

Центральноукраїнський національний технічний університет
Факультет будівництва, транспорту та енергетики
Кафедра «Електротехнічні системи та енергетичний менеджмент»

“Допущено до захисту”
Зав. кафедрою ЕТС та ЕМ
к.т.н., професор
_____Петро ПЛЕСКОВ
“__” _____ 2023 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА **за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти**

на тему:

Розробка системи електропостачання заводу з виготовлення техніки сільськогосподарського призначення

Виконав здобувач вищої освіти
IV курсу, групи ЕЕ20-Зск
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
_____Бесчаснов А.М.
«__» _____ 2023 р.

Керівник роботи
доцент, канд. техн. наук
_____Руслан ТЕЛЮТА
«__» _____ 2023 р.

Рецензент _____

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет будівництва, транспорту та енергетики

Кафедра електротехнічних систем та енергетичного менеджменту

Рівень вищої освіти бакалавр

Галузь знань 14 «Електрична інженерія»

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітньо-професійна програма

«Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

_____ Плешков П.Г.

«_____» _____ 2023 р.

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

Бесчастнову Антону Миколайовичу

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи

Розробка системи електропостачання заводу з виготовлення техніки сільськогосподарського призначення

Development of a power supply system for an agricultural machinery manufacturing plant

2. Керівник роботи

Телюта Руслан Васильович, к.т.н., доцент

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

3. Строк подання студентом роботи до захисту 12.06.2022 р.

4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи Метою роботи є розробка системи електропостачання заводу з виготовлення техніки сільськогосподарського призначення. Завдання: дати коротку характеристику електротехнологічного процесу заводу. Розрахунок силових електричних навантажень. Побудова графіків електричних навантажень заводу з переробки насіннєвого продукту. Побудова картограм електричних навантажень. Вибір напруги і електричних схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання. Режими реактивної потужності системи електропостачання. Вибір кількості та потужності трансформаторів. Розрахунок струмів коротких замкнень та вибір високовольтного обладнання і високовольтних мереж системи

електропостачання. Вимірювання режимних параметрів системи електропостачання. 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>Гарасьова Н.Ю., доцент</i>		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Видача завдання</i>	8.05.23	
2	<i>Вступ</i>	9.05.23	
3	<i>Електричні навантаження в системі електропостачання</i>	10.05.23	
4	<i>Побудова картограми електричних навантажень</i>	15.05.23	
5	<i>Техніко-економічне обґрунтування схем електропостачання</i>	18.05.23	
6	<i>Вибір кількості, потужності та місця розташування трансформаторів</i>	22.05.23	
7	<i>Режими реактивної потужності системи електропостачання</i>	25.05.23	
8	<i>Розрахунок струмів короткого замикання</i>	29.05.23	
9	<i>Вибір обладнання електропостачання</i>	31.05.23	
10	<i>Спеціальний розділ</i>	5.06.23	
11	<i>Заклучення</i>	12.06.23	
12	<i>Список літератури</i>	14.06.23	
13	<i>Оформлення розрахунково-пояснювальної записки</i>	16.06.23	
14	<i>Оформлення графічної частини</i>	19.06.23	

Дата видачі завдання

«___» _____ 20__ р.

Підпис керівника

(прізвище, ініціали)

Завдання прийнято до виконання

«___» _____ 20__ р.

Підпис здобувача

(прізвище, ініціали)

Зміст

	Стор.
Вступ.....	5
1. Електричні навантаження в системі електропостачання заводу.....	7
1.1. Визначення силових електронавантажень заводу у мережах до 1000 В	7
1.2. Розрахунок освітлювальних навантажень заводу.....	12
1.3. Розрахунок електронавантажень заводу в силових мережах вище 1000 В	13
1.4. Побудова графіків електричних навантажень заводу	19
2. Побудова картограми електричних навантажень заводу та місце розташування ЦРП	24
3. Техніко-економічне обґрунтування схем електропостачання заводу зовнішнього та внутрішнього виконання.....	26
3.1. Вибір напруги та схеми зовнішнього електропостачання заводу.....	27
3.2. Вибір напруги та схеми внутрішнього електропостачання заводу.....	31
4. Вибір кількості трансформаторів їх потужності та місця розташування на заводі.....	32
5. Режим реактивної потужності системи електропостачання заводу ...	33
5.1. Розрахунок балансу реактивної потужності на заводі та вибір компенсуючих пристроїв	33
5.2. Вибір кількості компенсуючих пристроїв на заводі, їх потужності та місця розташування.....	34
6. Розрахунок струмів короткого замикання. Вибір електрообладнання заводу та силових електромереж системи постачання	43

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ									
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	Розробка системи електро- постачання заводу з виготовлення техніки сільськогосподарського призначення					Літ.	Аркуш	Аркушів		
Розробив	Бесчаснов А.В.											3	77	
Перевірів	Телюта Р.В.													
										ЦНТУ гр. ЕЕ20-Зск				
Н. Контр.	Телюта Р.В.													
Затвердив	Плещков П.Г.													

6.1. Розрахунок струмів коротких замикань в системі живлення заводу	43
6.2. Вибір високовольтних кабелів для заводу.....	48
6.3. Вибір електричних апаратів високої напруги для заводу.....	50
6.4. Вибір трансформаторів струму та напруги для заводу.....	55
7. Спеціальний розділ. Розробка заходів та способів з енергозбереження для електроустановки нагрівання опором.	59
7.1. Вибір електроустановки нагрівання опором.....	59
7.1.1 Вибір печі опору.....	59
7.1.2 Вибір схеми регулювання температури печі опору.....	60
7.1.3 Режим роботи електричної печіопору.....	61
7.2 Енергозбереження в печах опору	64
7.2.1 Витрати електроенергії в печах опору	64
7.2.2 Раціональна організація роботи печі опору.....	65
7.2.3 Використання попереднього нагріву виробів	68
7.2.4 Розрахунок продуктивності і питомої витрати енергії при знижені напруги мережі	68
7.3 Рекомендації щодо зменшення витрат електроенергії під час роботи печі опору.....	69
Висновки	76
Перелік посилань.....	77

Вступ

Система електропостачання любого промпідприємства чи заводу повинна задовольнити вимоги ефективного електропостачання на промисловому підприємстві, необхідно звернути увагу на кілька ключових аспектів.

По-перше, економічність і надійність системи електропостачання повинні бути забезпечені за допомогою правильного розрахунку потужності та планування потреб енергії. Необхідно також враховувати можливість використання альтернативних джерел енергії, таких як сонячні батареї, вітрові турбіни, гідроелектростанції тощо.

По-друге, система повинна бути безпечною і забезпечувати належний рівень якості електроенергії, рівнів напруги та стабільності частоти. Це можна досягти за допомогою використання високоякісного обладнання та виконання необхідних робіт з технічного обслуговування та ремонту.

По-третє, зручність монтажу та експлуатації є важливим аспектом, який необхідно враховувати під час проектування системи. Це включає в себе правильне розміщення обладнання, забезпечення достатньої місцевості для технічного обслуговування та ремонту, а також використання зручних управлінських інтерфейсів для операторів системи.

Нарешті, необхідно враховувати можливість розширення системи електропостачання при розвитку підприємства, без значних ускладнень і дорожчання існуючого варіанту. Це можна забезпечити за допомогою використання модульних компонентів та обладнання, яке може бути легко замінене або додане до існуючої системи.

