrt{3} \cdot U_{НОМ}} = \frac{27159,8}{2\sqrt{3} \cdot 35} = 228,23 \text{ А.}$$

З використанням значення економічної щільності струму обчислюється необхідна площа поперечного перерізу ПЛ:

$$F_{EK} = \frac{I_p}{j_{EK}} = \frac{228,23}{1,1} = 207,48 \text{ мм}^2$$

Приймається повітряна лінія дволанцюгового виконання марки $2 \times AC F = 150 \text{ мм}^2$.

Розрахований коефіцієнт завантаження повітряної лінії дорівнює:

$$K_3 = \frac{I_p}{n \cdot I_{дон}} = \frac{228,23}{4 \cdot 445} = 0,128.$$

На головній підстанції передбачено монтаж двох трансформаторів типу ТРДН-25000 із розрахунковим коефіцієнтом завантаження:

$$K_3 = \frac{S_p}{n \cdot S_{НОМ}} = \frac{27159,8}{2 \cdot 25000} = 0,543.$$

Після врахування можливих аварійних перевантажень проектне рішення відповідає нормативним вимогам.

$$K_{3AB} = \frac{S_p}{S_{НОМ}} = \frac{27159,8}{25000} = 1,086 < 1,4.$$

Розраховані втрати електроенергії в лінії становлять:

– потужність втрат:

$$\Delta P_{Л} = \Delta P_{1км\Sigma} K_3^2 = 149 \cdot 4 \cdot 6 \cdot 0,543^2 = 227,9 \text{ кВт},$$

– річний обсяг втрат:

$$\Delta W_{Л} = \Delta P_{Л} \tau_{нб} = 227,9 \cdot 3196 = 725990,6 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

У той же час у трансформаторі:

$$\Delta W_{тр} = n(\Delta P_x T_p + \Delta P_k K_3^2 \tau) = 2(18,0 \cdot 8760 + 85,0 \cdot 0,543^2 \cdot 3196) = 699975,4 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Сумарні втрати електроенергії по всій системі:

$$\Delta W_{\Sigma} = \Delta W_{ЛЛ} + \Delta W_{ТР} = 725990,6 + 699975,3 = 1425965,9 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Вартість втрат набуде значень:

$$C_{ВТР} = \Delta W_{\Sigma} C_0 = 1425965,864 \cdot 10,009 \cdot 10^{-3} = 5716,7 \text{ тис. грн}.$$

У відповідних таблицях наведено відповідні обсяги фінансування та економічну оцінку втрат для кожного з проаналізованих варіантів (див. табл. 3.1 та 3.2).

Таблиця 3.1. Оцінювання вартості обладнання

№ з/п	Обладнання	Один. вимір.	Кіл-ть	Варт. од., тис. грн	Заг. варт., тис. грн
Варіант №1	ЛЕП $U_H = 35$	км	24,00	218,8	5252,21
	ВРП $U_H = 35$ кВ	компл.	1,00	169,7	169,72
	Тр-ри 35/10 кВ	шт.	2,00	142,2	142,23
	Усього				5564,12
Варіант №2	ЛЕП $U_H = 110$ кВ	км	12,00	241,2	2894,81
	ВРП $U_H = 110$ кВ	компл.	1,00	235,02	235,02
	Тр-ри 110/10кВ	шт.	2,00	340,015	680,03
	Усього				3852,73

Таблиця 3.2. Оцінювання поточних витрат

№ з/п	Обладнання	K_i , тис. грн	P_A , %	C_A , %	P_E , %	C_E , %	C_{II} , тис.грн
Вар. №1	ЛЕП $U_H = 35$ кВ	5252,21	5	262,63	5	262,63	525,23
	ВРП $U_H = 35$ кВ	169,67	15	25,45	5	8,485	33,937
	Тр-ри 35/10 кВ	142,22	15	21,34	5	7,12	28,45
	Усього						587,60
Вар. №2	ЛЕП $U_H = 110$ кВ на зал./бет. оп.	2894,7	5	144,75	5	144,75	289,49
	ВРП $U_H = 110$ кВ	235,1	15	35,26	5	11,76	47,8
	Тр-ри 110/10кВ	680,2	15	102,3	5	35	136,7
	Усього						472,49

Таблиця 3.3. Розрахунок інвестиційних, експлуатаційних та економічних втрат електроенергії

Розрахунковий параметр	Згідно з варіантом, тис.грн.	
	1	2
Інвестиції	5564,081	3852,721
Обсяг поточних затрат	587,602	472,481
Вартість втрат ЕЕ	3158,703	3716,72
Зведені витрати	4780,92	4617,1

Порівняльний аналіз показав, що різниця між варіантами за рівнем зведених витрат становить менше 10%. Однак з урахуванням перспектив можливого зростання споживання електроенергії та подальшого розвитку промислового підприємства, більш доцільним є вибір другого варіанту реалізації електропостачання.

3.2. Вибір напруги і схеми внутрішнього електропостачання

У проєкті внутрішнього електропостачання передбачено застосування системи на $U_H = 10$ кВ. Силове та освітлювальне навантаження структурних підрозділів заводу запроєктовано для живлення від мережі з напругою $U_H = 380/220$ В.

Розподільча мережа реалізована на базі кабельних ліній напругою 10 кВ. Залежно від специфіки навантажень та умов розташування споживачів, обрано магістральну, радіальну або комбіновану схему побудови мережі. Тип схеми визначався індивідуально для кожного ділянки, з урахуванням рівня надійності живлення, категорії споживачів та величини необхідної потужності навантаження.

4. КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ

4.1. Розрахунок балансу реактивної потужності та вибір пристроїв для її компенсації

Розрахункове значення сторони низької (0,4 кВ) та високої напруги (10 кВ):

$$P_n = 7212 \text{ кВт},$$

$$Q_n = 5518 \text{ кВар}.$$

$$P_g = 7265 \text{ кВт},$$

$$Q_g = 838 \text{ кВар}.$$

Втрати потужності:

$$\Delta P_m = 54 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q_m = 278 \text{ кВар}.$$

Розрахункове навантаження заводу керамічних виробів:

$$P_p = 26870 \text{ кВт},$$

$$Q_p = 18161 \text{ кВар}.$$

Потужність, яку споживає об'єкт з енергосистеми:

$$Q_e = P_p \cdot \operatorname{tg} \phi_c = 26870 \cdot 0,15 = 4030 \text{ кВар}.$$

Обсяг реактивної потужності, що підлягає компенсації:

$$Q_{КП} = Q_p - Q_e = 18161 - 4030 = 14130 \text{ кВар}.$$

Раціональна кількість трансформаторів:

$$N_0 = \frac{P_n}{K_3 \cdot P_{ном}} = \frac{7265}{0,7 \cdot 1000} \approx 13 \text{ шт.}$$

Для $N = N_0 = 13$ шт:

$$Q_n = \sqrt{(N \cdot K_3 \cdot S_{ном})^2 - P_n^2} = \sqrt{(13 \cdot 0,7 \cdot 1000)^2 - 7265^2} = 5518 \text{ кВар}.$$

У структурі навантаження присутні високовольтні споживачі, зокрема печі. Для забезпечення компенсації реактивної потужності на високовольтній стороні встановлюються відповідні компенсуючі пристрої:

- для двох руднотермічних печей РТП-10 – по два конденсаторні блоки типу УКЛ-56/10,50/1800 УЗ;
- для чотирьох дугових сталеплавильних печей ДСП-10 – по чотири блоки УКЛ-56/10,50/1350 УЗ.

Фактична номінальна потужність встановлених високовольтних компенсуючих пристроїв становить:

$$Q_{кв} = 2 \cdot 1800 + 4 \cdot 1350 = 9000 \text{ кВар}$$

На основі балансу активної та реактивної потужності визначено необхідне значення компенсації:

$$Q_{кн} = Q_{кп} - Q_{с} = 13947 - 9000 = 4947 \text{ кВар.}$$

Отримана реактивна потужність доцільно розмістити на стороні низької напруги (НН) для оптимізації режиму роботи електроустановки.

Таблиця 4.1. Визначення потужності та місць локалізації компенсуючих пристроїв (мережа 0,4 кВ)

ТП	n	P_p	Q_p	$Q_{пp}$	$Q_{кп}$	$Q_{кп(ст)}$	$Q_p - Q_{кп}$	K_3
ТП № 1, 2	4,0	2 414	1 686	1418,796006	267	78	0,60	2415,18
ТП № 3, 4	3,0	1 737	1 399	1180,016282	219	193	0,58	1747,81
ТП № 5	2,0	1 308	1 047	500,3322388	547	511	0,70	1403,81
ТП № 6,7	4,0	2 342	1 930	1534,977745	395	322	0,59	2363,74

Тобто:

$$Q_{кн} = 4958 \text{ кВар.}$$

Додатково уточнене значення пропускної потужності складає:

$$Q_n = Q_n - Q_{кн} = 2326 \text{ кВар.}$$

Обсяг втрат потужності, що додатково виникають при передачі реактивної потужності

$$\Delta P_{тр} = \frac{Q_{нр}^2 \Delta P_k}{n \cdot P_{ном}^2} = \frac{2326^2 \cdot 12.2}{13 \cdot 1000^2} = 0,35 \text{ кВт.}$$

Зокрема, у низьковольтних елементах компенсуючих пристроїв:

$$\Delta P_{кн} = 0.0045 Q_{кн} = 0,0045 \cdot 4958 = 22,31 \text{ кВт.}$$

- у високовольтних:

$$\Delta P_{кв} = 0.003 Q_{кв} = 0,003 \cdot 9000 = 27 \text{ кВт.}$$

Враховуючи вартість комплектних ТП та додаткового розміщення БК, отримаємо вартість витрат:

$$Z = E_H (K_{кн} + K_{кв} + K_{ТП}) + (\Delta P_{кн} + \Delta P_{кв} + \Delta P_{ТП}) C_0 \tau =$$

$$= 0,12(3978 + 242,57 + 4165,5) + (22 + 27 + 0,35) \cdot 10,009 \cdot 3196 = 633316,23 \text{ тис. грн.}$$

У таблиці 4.2 наведено узагальнені витрати на встановлення компенсуючих пристроїв для всіх розглянутих варіантів.

Таблиця 4.2. Узагальнені витрати на встановлення засобів компенсації

Характеристика	Вар.3	Вар. 2	Вар. 1
Потужність додаткових пристроїв компенсації (мережа 0,4 кВ)	10358	11258	4958
Потужність додаткових пристроїв компенсації (мережа 10 кВ)	3600	2700	9000
Реактивна потужність від ен. системи	4040	4040,0	4040
Потужність за балансом	13958	13958	13958
Витрати на встановлення додаткових пристроїв компенсації, тис. грн	1 434,89	1 209,74	1 165,63
Загальна сума витрат на компенсацію, тис. грн	1 434,89	1 209,74	1 165,63

Розміщення компенсуючих пристроїв наведено у табл.4.3. Враховуючи мінімальний рівень витрат, характерний для першого варіанту, обираємо саме його.