Для розрахунку електропостачання підприємства необхідно виконати наступні кроки: визначення силового та освітлювального навантаження підприємства. Для цього необхідно визначити кількість та потужність електроприймачів, які будуть використовуватись на підприємстві; побудова графіків навантаження по активній та реактивній потужностях. Графіки навантаження дозволяють визначити пікові значення споживання електроенергії,

						Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

які будуть використовуватись для розрахунку потужності та кількості електроприймачів, що потрібні для забезпечення електропостачання підприємства; розрахунок техніко-економічного зрівняння варіантів зовнішнього та внутрішнього електропостачання. У залежності від умов та потреб підприємства можна вибрати різні варіанти електропостачання: зовнішнє або внутрішнє. Розрахунок техніко-економічного зрівняння дозволяє вибрати оптимальний варіант, який задовольнятиме потреби підприємства за мінімальних витрат; розрахунок та вибір оптимальної кількості цехових трансформаторних підстанцій (ТП) та компенсації реактивної потужності. Для забезпечення ефективного функціонування електропостачання необхідно встановити цехові ТП та компенсацію реактивної потужності; вибір закону для регулювання компенсації реактивної потужності для досягнення системою заданого коефіцієнта потужності. Вибір високовольтного електрообладнання та високовольтних живильних кабельних ліній.

Сільськогосподарська галузь є важливим сектором господарства, тому виробництво обладнання для цієї галузі може мати великий потенціал розвитку. Зважаючи на те, що завод поставляє свою продукцію не тільки на внутрішній ринок, але й за його межі, можна сказати, що він має потенціал для розширення свого бізнесу і збільшення обсягів продажу. Важливо також продовжувати працювати над покращенням якості виробленої продукції і освоювати нові моделі сільськогосподарської техніки, щоб задовольняти зростаючі потреби клієнтів та підвищувати конкурентоспроможність підприємства на ринку.

						Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

1. Електричні навантаження в системі електропостачання заводу

Для визначення розрахункових електричних навантажень приймачів електричної енергії заводу можна використовувати різні методики, в залежності від конкретних умов та потреб споживачів. Одна з таких методик описана в [1].

1.1 Визначення силових електронавантажень заводу у мережах до 1000 В

Середнє навантаження групи ЕП заводу та їх потужність зі схожим режимом роботи становить:

$$P_{cp} = P_{cym} \cdot K_u = 80,5 \cdot 0,51 = 41,5 \text{ кВт},$$

$$Q_{cp} = P_{cp} \cdot \operatorname{tg} \varphi = 80,5 \cdot 0,79 = 32,9 \text{ кВар}.$$

Для всіх споживачів по корпусу заводу середньозмінне навантаження:

$$P_{cm} = \sum P_{cpi} = 60 + 4 + 4 + 12,5 = 80,5 \text{ кВт}$$

Аналогічно: $Q_{cm} = 32,9 \text{ кВар}$

Ефективне число ЕП по корпусу заводу

$$n_e = \frac{2 \cdot \sum P_n}{P_{n, \max}} = \frac{2 \cdot 80,5}{15} = 7.$$

Використовуючи початкові дані для заводу знаходимо коефіцієнт m:

$$m = \frac{P_{n, \max}}{P_{n, \min}} = \frac{15}{1} = 15.$$

Коефіцієнт K_m знаходимо за таблицями [1] в залежності від існуючого значення групового коефіцієнта використання по приміщенню та встановленого ефективного числа ЕП у вибраній групі, вузлі приймаємо навантаження $K_m = 1,45$.

Розрахункове для групи електроприймачів навантаження (активне та реактивне)

$$P_p = P_{cm} \cdot K_m = 41,5 \cdot 1,45 = 59,98 \text{ кВт},$$

$$Q_p = 36,22 \text{ кВар}.$$

Розрахункове значення максимум навантаження по об'єкту

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{59,98^2 + 36,22^2} = 70,07 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

Розрахунок існуючих навантажень до 1000 В приведені в таблиці 1.1.

						Аркуш
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.1. Розрахунок електричних навантажень споживачів заводу мережі до 1 кВ

№	Назва вузлів навантаження та груп електроприймачів	Кількість ел. споживачів	Встановлена потужність, кВт		m	K _в	cosφ	tgφ	Середнє навантаження за зміну, кВт		n _{еф}	K _м	Розрахункова потужність, кВт		
			Одного	Сум.					P _{ср}	Q _{ср}			P _p	Q _p	S _p
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	<u>Інженерно-лабораторний корпус 1</u>														
	ПК, офісна техніка -	46	0,5 - 3	78	6	0,7	0,8	0,75	54,6	41,0					
	Кондиціонери -	24	0,5 - 1	24	2	0,7	0,8	0,75	16,8	12,6					
	Ліфт -	2	5,5 - 7,5	15	1	0,25	0,5	1,73	3,8	6,5					
	Вентилятори сантехнічні -	6	5,5 - 10	45	2	0,65	0,8	0,75	29,3	21,9					
	Випробувальні стенди -	10	3,0 - 30	150	10	0,2	0,7	1,17	30,0	35,1					
	Тестуюча апаратура -	3	1,0 - 5,0	10	5	0,4	0,75	0,88	4,0	3,5					
	Електричні печі опору -	5	3,0 - 30	75	10	0,2	0,95	0,33	15,0	4,9					
	Електронагрівачі -	39	0,5 - 10	195	20	0,6	0,95	0,33	117,0	38,5					
	Холодильники -	21	0,5 - 0,8	13,5	2	0,7	0,50	1,73	9,5	16,4					
	Всього ІЛК 1	156	0,5 - 30	605,5	60	0,46	0,84	0,64	279,9	180,3	40	1,18	330,86	180,34	376,82
2	<u>Інженерно-лабораторний корпус 2</u>														
	ПК, офісна техніка -	34	0,5 - 3	52	6	0,7	0,8	0,75	36,4	27,3					
	Кондиціонери -	18	0,5 - 18	12,5	36	0,7	0,8	0,75	8,8	6,6					
	Ліфт -	2	5,5 - 7,5	15	1	0,3	0,5	1,73	3,8	6,5					
	Вентилятори сантехнічні -	6	5,5 - 10	45	2	0,65	0,8	0,75	29,3	21,9					
	Випробувальні стенди -	9	3,0 - 30	135	10	0,2	0,7	1,17	27,0	31,6					
	Тестуюча апаратура -	3	1,0 - 5,0	10	5	0,4	0,75	0,88	4,0	3,5					
	Електричні печі опору -	3	3,0 - 30	45	10	0,2	0,95	0,33	9,0	3,0					
	Електронагрівачі -	15	0,5 - 6	45	12	0,6	0,9	0,48	27,0	13,1					
	Нагрівачі води -	19	1,0 - 10	57	10	0,6	1,0	0	34,2	0,0					
	Холодильники -	18	0,5 - 0,8	12,6	2	0,7	0,50	1,73	8,8	15,3					
	Всього ІЛК 2	127	0,5 - 30	429,1	60	0,44	0,83	0,684	188,2	128,7	29	1,23	231,77	128,70	265,11