Таблиця 4.3. Фактичне місце локалізації пристрою для компенсації реактивної потужності

№ ТП	Нтр	Pr, кВт	Qp, кВАр	Qn, кВАр	Qкл, кВАр	Нбк	Тип БК	$\Sigma Q_{бк}$ кВАр	Кз	S, кВА
ТП-6 ТП-7	4,0	2 342	1 930	1535	395	4,0	УКМ 58- 0,4-402	1608	0,591	2363,7
ТП-5	2,0	1 308	1 047	500	547	2,0	УКМ 58- 0,4-268	536	0,702	1403,8
ТП-3 ТП-4	3,0	1 737	1 399	1180	219	3,0	УКМ 58- 0,4-402	1206	0,583	1747,8
ТП-1 ТП-2	4,0	2 414	1 686	1419	267	4,0	УКМ 58- 0,4-402	1608	0,604	2415,2
Разом				4634				4958,0		

Таблиця 4.3. Визначення обсягів ел. нав. з врахуванням КП

№	Найменування споживачів	Кількість	Р одного		P_{Σ}	m	K_B	$\cos \varphi$	$tg \varphi$	Середнє		n_E	K_M	Розрахункове навантаження		
			min	max						P_{CM} , кВт	Q_{CM} , квар			P_P , кВт	Q_P , квар	S_P , кВА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
ТП № 1, 2 (4,0 ШТХ1000)																
Цех високотемпературного випалу																
1	Силове навантаження	26	7	40	390	6	0,80	0,90	0,48	312	151,1085	20	1	312,0	151,1	346,7
	Освітлювальне навантаження									25,9	44,86012			27,6	47,7	55,1
	Всього по цеху									337,9	196,0			339,6	198,8	393,5
Цех підготовки та зберігання сировини																
2	Сил. навантаження	25	10	50,0	544,0	5,0	0,40	0,75	0,88	217,60	191,91	22	1,3	282,91	191,92	341,8
	Освітл. навантаження									19,5	33,7			20,72	35,93	41,4
	Всього по цеху									237,1	225,6			303,6	227,8	379,5
Цех регенерації відходів глини																
3	Силове навантаження	18	10	100	1380	10	0,4	0,7	1,02	552	563,1526	18	1,3	736,8	563,2	927,3
	Освітлювальне навантаження									12,6	21,82384			13,4	23,2	26,8
	Всього по цеху									564,6	585,0			750,2	586,4	952,1
Хімічний цех глазури та добавок																
4	Силове навантаження	87	7,5	40	1821	5	0,6	0,82	0,7	1108,18	779,7506	87	1	1108,2	779,8	1355,0
	Освітлювальне навантаження									18,2	8,814662			20,7	10,0	23,1
	Всього по цеху									1126,4	788,6			1128,9	789,8	1377,8
Всього силова по ТП 1,2																
Всього освітлювальна по ТП 1,2																
Всього на шинах 0,4 кВ по ТП 1,2																
КП 0,4 кВ																
Нав.з.урахованням КП 0,4 кВ																
														2496,3	194,8	2503,9

Продовження табл. 4.3

2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Втрати в тр-рах ТП 3,4 (3,0 шт x1000)													6,6	34,1	34,7
Всього на шинах 10 кВ по ТП 3,4													1737,1	192,8	1747,7
ТП №5 (2,0x1000)															
Пічний комплекс №2															
1	8	15	...	15	120	1	0,75	0,9	0,48	90	43,58899	8	90	47,9479	101,97549
Силове навантаження										23,4	40,52999		24,8976	43,1239	49,7952
Освітлювальне навантаження										113,4	84,1		114,9	91,1	146,6
Всього по котельні															
Адміністративно-лабораторний корпус															
2	32	1	...	20	454	20	0,75	0,9	0,48	340,5	164,9117	32	1	340,5	378,3333
Силове навантаження										40	19,37288		38,4	18,598	42,666667
Освітлювальне навантаження										380,5	184,3		378,9	183,5	421,0
Всього по заводоуправлінню та лаб.															
Цех формування керамічних заготовок №1															
3	31	1	...	30	331	30	0,7	0,8	0,75	231,7	173,775	22	1	231,7	289,625
Силове навантаження										20,4	9,880171		23,256	11,2634	25,84
Освітлювальне навантаження										252,1	183,7		255,0	185,0	315,0
Всього по цеху															
Насосна станція технічної води															
4	16	10	...	100	910	10	0,6	0,7	1,02	546	557,0314	16	1,2	662,485	865,54632
Силове навантаження										7,2	0		6,12	0	6,12
Освітлювальне навантаження										553,2	557,0		668,6	557,0	870,2
Всього по насосній станції															
Всього силова по ТП 5	87	1	...	100	1815	100	0,67	0,79	0,78	1208,2	939,3071	36	1	1208,2	1530,3741
Всього освітлювальна по ТП 5										91,0	69,8		92,7	73,0	124,4
Всього на шинах 0,4 кВ по ТП 5										1299,2	1009,1		1300,9	1012,3	1648,3
КП 0,4 кВ														-536	
Навантаження з урахуванням КП 0,4 кВ													1300,9	476,3	1385,3
Втрати в тр-рах ТП 5 (2,0x1000)													7,9	40,3	41,0
Всього на шинах 10 кВ по ТП 5													1308,8	516,6	1407,0

Продовження табл. 4.3

2		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
ТП № 6, 7 (4,0 шт X1000)																
Підготовчий цех формівничого обладнання																
1	Силове навантаження	38	1	...	30	425	30	0,3	0,7	1,02	127,5	28	1,3	169,7	130,1	213,8
	Освітлювальне навантаження									43,7	21,2			49,8	24,1	55,3
	Всього по цеху									171,2	151,2			219,5	154,2	268,2
Склад сировини та матеріалів																
2	Силове навантаження	9	10	...	15	175	1,5	0,6	0,9	0,48	105,0	9	1,3	136,7	55,9	147,7
	Освітлювальне навантаження									43,7	21,2			5,3	0,00	5,3
	Всього по складу									148,7	72,0			141,9	55,9	152,6
Котельно-енергетичне відділення																
3	Силове навантаження	24	10	...	80	465	8	0,6	0,75	0,88	279,0	12	1,3	351,0	246,1	428,6
	Освітлювальне навантаження									16,0	0,0			13,6	0,00	13,6
	Всього по котельні									295,0	246,1			364,6	246,1	439,8
Цех обслуговування та ремонту устаткування																
4	Силове навантаження	54	1	...	40	1394	40	0,25	0,7	1,02	348,5	54	1,3	440,3	355,5	565,9
	Освітлювальне навантаження									27,0	13,1			30,8	14,9	34,2
	Всього по цеху									375,5	368,6			471,1	370,4	599,3
Корпус сушіння та стабілізації виробів																
5	Силове навантаження	102	1	...	20	1602	20	0,7	0,75	0,88	1121,4	1	1	1121,4	989,0	1495,2
	Освітлювальне навантаження									35,6	17,2			40,5	19,6	45,0
	Всього по корпусу									1157,0	1006,2			1161,9	1008,6	1538,6
	Всього силова по ТП 6,7	227	1	...	80	4061	80	0	1	1	1981	1	1	2183	1772	2811
	Всього освітлювальна по ТП 6,7									166	73			140	59	153
	Всього на шинах 0,4 кВ по ТП 6,7									2147,3	1844,1			2322,7	1830,2	2957,1
	КП 0,4 кВ															
	Навантаження з урахуванням КП 0,4 кВ													2322,7	222,2	2333,3

Продовження табл. 4.3

	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Нав. з урахуванням КП 0,4 кВ														2322,7	222,2	2333,3
Втрати в тр. ТП 5,6 (3,0x1000)														19,5	101,6	103,5
Всього на шинах 10 кВ по ТП 6,7														2342,2	323,8	2364,5
Всього по заводу на стороні 0,4 кВ														7211,8	5518,3	9080,8
Всього КП на стороні 0,4 кВ														-4958		
Заг. втрати в тр-рах ТП														53,6	278,1	283,2
Всього по заводу на стороні 10 кВ														7265,4	838,4	7313,7
Цех високотемпературного випалу																
1																
а) 10,5 кВ (встановлені РТП-10)	2	8 000,0	...	8 000,0	16 000	1	1	1	0	9 600,0	4 649,0			9 600,0	4 649,0	10 667,0
Пічний комплекс №1																
2																
а) 10,5 кВ (встановлені ДСП-10)	2	5 000,0	...	5 000,0	10 000	1	1	1	1	5 000,0	3 750,0			5 000,0	3 750,0	6 250,0
Пічний комплекс №2																
3																
а) 10,5 кВ (встановлені ДСП-10)	2	5 000,0	...	5 000	10 000	1	1	1	1	5 000,0	3 750,0			5 000,0	3 750,0	6 250,0
КП 10 кВ (ДСП №2)															-2700,0	
КП 10 кВ (РТП)															-3600,0	
КП 10 кВ (ДСП №1)															-2700,0	
Всього по заводу кер виробів														26865,4	12987,9	29840,2
КП 10 кВ															-9000	
Всього по заводу кер виробів з врах КП														26865,4	3987,9	27159,8

Таблиця 5.1. Розрахунок кількості та потужності трансформаторів, що передбачаються до встановлення

№ ТП	n	S_{Σ} , кВА	Обраний тип	K_3	$S_{НОМ} > S_p/K2$	$S_{НОМ} > S_p/K1$
ТП 1	2,0	1207,59	ТМ-1000-10/0,4	0,6	559,07	862,6
ТП 2	2,0	1207,59		0,6	559,07	862,6
ТП 3	2,0	1165,20		0,583	539,45	832,3
ТП 4	1,0	582,60		0,583	539,45	416,1
ТП 5	2,0	1403,81		0,702	649,91	1002,7
ТП 6	2,0	1181,87		0,591	547,16	844,2
ТП 7	2,0	1181,87		0,591	547,16	844,2

5.2. Компоновка та місце розташування трансформаторних підстанцій

У таблиці 5.2 наведено результати розрахунків, а також визначене остаточне місце розміщення КТП. Для проектування запропоновано трансформаторну підстанцію КТП–10/0,4 кВ.

Таблиця 5.2. Комплектування та локалізація ТП

№ ТП	$N \times P$	$S_{роз}$, кВА	Коеф. за в.	Місце локалізації
ТП 1	2,0x1000	1207,59	0,604	Цех підготовки глиняної маси №1
ТП 2	2,0x1000	1207,59	0,604	Цех формування керамічних заготовок №1
ТП 3	2,0x1000	1165,20	0,583	Цех формування керамічних заготовок №2
ТП 4	1,0x1000	582,60	0,583	Механічна майстерня
ТП 5	2,0x1000	1403,81	0,702	Цех підготовки та зберігання сировини
ТП 6	2,0x1000	1181,87	0,591	Цех регенерації відходів глини
ТП 7	2,0x1000	1181,87	0,591	Цех підготовки та зберігання сировини

6. РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКИХ ЗАМИКАНЬ І ВИБІР ОБЛАДНАННЯ ЕЛЕКТРОУСТАНОВОК ТА СИЛОВИХ МЕРЕЖ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

6.1. Розрахунок струмів короткого замикання (КЗ)

Розрахункові схеми, сформовані на основі проєктного рішення щодо електропостачання, подано на рисунках 6.1–6.2. Вони містять необхідні елементи системи та безпосередньо використовуються для розрахунку струмів короткого замикання.