Продовження таблиці 1.1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
3	<u>Склад фраби</u>														
	Вентилятори	4	15 - 15	60	1	0,7	0,8	0,75	39,0	29,3					
	Вантажопіднімач	1	3,0 - 5,0	4	2	0,2	0,7	1,02	0,8	0,8					
	Електротельфер	1	1,0 - 5	4	5	0,1	0,5	1,73	0,4	0,7					
	Кран-балка	1	10 - 15	12,5	2	0,1	0,5	1,73	1,3	2,2					
	Всього по складу фарби	7	1,0 - 15	80,5	15	0,51	0,78	0,79	41,5	32,9	7	1,45	59,98	36,22	70,07
4	<u>Склад сировини</u>														
	Кран-балка	2	1,0 - 4	8	4	0,1	0,5	1,732	0,8	1,4					
	Вантажопіднімач	2	3,0 - 5,5	11	2	0,2	0,7	1,02	2,2	2,2					
	Вентилятори	6	3,0 - 5,5	30	2	0,7	0,8	0,75	19,5	14,6					
	Всього по складу сировини	10	1,0 - 5,5	49	6	0,46	0,80	0,75	22,5	18,3	10	1,41	31,75	20,08	37,57
5	<u>Склад металу</u>														
	Кран-балка	2	1,0 - 10	15	10	0,1	0,2	4,90	1,5	7,3					
	Електротельфер	2	1,0 - 5	12	5	0,1	0,5	1,73	1,2	2,1					
	Таль	3	1,0 - 2	5	2	0,1	0,7	1,02	0,5	0,5					
	Вантажопіднімач	4	3,0 - 5,5	20	2	0,2	0,7	1,02	4,0	4,1					
	Гельотинні ножниці	4	15 - 15	60	1	0,25	0,6	1,33	15,0	20,0					
	Вентилятори	6	3,0 - 5,5	30	2	0,7	0,8	0,75	19,5	14,6					
	Всього по складу сировини	21	1,0 - 15	142	15	0,29	0,80	0,75	41,7	48,6	19	1,42	59,34	48,64	76,73
6	<u>Склад готової продукції</u>														
	Кран-балки	4	17,5 - 17,5	70	1	0,1	0,8	0,75	7,0	5,3					
	Електротельфер	4	1,0 - 5	20	5	0,1	0,5	1,73	2,0	3,5					
	Вантажопіднімач	2	3,0 - 5,0	8	2	0,2	0,7	1,02	1,6	1,6					
	Кран	2	2,5 - 12	24	5	0,1	0,7	1,02	2,4	2,4					
	Всього по дільниці	12	1,0 - 17,5	122	18	0,11	0,71	0,98	13,0	12,8	12	2,07	26,9	12,8	30

Зм	
Арк.	
% докум.	
Підпим	
Дата	
10	Аркус

Продовження таблиці 1.1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
7	<u>Дільниця різання металу</u>														
	Гельотинні ножниці 3,5-25мм	19	7,5 - 40	475	5,3	0,25	0,7	1,17	118,8	138,8					
	Механічні пили	5	7,5 - 7,5	38	1	0,2	0,7	1,17	7,5	8,8					
	Пили Геллера	4	22 - 22	88	1	0,2	0,7	1,17	17,6	20,6					
	Образивна різка	2	7,5 - 7,5	15	1	0,25	0,6	1,33	3,8	5,0					
	Прес 63 т	1	11 - 11	11	1	0,2	0,7	1,17	2,2	2,6					
	Прес Толедо 35 т	1	13 - 13	13	1	0,25	0,7	1,17	3,3	3,8					
	Всього по дільниці	32	7,5 - 40	640	5	0,24	0,65	1,17	153,1	179,6	32	1,36	208,9	179,6	275,5
8	<u>Ремонтна дільниця</u>														
	Металорізальні верстати	36	7,5 - 22	386	3	0,16	0,5	1,73	61,8	107,0					
	Металорізальні верстати з ЧПУ	5	10 - 40	105	4	0,1	0,5	1,73	13,7	23,6					
	Шліфувальні верстати	4	2,2 - 5,5	16	3	0,2	0,65	1,17	3,2	3,7					
	Всього по рем. дільниці	45	2,2 - 40	507	18	0,16	0,51	1,71	78,6	134,4	25	1,56	122,5	134,4	181,8
9	<u>Дільниця пресів</u>														
	Преси 40-2500 т	39	9,5 - 112	1720	12	0,2	0,65	1,17	344,0	402,2					
	Прес листоштамповий	3	45 - 45	135	1	0,2	0,65	1,17	27,0	31,6					
	Галт. барабан	2	40 - 40	80	1	0,3	0,65	1,17	27,0	31,6					
	Всього по дільниці пресів	44	10 - 112	1935	12	0,21	0,65	1,17	398,0	465,3	35	1,38	551,1	465,3	721,3
10	<u>Зварювальна дільниця</u>														
	Зварювальні автомати	28	40 - 40	1120	1	0,35	0,5	1,73	392,0	679,0					
	Багатопостові звар. автомати	5	300 - 300	1500	1	0,5	0,7	1,02	750,0	765,2					
	Перемотуючі пристрої	4	2,2 - 2	8,8	1	0,1	0,5	1,73	1,1	2,0					
	Вентилятори	12	15 - 15	180	1	0,7	0,8	0,75	126,0	94,5					
	Всього по зварювальн. дільниці	49	2,2 - 300	2809	136	0,45	0,64	1,2	1269,1	1540,6	19	1,29	1632,2	1540,6	2244,4

Продовження таблиці 1.1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
11	<u>Дільниця обробки</u>														
	Металорізальні верстати	12	2,2 - 22	120	10	0,16	0,5	1,73	19,2	33,3					
	Металорізальні верстати з ЧПУ	4	10 - 40	95	4	0,16	0,5	1,73	15,2	26,3					
	Машини точечного зварювання	4	120 - 120	480	1	0,35	0,6	1,33	168,0	224,0					
	Многопостові машини точ.зварки	1	300 - 300	300	1	0,35	0,6	1,33	105,0	140,0					
	Всього по дільниці обробки	21	2,2 - 300	995	136	0,31	0,59	1,38	307,4	423,6	7	1,74	536,1	465,9	710,3
12	<u>Дільниця фарбування</u>														
	Малярно-сушильний агрег	2	62 - 62	124	1	0,6	0,8	0,75	74,4	55,8					
	Кран-балки	2	17,5 - 17,5	35	1	0,1	0,5	1,732	3,5	6,1					
	Вентилятори	10	22 - 22	220	1	0,7	0,8	0,88	154,0	135,8					
	Пристрої сушки повітря	2	7,5 - 7,5	15	1	0,7	0,8	0,8	10,5	7,9					
	Насоси	4	10 - 10	40	1	0,7	0,8	0,8	28,0	21,0					
	Всього по дільниці покраски	20	17,5 - 62	379	4	0,71	0,81	0,7	270,4	197,7	12	1,16	270,4	217,4	347,0
	<u>Дільниця збирання</u>														
	Конвейєр	4	22 - 22	88	1	0,25	0,5	1,73	22,0	38,1					
	Вентилятори	4	15 - 15	60	1	0,7	0,5	1,73	42,0	72,7					
	Кран-балка	2	2 - 2	4	1	0,1	0,5	1,73	0,4	0,7					
	Електротельфер	2	1,0 - 5	12	5	0,1	0,5	1,73	1,2	2,1					
	Прес механічний	2	7,5 - 7,5	15	1	0,4	0,5	1,73	6,0	10,4					
	Всього по дільниці	14	1,0 - 22	185	22	0,4	0,5	1,73	71,6	124,0	14	1,40	100,3	124,0	159,5
	Всього до споживачам	558	0,5 - 300	8877	600	0,35	0,67	1,112	3134,9	3486,7	59	1,19	3733,9	3486,7	5108,8

1.2 Розрахунок освітлювальних навантажень заводу

Розрахунок освітлювальних навантажень по заводу виконується методом питомої потужності, згідно методики [1], на одиницю корисної площі приміщення.

Результати розрахунків освітлювальних навантажень зводимо в таблицю 1.2.

Таблиця 1.2 Розрахунок освітлювальних навантажень по приміщеннях.

№ п/ п	Найменування приміщення заводу	F , м ²	P_o , Вт/м ²	P_v , кВт	$\cos \varphi$	K_1	K_c	$\operatorname{tg} \varphi$	Розрахункове навантаження приміщення		
									P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВА
1	Інженерно- лабораторний корпус 1	4502,25	22	99,05	0,9	1,2	0,8	0,48	79,24	38,04	87,90
2	Інженерно- лабораторний корпус 2	4502,25	22	99,05	0,9	1,2	0,8	0,48	79,24	38,04	87,90
3	Склад фраби	627,75	6	3,77	0,9	1,2	0,6	0,48	2,26	1,08	2,51
4	Склад сировини	960	6	5,8	0,5	1,12	0,6	1,73	3,5	6,0	6,91
5	Склад металу	3192	6	19,2	0,5	1,12	0,6	1,73	11,5	19,88	22,96
6	Склад готової продукції	12125	0,4	4,9	0,5	1,12	0,6	1,73	2,9	5,03	5,81
7	Дільниця різання металу	1232,4	16	19,7	0,5	1,12	0,9	1,73	16,8	29,00	33,49
8	Ремонтна дільниця	2204,1	18	39,7	0,9	1,2	0,9	0,48	33,7	16,19	37,41
9	Дільниця пресів	5934,6	16	95,0	0,5	1,12	0,9	1,73	80,7	139,6	161,28
10	Зварювальна дільниця	5355,7	18	96,4	0,9	1,2	0,9	0,48	81,9	39,3	90,89
11	Дільниця обробки	4753	18	85,6	0,9	1,2	0,9	0,48	72,7	34,9	80,66
12	Дільниця фарбування	4312	16	69,0	0,5	1,12	0,9	1,73	58,6	101,5	117,18
13	Дільниця збирання	6426	18	115,7	0,9	1,2	0,9	0,48	98,3	47,2	109,06
14	Територія корпусу	60522	0,1	6,1	0,5	1,12	0,6	1,73	3,6	6,28	7,26
	Всього								625,0	522,03	851,21

1.3 Розрахунок електронавантажень заводу в силових мережах вище 1000 В

Розрахунок навантажень в мережі заводу напругою більше 1000 В потребує детального визначення кількості і місць розміщення комплектних трансформаторних підстанцій та їх потужностей. Картограма навантаження може допомогти визначити ці параметри та визначити схеми живлення розрахункових приміщени заводу. Якщо встановлення окремих комплектних трансформаторних підстанцій є нераціональним, енергоспоживання розрахункових приміщень можна забезпечити за допомогою низьковольтної напруги 380 В від КТП сусідніх споживачів, за умови, що відхилення напруги не перевищують норм, встановлених у ДЕСТ-13109-67 для заданих затискачів ЕП. Такий підхід може значно зменшити витрати на будівництво нових комплектних трансформаторних підстанцій та забезпечити оптимальний режим роботи існуючої мережі. Загальне навантаження по споживачам заводу визначається так само, як і навантаження по окремим ТП.

Потім визначаються втрати у трансформаторах для кожної КТП чи групи.

Згідно [1] номінальні параметри трансформатора ТМ-630/10/0,4:

Потужність встановленого КТП: $S_n = 630 \text{ кВ}\cdot\text{А}$;

Втрати в ТП: $\Delta P_{xx} = 1,420 \text{ кВт}$;

струм х.х. в ТП: $I_{xx} = 2,0\%$;

напруга в ТП: $U_n = 10 \text{ кВ}$;

втрати в ТП: $\Delta P_{кз} = 7,60 \text{ кВт}$;

напруга к.з. в ТП: $U_{кз} = 5,5\%$

Розрахунок електричних навантажень по заводу для силових електромереж, що вище значення 1000 В, зводиться у вигляді таблиці 1.3.

						Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

№ п/п	Найменування	К-сть ЕС	Встановлена потужність, кВт			m	K _v	cosφ	tgφ	Середнє навантаж		η _{еф}	K _m	Розрахункове навантаження		
			Одного		Сум.					P _{сер,} кВт	Q _{сер,} квар			P _{p,} кВт	Q _{p,} квар	S _{p,} МВА
			min	max												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	ТП1															
1	Інженерно-лабораторний корпус 1															
	силове:	156	0,5	30	605,5	60	0,46	0,84	0,65	278,53	179,91	40	1,19	330,4	179,91	376,21
	освітлювальне:									99,05				79,24	38,04	
	Всього:									377,58	179,91			409,64	217,95	464,01
2	Інженерно-лабораторний корпус 2															
	силове:	127	0,5	30	429,1	60	0,44	0,83	0,67	188,8	126,87	29	1,23	233,1	126,87	265,39
	освітлювальне:									99,05				79,24	38,04	
	Всього:									287,85	126,87			312,34	164,91	353,2
3	Склад фрази															
	силове:	7	1	15	80,5	15	0,51	0,78	0,8	41,05	32,93	7	1,46	59,95	36,22	70,04
	освітлювальне:									3,77				2,26	1,08	
	Всього:									44,82	32,93			62,21	37,3	72,54
4	Дільниця збирання															
	силове:	14	1	22	185	22	0,39	0,5	1,73	72,15	124,97	14	1,4	101,31	124,97	160,88
	освітлювальне:									115,7				98,3	47,2	
	Всього:									187,85	124,97			199,61	172,17	263,6
	Територія корпусу															
	освітлювальне:									6,1				3,6	6,28	
	Всього:									6,1	0			3,6	6,28	7,24

продовження таблиці 1.3																
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	Всього по ТП1:															
	силове:	304	0,5	30	1300,1	60	0,45	0,78	0,8	585,04	469,37	87	1,12	657,32	469,37	807,7
	освітлювальне:									323,67				262,64	130,64	
	БК 0,4 кВ														0	
	Всього на шинах 0.4 кВ ТП1:									908,71	469,37			919,96	600,01	1098,33
	Втрати в трансформаторах:													16,09	77,86	
	Кількість трансформ: 2															
	Номінальна потужність, кВА: 630															
	Коефіцієнт завантаження: Кз = 0,87															
	Всього на шинах 10 кВ ТП1:													936,05	677,87	1155,72
	ТП2															
5	Склад сировини															
	силове:	10	1	5,5	49	5,5	0,46	0,8	0,75	22,54	16,91	10	1,42	31,94	18,6	36,96
	освітлювальне:									5,8				3,5	6	
	Всього:									28,34	16,91			35,44	24,6	43,14
6	Склад металу															
	силове:	21	1	15	142	15	0,29	0,8	0,75	41,18	30,88	19	1,44	59,13	30,88	66,71
	освітлювальне:									19,2				11,5	19,88	
	Всього:									60,38	30,88			70,63	50,76	86,98
7	Склад готової продукції															
	силове:	12	1	17,5	122	17,5	0,11	0,71	0,99	13,42	13,31	12	2,1	28,22	13,31	31,2
	освітлювальне:									4,9				2,9	5,03	
	Всього:									18,32	13,31			31,12	18,34	36,12