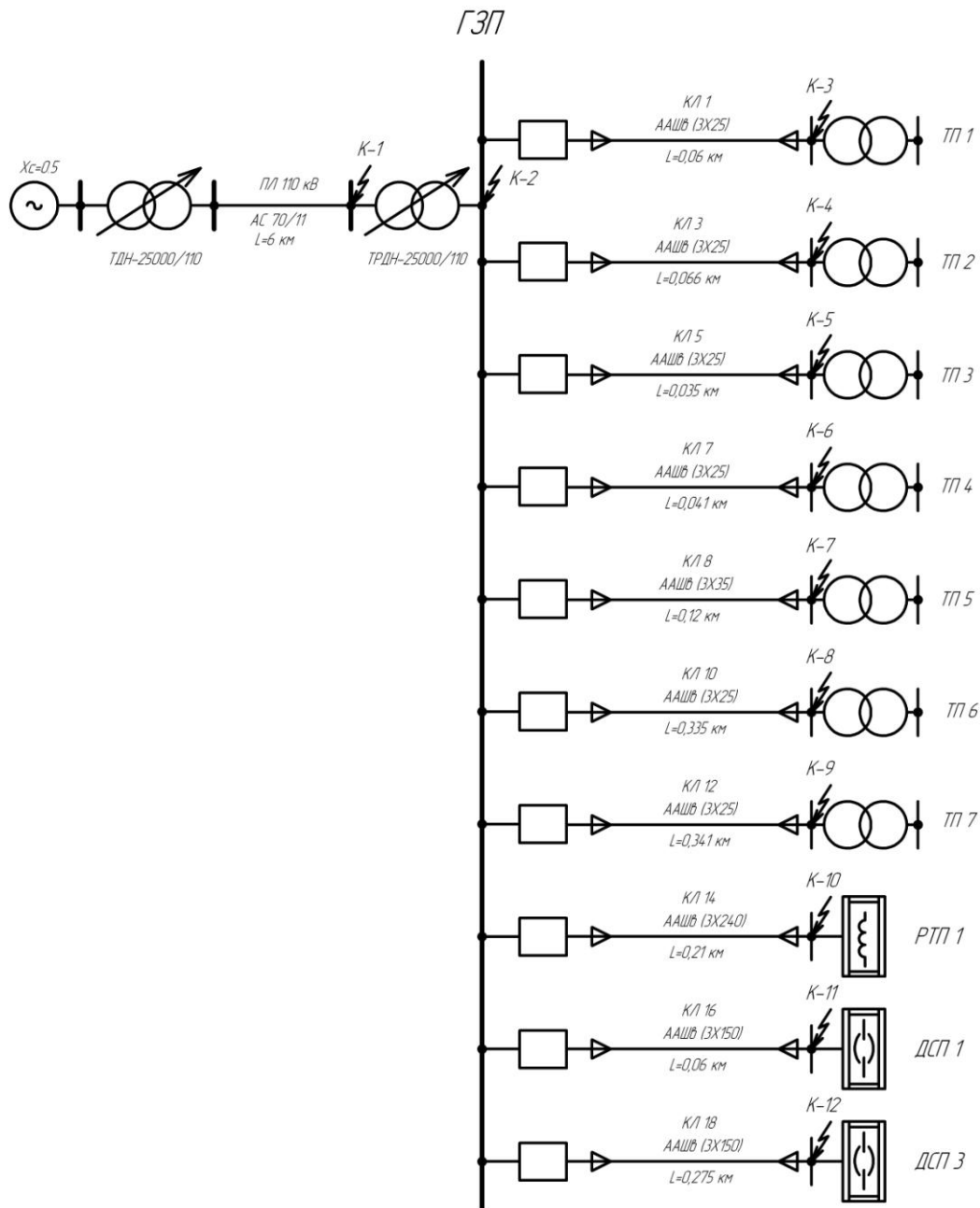


Рисунок 6.1. Розрахункова схема

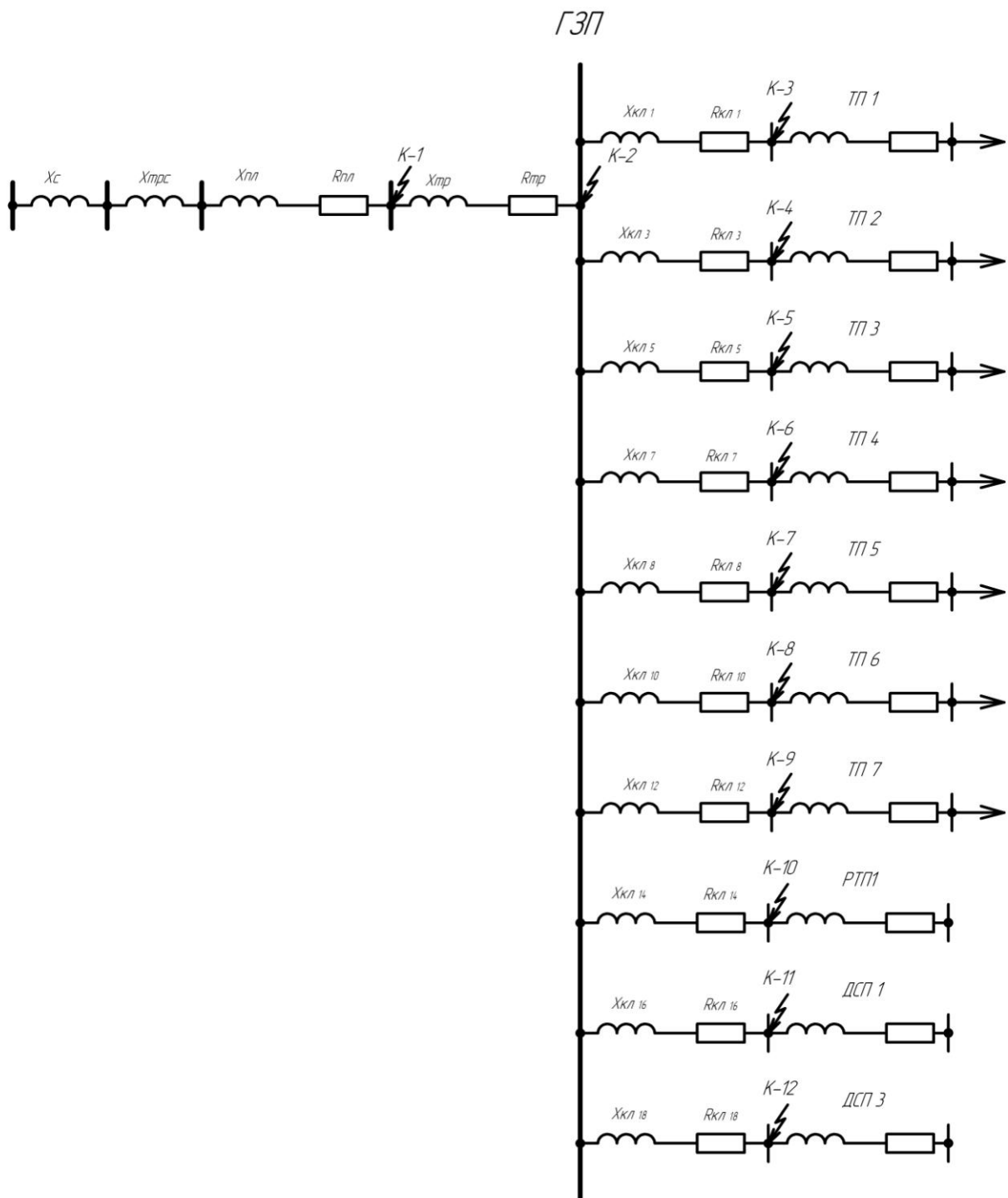


Рисунок 6.2. Еквівалентна схема, що використовується для розрахунку струмів короткого замикання

Якщо $S_{\sigma} = 100 \text{ МВА}$, то:

$$I_{\sigma 1} = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_{\sigma 1}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 115} = 0,502 \text{ кА};$$

$$I_{\kappa 2}'' = \frac{I_{\delta 2}}{z_{\kappa 2}} = \frac{5,499}{0,9866} = 5,574 \text{ кА.}$$

Період затухання аперіодичної складової струму короткого замикання, а також значення ударних коефіцієнтів становлять:

$$T_{a1} = \frac{x_{\kappa 1}}{\omega \cdot r_{\kappa 1}} = \frac{0,568}{314 \cdot 0,04029} = 0,0449, K_{y\delta 1} = 1,8;$$

$$T_{a2} = \frac{x_{\kappa 2}}{\omega \cdot r_{\kappa 2}} = \frac{0,9895}{314 \cdot 0,04029} = 0,0782, K_{y\delta 2} = 1,87.$$

Значення ударних струмів відповідно:

$$i_{y\delta 1} = \sqrt{2} \cdot I_{\kappa 1}'' \cdot K_{y\delta 1} = \sqrt{2} \cdot 0,885 \cdot (1 + e^{-\frac{0,01}{0,568}}) = 2,25 \text{ кА};$$

$$i_{y\delta 2} = \sqrt{2} \cdot I_{\kappa 2}'' \cdot K_{y\delta 2} = \sqrt{2} \cdot 5,574 \cdot (1 + e^{-\frac{0,01}{0,0782}}) = 14,819 \text{ кА.}$$