Зм		продовження таблиці 1.3																
Арк.		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
% докум.		8	Дільниця різання металу															
			силове:	32	7,5	40	640	5,3	0,24	0,65	1,17	153,6	179,58	32	1,37	210,83	179,58	276,94
			освітлювальне:									19,7				16,8	29	
			Всього:									173,3	179,58			227,63	208,58	308,74
Підпим		9	Дільниця пресів															
			силове:	44	10	112	1935	11,2	0,21	0,65	1,17	406,35	475,08	35	1,39	564,53	475,08	737,83
			освітлювальне:									95,5				80,7	139,6	
Дата			Всього:									501,85	475,08			645,23	614,68	891,15
			Всього по ТП2:															
			силове:	119	1	112	2888	112	0,22	0,66	1,14	635,36	723,22	52	1,3	826,92	723,22	1098,56
			освітлювальне:									145,1				115,4	199,51	
			БК 0,4 кВ														0	
			Всього на шинах 0.4 кВ ТП2:									780,46	723,22			942,32	922,73	1318,86
			Втрати в трансформаторах:													21,19	101,13	
			Кількість трансформаторів: 2															
			Номінальна потужність, кВА: 630															
			Коефіцієнт завантаження: Кз = 1,05															
			Всього на шинах 10 кВ ТП2:													963,51	1023,86	1405,93
			ТП 3-4															
		10	Ремонтна дільниця															
			силове:	45	2,2	40	507	18,2	0,16	0,51	1,69	81,12	136,82	25	1,57	127,02	136,82	186,69
			освітлювальне:										39,7				33,7	16,19
		Всього:										120,82	136,82			160,72	153,01	221,91
16	Арх.ш																	

1.4 Побудова графіків електричних навантажень заводу

На підставі проведених вимірів складаються добові графіки навантаження по заводу на зимовий і літній періоди $P(t)$, $Q(t)$, $S(t)$ з урахуванням кількості робочих та вихідних днів (змін). Ці графіки використовуються для побудови річного графіка навантаження по заводу. На основі добового графіка роботи заводу визначаються можливості КТП. Щоб розрахувати рівні напруг у мережі заводу, потрібно знати максимальне та мінімальне його навантаження.

Для побудови необхідних графіків використаний прикладну програму Mathcad.

1. Активне максимальне навантаження по заводу: $P_{\max} = 4438,26$ кВт;
2. Реактивне максимальне навантаження по заводу: $Q_{\max} = 4429,74$ квар;
3. Для кожної ступені графіка використаємо графіками навантаження (у %).

Доба, години	Робочий період заводу		Вихідний період заводу	
	P, кВт	Q, квар	P, кВт	Q, квар
1	50.0	45.0	50.0	55.0
2	49.0	45.0	50.0	55.0
3	48.0	45.0	50.0	55.0
4	49.0	45.0	50.0	55.0
5	50.0	45.0	50.0	55.0
6	52.0	55.0	50.0	55.0
7	60.0	64.0	40.0	48.0
8	93.0	90.0	40.0	48.0
9	100.0	100.0	40.0	48.0
10	96.0	98.0	40.0	48.0
11	82.0	77.0	40.0	48.0
12	85.0	83.0	40.0	48.0
13	91.0	97.0	40.0	48.0
14	91.0	97.0	40.0	48.0
15	84.0	80.0	40.0	48.0
16	84.0	80.0	40.0	48.0
17	84.0	80.0	40.0	48.0
18	82.0	73.0	50.0	55.0
19	75.0	63.0	50.0	55.0
20	76.0	70.0	50.0	55.0
21	75.0	70.0	50.0	55.0
22	73.0	60.0	50.0	55.0
23	64.0	50.0	50.0	55.0
24	49.0	45.0	50.0	55.0

Таблиця 1.4. Обчислення сходинок графіка навантаження по заводу:

Год ини	Літні робочі дні заводу			Зимові робочі дні заводу			Літні вихідні дні заводу			Зимні вихідні дні заводу		
	Р, кВт	Q, квар	S, кВА	Р, кВт	Q, квар	S, кВА	Р, кВт	Q, квар	S, кВА	Р, кВт	Q, квар	S, кВА
1	1886	1694	2536	2219	1993	2983	1886	2071	2801	2219	2436	3296
2	1849	1694	2508	2175	1993	2950	1886	2071	2801	2219	2436	3296
3	1811	1694	2480	2130	1993	2918	1886	2071	2801	2219	2436	3296
4	1849	1694	2508	2175	1993	2950	1886	2071	2801	2219	2436	3296
5	1886	1694	2536	2219	1993	2983	1886	2071	2801	2219	2436	3296
6	1962	2071	2853	2308	2436	3356	1886	2071	2801	2219	2436	3296
7	2264	2410	3306	2663	2835	3890	1509	1807	2354	1775	2126	2770
8	3508	3389	4878	4128	3987	5739	1509	1807	2354	1775	2126	2770
9	3773	3765	5330	4438	4430	6271	1509	1807	2354	1775	2126	2770
10	3622	3690	5170	4261	4341	6083	1509	1807	2354	1775	2126	2770
11	3093	2899	4240	3639	3411	4988	1509	1807	2354	1775	2126	2770
12	3207	3125	4478	3773	3677	5268	1509	1807	2354	1775	2126	2770
13	3433	3652	5012	4039	4297	5897	1509	1807	2354	1775	2126	2770
14	3433	3652	5012	4039	4297	5897	1509	1807	2354	1775	2126	2770
15	3169	3012	4372	3728	3544	5144	1509	1807	2354	1775	2126	2770
16	3169	3012	4372	3728	3544	5144	1509	1807	2354	1775	2126	2770
17	3169	3012	4372	3728	3544	5144	1509	1807	2354	1775	2126	2770
18	3093	2749	4138	3639	3234	4868	1886	2071	2801	2219	2436	3296
19	2829	2372	3692	3329	2791	4344	1886	2071	2801	2219	2436	3296
20	2867	2636	3895	3373	3101	4582	1886	2071	2801	2219	2436	3296
21	2829	2636	3867	3329	3101	4549	1886	2071	2801	2219	2436	3296
22	2754	2259	3562	3240	2658	4191	1886	2071	2801	2219	2436	3296
23	2414	1883	3062	2840	2215	3602	1886	2071	2801	2219	2436	3296
24	1849	1694	2508	2175	1993	2950	1886	2071	2801	2219	2436	3296

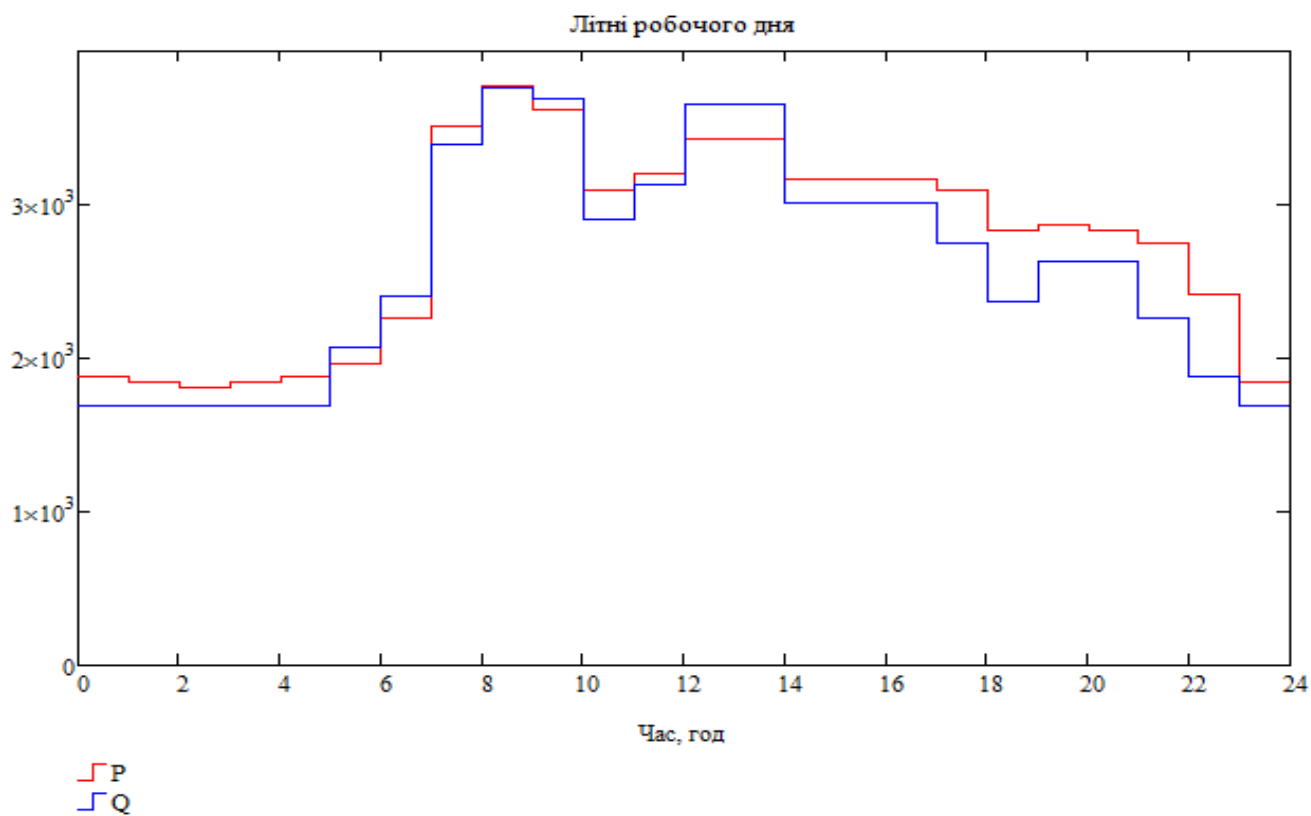


Рисунок 1.4.1. - Добовий графік, для літні робочих днів, активного P та реактивного Q навантажень

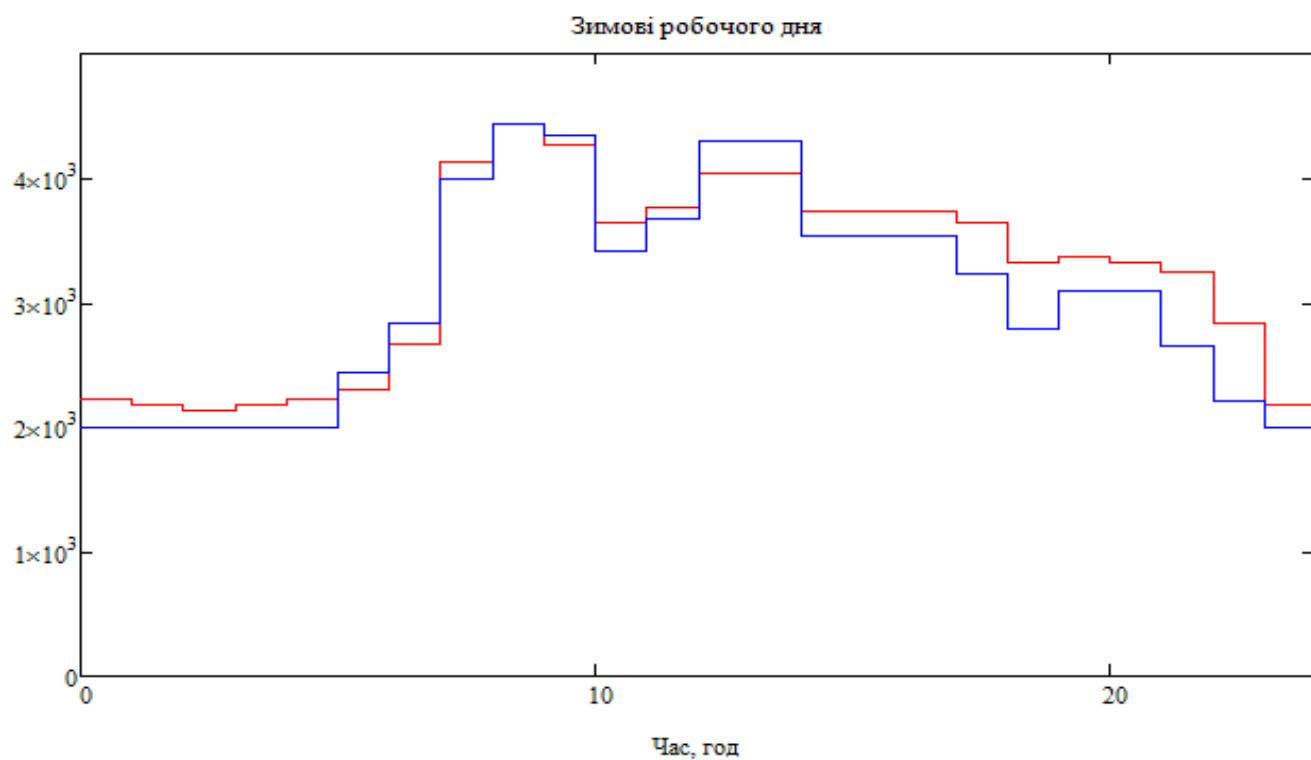


Рисунок 1.4.2. - Добовий графік, для зимових робочий днів, активного P та реактивного Q навантажень