Для розрахунку струмів короткого замикання на шинній стороні 10 кВ цехових трансформаторних підстанцій необхідно спершу виконати попередній вибір перерізу кабельної лінії. Як приклад, детальний розрахунок наведено для ТП №1 (для інших підстанцій дані подано в табл. 6.1).

Отже, для ТП №1 отримаємо:

$$S_p = 2533,5 \text{ кВА}$$

Таким чином, значення струму складатиме:

- у нормальному режимі експлуатації:

$$I_p = \frac{S_p}{n\sqrt{3}U_n} = \frac{2533,5}{4 \cdot \sqrt{3} \cdot 10,5} = 35,28 \text{ А.}$$

- в аварійному режимі:

$$I_{p.av} = 2 \cdot I_p = 2 \cdot 35,28 = 70,56 \text{ А.}$$

$$F_{ек} = \frac{I_p}{j_{ек}} = \frac{35,28}{1,4} = 25,2 \text{ мм}^2.$$

6	2,02984	0,08464	2,03160	0,07638	1,87728	2,70673	7,18602
7	2,08580	0,09198	2,08783	0,07222	1,87069	2,63384	6,96797
8	2,39440	0,11375	2,39710	0,06704	1,86143	2,29402	6,03891
9	2,40184	0,11434	2,40456	0,06690	1,86116	2,28690	6,01930
10	2,00504	0,09633	2,00735	0,06629	1,85997	2,73943	7,20578
11	1,99136	0,08532	1,99319	0,07433	1,87412	2,75890	7,31221
12	2,03565	0,10231	2,03822	0,06337	1,85402	2,69794	7,07394