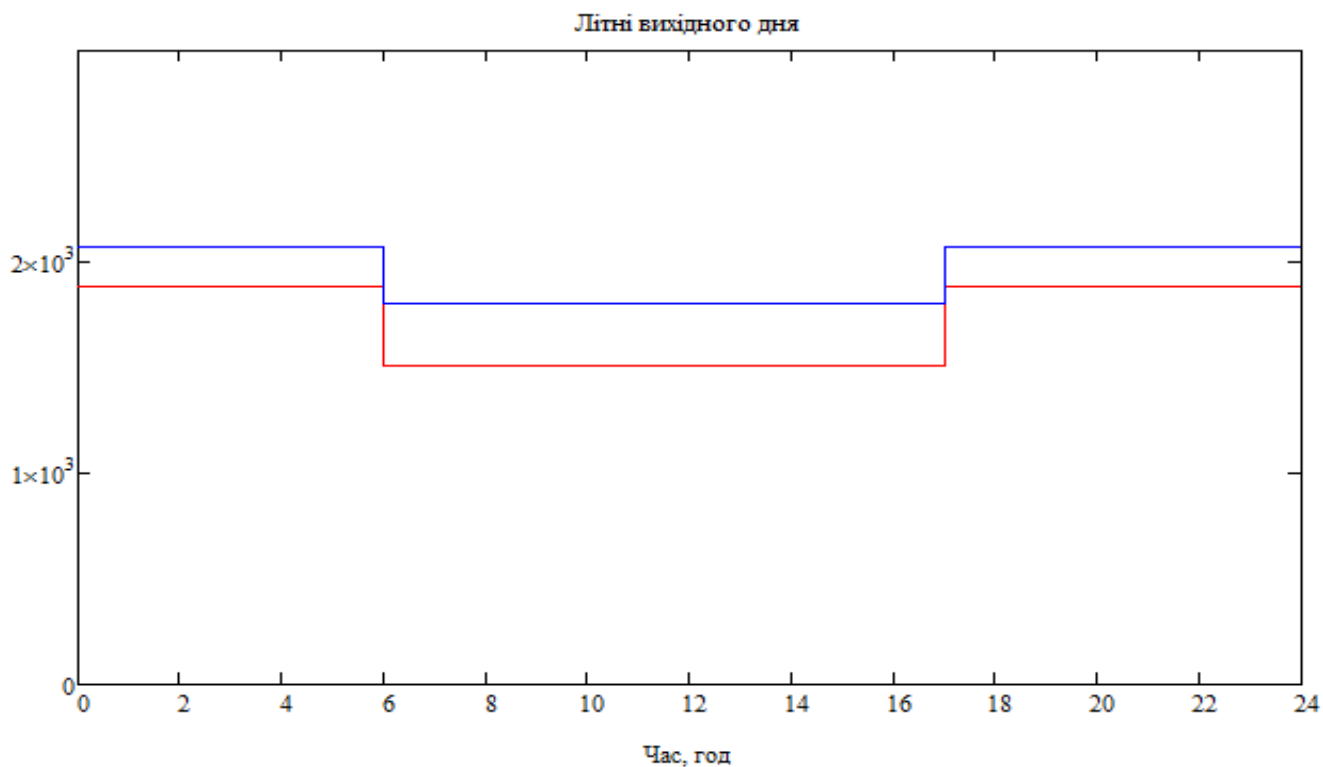


Рисунок 1.4.3. - Добовий графік, для літніх вихідних днів, активного P та реактивного Q навантажень

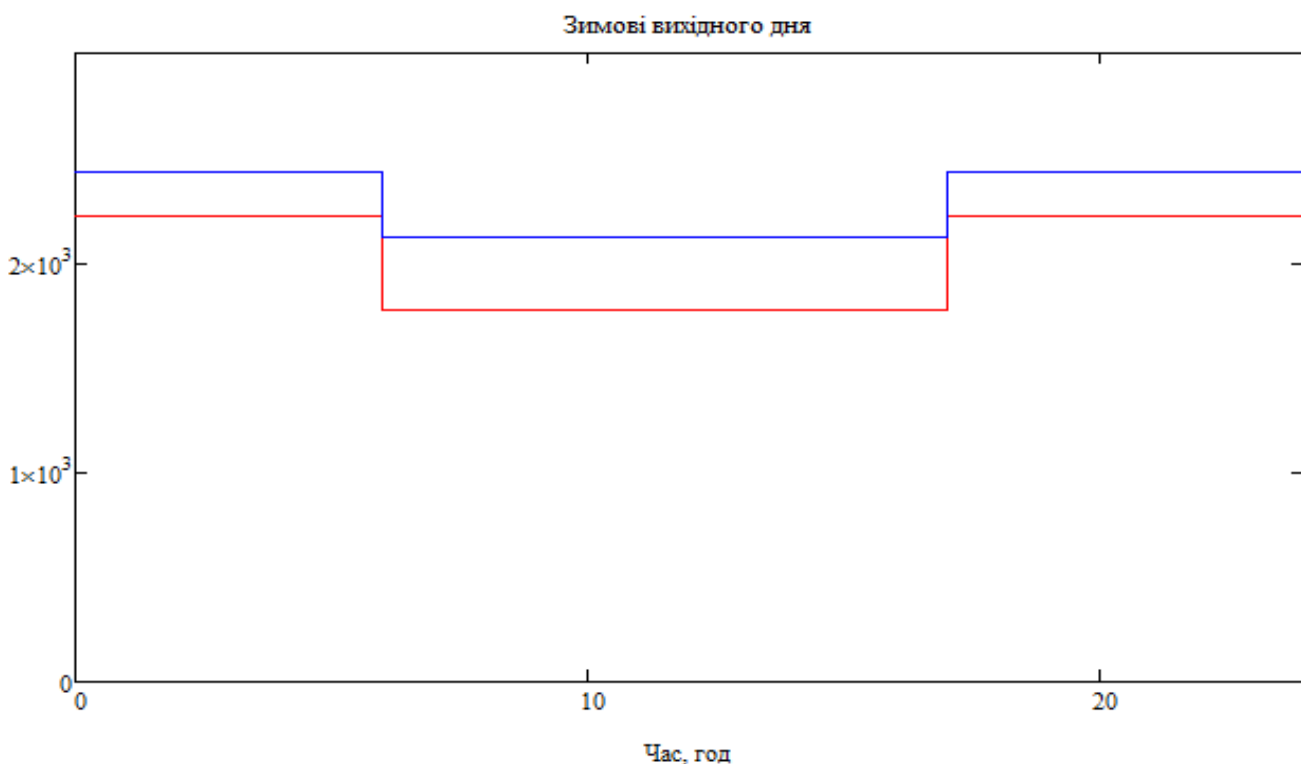


Рисунок 1.4.4. - Добовий графік, для зимових вихідних днів, активного P та реактивного Q навантажень