6.2. Вибір струмопровідних пристроїв силових мереж

Параметри потужності та струму для трансформаторної підстанції ТП №1:

$$S_p = 2533,5 \text{ кВА}$$

- у нормальному режимі експлуатації:

$$I_p = \frac{S_p}{n\sqrt{3}U_n} = \frac{2533,5}{4 \cdot \sqrt{3} \cdot 10,5} = 35,28 \text{ А.}$$

- у режимі аварійного навантаження:

$$I_{p.ав} = 2 \cdot I_p = 2 \cdot 35,28 = 70,56 \text{ А.}$$

$$F_{ек} = \frac{I_p}{j_{ек}} = \frac{35,28}{1,4} = 25,2 \text{ мм}^2.$$

Параметри B_k та $F_{тер}$ дорівнюють:

$$B_k = I_{КЗ}^2 (t_{відкл} + T_a) = 2,6756^2 (0,2 + 0,001) = 1,96 \text{ кА}^2\text{с}$$

$$F_{тер} = \frac{\sqrt{B_k}}{C} = \frac{\sqrt{1,96 \cdot 10^6}}{94} = 14,88 \text{ мм}^2$$

Для кабельної лінії типу 4хААШв-10 (3,0 х 25,0):

$$I_{дон} = 90 \text{ А} > I_{p.ав} = 70,56 \text{ А.}$$

З урахуванням відповідного коефіцієнта виконуємо перевірку КЛ згідно з критерієм допустимого струмового навантаження:

$$I_p = 35,28 \text{ А} < K_n I_{дон} = 72 \text{ А.}$$

Для аварійного режиму роботи:

$$I_{p.ав} = 70,56 \text{ A} < K_{ан} K'_n I_{дон} = 1,3 \cdot 0,85 \cdot 90 = 99,45 \text{ A}.$$

Розрахунки, виконані для всіх необхідних кабельних ліній, зведено у таблицю 6.4 відповідно до застосованої методики.

Таблиця 6.4 Підібрані кабельні лінії

Порядковий номер КЛ	$S_p, \text{кВА}$	n	I_p, A	$I_{p.ав}, \text{A}$	$F_{ек}, \text{мм}^2$	Обраний тип каб.лін.
1-4	2533,46	4	34,83	69,65	24,876	ААШВ-4 х (3,0 х 25)
5-7	1747,74	3	32,03	64,07	22,881	ААШВ-3 х (3,0 х 25)
8- 9	1407,05	2	38,68	77,37	27,631	ААШВ-2 х (3,0 х 35)
10- 13	2364,51	4	32,5	65,01	23,217	ААШВ-4 х (3,0 х 25)
14 -15	10666,7	2,0	293,4	312,8	209,6	ААШВ-2 х (3,0 х 240)
16- 19	12500,00	4,0	171,9	231,41	122,71	ААШВ-4 х (3,0 х 150,0)

6.3. Вибір електрообладнання

У таблицях 6.4–6.14 представлено узагальнені результати вибору основного електротехнічного обладнання.

Таблиця 6.5. Розрахункові дані для обґрунтування вибору вимикачів на напругу 110 кВ

Розрахункова вимога	Відповідне значення
$U_{уст} \leq U_{ном}$	110 кВ = 110 кВ
$I_{роб.форс} \leq I_{ном}$	175,7 А < 3150 А
$I'' \leq I_{дин.ст}$ $i_y \leq 1.8\sqrt{2}I_{дин.ст}$	1,98 ≤ 52,00 2.19 кА < 52 кА
$I_{нт} \leq I_{ном.відкл}$ $\sqrt{2}I_{нт} + i_{ат} \leq \sqrt{2}I_{ном.відкл}(1 - \beta_n)$	5.93 кА < ($\sqrt{2} \cdot 1.8 \cdot 52$) кА 5.93 кА < 132.37 кА
$B_k \leq I_{ТН}^2 t_{ТН}$	2.19 кА < 40 кА

Таблиця 6.6. Розрахункові дані для обґрунтування вибору ввідних вимикачів на напругу 10,5 кВ

Розрахункова вимога	Відповідне значення
$U_{уст} \leq U_{ном}$	10.5 ≤ 11,0
$I_{роб.форс} \leq I_{ном}$	1924,5 ≤ 2500
$I'' \leq I_{дин.ст}$ $i_y \leq 1.8\sqrt{2}I_{дин.ст}$	6,37 ≤ 52,0 13,6 ≤ 132,4
$I_{нт} \leq I_{ном.відкл}$ $i_{ат} \leq \sqrt{2}I_{ном.відкл}\beta_n$	6,37 ≤ 31,5 $\sqrt{2} \cdot 6,37 \cdot \overset{0,06}{\underset{0,0149}{a}} \leq \sqrt{2} \cdot 31,5 \cdot 0,4$ 0,15529 ≤ 17,8
$B_k \leq I_{ТН}^2 t_{ТН}$	44,014 ≤ 4800

Таблиця 6.10. Вихідні дані для розрахунку трансформатора власних потреб

№ з/п	Споживачі електроенергії	$P_{ном}$ кВт	n	$\cos\varphi$	$tg\varphi$	$P_{уст}$ кВт	$Q_{уст}$ кВар
1	ЕлДв систем охолодження трансформаторів	10,0	2,0	0,85	0,62	17,0	10,53
2	Системи під. ком. розпод. пристрою	0,6	34	1,0	0,0	20,4	0,0
	Шафи релейного обладнання	0,5	34	1,0	0,0	17,0	0,0
3	Системи опалення та освітлення для приміщень персоналу	6,0	1,0	1,0	0,0	6,0	0,0
4	Зовнішнє освітлення	5,0	1,0	1,0	0,0	5,0	0,0
5	Споживання ЕЕ оперативних кіл	3,0	1,0	1,0	0,0	3,0	0,0
	<i>Загалом</i>					54,41	10,53

Таблиця 6.11. Додаткові обчислення для вибору трансформаторів струму

Розрахункова вимога	Відповідне значення
$U_{уст} \leq U_{ном}$	$10,000 \leq 10,000$
$I_{роб.форс} \leq I_{ном}$	$1469,800 \leq 1500,000$
$i_y \leq I_{дин.ст}$	$13,693 \leq 128,000$
$B_k \leq I_{ТН}^2 t_{ТН}$	$1,94508 \leq 4800,000$
$Z_2 \leq Z_{ном}$	$0.2990 \leq 0.800$

$$Z_{прил} = \frac{I_{прил}}{I_{ном}^2} = \frac{4.10}{5,00^2} = 0.1600 \text{ Ом}$$

Також виконано попередній підбір трансформаторів струму для живлення відгалужених кабельних ліній. Пропонується використання ТПЛ-10 з наступними параметрами: ном. напруга – 10 кВ; ном. вторинний струм – 5 А; клас точн. – 0.5, а також:

$$I_{\text{дин.ст}} = 74.5 \text{ кА}; Z_{2\text{ном}} = 0.4 \text{ Ом}; I_{\text{терм.ст}} = 9.45 \text{ кА}; t_{\text{ТН}} = 3 \text{ с}$$

$$R_{\text{пров}} = Z_{2\text{ном}} - Z_{\text{прил}} - R_{\text{к}} = 0.4 - 0.16 - 0.1 = 0.14 \text{ Ом}$$

Таблиця 6.13. Оцінка навантаження на трансформатор напруги

Прилад	Потужність одн. пр-рою, ВА	Кількість обмоток приладу	Кількість приладів	Сумарне навантаження, ВА
Вольтметр	2	1	3	6
Лічильник	1,8	2	1	3,6
Ватметр	1,5	1	1	1,5
Варметр	2	1	1	2
Лічильник активної енергії	3	2	12	72
Лічильник реактивної енергії	3	2	12	72
Загалом				157,1

З метою забезпечення надійного функціонування вторинних кіл вимірювання та дотримання нормативних параметрів точності, доцільним є впровадження трансформатора напруги НАМИ-10-66 УЗ. Його параметри відповідають характеристикам, необхідним для даної системи електропостачання:

$$U_{\text{перв}} = 10 \text{ кВ}, U_{\text{втор}} = 100 \text{ В}, S_{\text{ном}0.5} = 200 \text{ ВА}.$$

ВИСНОВКИ

У межах кваліфікаційної роботи бакалаврського рівня вищої освіти виконано проєкт системи електропостачання заводу, який спеціалізується на виготовленні керамічної продукції. Основна увага приділена розробці рішень, спрямованих на підвищення надійності електропостачання особливо важливих виробничих ділянок.

На основі аналізу енергетичних потреб підприємства визначено раціональні параметри електропостачальної системи, розроблено схеми електричних з'єднань, а також обрано відповідне електротехнічне обладнання. Усі технічні рішення сформовано з урахуванням вимог безпеки, стабільності живлення та ефективності експлуатації, що є надзвичайно важливим для безперебійної роботи сучасного керамічного виробництва.

Результати, отримані в ході дослідження, підтверджують доцільність запропонованої структури системи електропостачання та її відповідність реальним потребам заводу. Сформульовані висновки та практичні рекомендації можуть бути використані для подальшої модернізації системи, а також для адаптації її до зростання виробничих потужностей.

Проектування здійснювалося з урахуванням вимог щодо енергоефективності, експлуатаційної надійності, безпеки та зручності обслуговування, а також з перспективою подальшої реконструкції або розширення виробничих потужностей підприємства.

Окрему увагу в роботі приділено організації гарантованого живлення ключових споживачів електроенергії. Визначено величини навантажень, що підлягають резервуванню, здійснено техніко-економічне обґрунтування вибору резервних джерел живлення. Також розглянуто варіанти підключення до суміжних енергооб'єктів, акумуляторних систем, дизель-генераторних установок і визначено найбільш доцільні схемні рішення з точки зору надійності.

Усі етапи проектування проводилися з дотриманням чинних нормативних документів, стандартів та методичних рекомендацій. Прийняті технічні рішення

									Арк.
Зм.	Арк.								

8. Основи ефективного використання електричної енергії в системах електроспоживання промислових підприємств: навч. посіб. / [О. І. Соловей, В. П. Розен, П. Г. Плешков та ін.]; Кіровоград. нац. техн. ун-т. – Черкаси: Чабаненко Ю., 2015. – 316 с.

9. Управління енергоспоживанням: промисловість і соціальна сфера : монографія / за заг. ред.: О. М. Теліженка, М. І. Сотника. – Суми : Мрія-1, 2018. – 336 с.

10. Основи енерго- і ресурсозбереження: навчальний посібник / Г. І. Канюк, Т. М. Пугачова, В. Ф. Без'язичний, О. М. Близниченко, Д. І. Шматков. – Харків : друкарня «Мадрид», 2019. – 230 с.