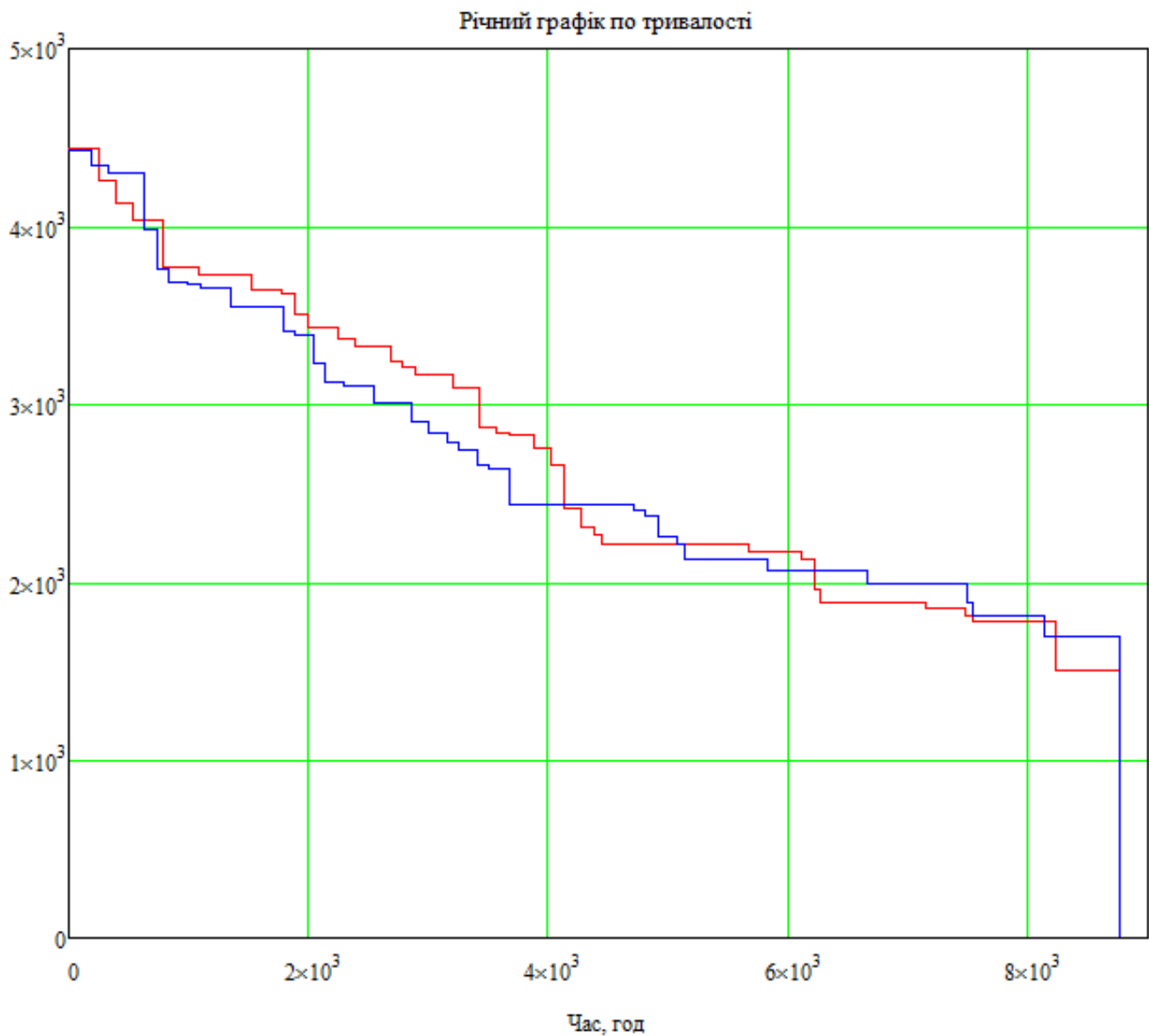


Рисунок 1.4.5. - Річний графік активного Р (по заводу) за тривалістю

Розрахункові значення для заводу величин графіків електричного навантаження:

Річне споживання для заводу реактивної енергії: $V_r = 23166462.0$ квар·год

Річне споживання для заводу активної енергії: $W_r = 23383838.0$ кВт·год

Річний час максимальних втрат для заводу: $\tau = 3430.74$ год

Кількість годин використання максимуму потужності для заводу: $T_{\max} = 5249.30$ год

2. Побудова картограми електричних навантажень заводу та місце розташування ЦРП

Картограма електричних навантажень (КЕН) для заводу є важливим етапом проектування електричних мереж. Її побудова дозволяє визначити оптимальне розташування центрів електричних навантажень (ЦЕН) та комплектних трансформаторних підстанцій. За допомогою картограми можна визначити найбільш енергомісткі цехи і встановити їх пріоритетність в електропостачанні.

Для побудови картограми навантажень приміщень заводу та всіх споживачів визначаються для кожного розрахункового об'єкту радіуси кіл R_i площа πR_i^2 , яких у обраному масштабі буде дорівнювати повному навантаженню цеху P_i , кВА.

$$R_1 = \sqrt{\frac{P_1}{\pi m}} = \sqrt{\frac{P_{p.осв} + P_{p.сил}}{\pi m}} = \sqrt{\frac{330,4 + 79,24}{3,14 \cdot 0,2}} = 25,53 \text{ мм}$$

Проводячи аналогію між масами і електричними навантаженнями приміщень P_i , координати їх центра (X, Y) для заводу можна знайти таким чином:

$$x_0 = \sum_{i=1}^n x_i P_i / \sum_{i=1}^n P_i = 2368548,75 / 4835,33 = 498,8 \text{ м} = 24,5 \text{ см}$$

$$y_0 = \sum_{i=1}^n y_i P_i / \sum_{i=1}^n P_i = 573189,71 / 4835,33 = 118,5 \text{ м} = 5,9 \text{ см}$$

На картограмі електричних навантажень заводу крім силового навантаження (високовольтного та низьковольтного) також відображається освітлювальне навантаження. Освітлювальне навантаження представлено у вигляді сектора з центральним кутом α . Центральний кут α відповідає площі, яку займає освітлювальне навантаження на картограмі (по заводу) в секторальному вигляді. Цей кут визначається таким чином, щоб його площа у прийнятому масштабі відповідала площі освітлюваного навантаження корпусу:

$$\alpha_i = \frac{P_{i.осв} \cdot 360}{P_i} = \frac{79,24 \cdot 360}{409,64} = 69,64^\circ$$

Для інших цехів, корпусів розрахунок зводимо до таблиці 2.1.

						Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

№ по плану	Найменування	P ^{0,4} сил, кВт	P ¹⁰ сил, кВт	Pросв, кВт	Pp, кВт	m	R, мм	φ	x, м	y, м	P·x, кВт м	P·y, кВт м
1	Інженерно-лабораторний корпус 1	330,40	0	79,24	409,64	0,2	25,53	69,64	35	261	14355,41	106744,30
2	Інженерно-лабораторний корпус 2	233,10	0	79,24	312,34	0,2	22,30	91,33	47	215	14620,62	67043,07
3	Склад фарби	59,95	0	2,26	62,21	0,2	9,95	13,08	260	328	16185,09	20400,18
4	Склад сировини	31,94	0	3,46	35,40	0,2	7,51	35,15	541	327	19148,53	11570,17
5	Склад металу	59,13	0	11,49	70,62	0,2	10,60	58,58	743	228	52480,94	16132,85
6	Склад готової продукції	28,22	0	2,91	31,13	0,2	7,04	33,65	383	240	11928,98	7460,99
7	Дільниця різання металу	210,83	0	16,76	227,59	0,2	19,03	26,51	683	238	155385,69	54268,99
8	Ремонтна дільниця	127,02	0	33,72	160,74	0,2	15,99	75,53	683	93	109745,81	15016,75
9	Дільниця пресів	564,53	0	80,71	645,24	0,2	32,05	45,03	518	140	334152,66	90438,85
10	Зварювальна дільниця	1633,15	0	81,94	1715,09	0,2	47,25	17,20	550	49	943112,06	84519,74
11	Дільниця обробки	541,66	0	72,72	614,38	0,2	31,27	42,61	344	49	211178,69	30276,69
12	Дільниця фарбування	289,04	0	58,64	347,68	0,2	23,52	60,72	256	49	88909,90	17133,83
13	Дільниця збирання	101,31	0	98,32	199,63	0,2	17,82	77,30	224	140	44657,74	27943,10
14	Територія корпусу	0,0	0	3,63	3,63	0,2	2,40	360,00	381	182	1383,53	660,90
	Всього по корпусу				4835,33						2368548,75	573189,71

3. Техніко-економічне обґрунтування схем електропостачання заводу зовнішнього та внутрішнього виконання

Також до факторів, які впливають на вибір напруги та схему постачання заводу, можна віднести наступні: характеристики електричного обладнання та пристроїв, що використовуються на даному заводі; можливість та доцільність використання електроенергії для існуючих виробничих процесів та інших необхідних потреб; ступінь АВП заводу та необхідність забезпечення стабільної роботи його автоматичних систем; вартість на даний момент електроенергії та зв'язані з нею економічні показники.

Залежно від характеристик даного заводу та його потреб у електроенергії можуть бути використані різні схеми зовнішнього електропостачання, такі як трифазна без нейтралі, одножильна, трифазна з нейтраллю, двожильна, та інші. Вибір конкретної схеми повинен здійснюватись з урахуванням різних потреб та можливостей заводу, а також з огляду на його технічні та економічні показники.

Для доцільної побудови необхідного зовнішнього електропостачання заводу потрібно правильно вибрати напругу живлення об'єкту та схему його постачання, що залежить від розрахункового енергетичного навантаження, напруги його джерел живлення, відстані від них до споживача (цехів) і потрібного рівня надійності системи вцілому. Вибір стандартного значення напруги (U) повинен задовольняти всі технічні вимоги та бути економічно доцільним. Під час розрахунків можливі варіанти вибору напруги обмежуються зазвичай двома або трьома в залежності від існуючих наруг.

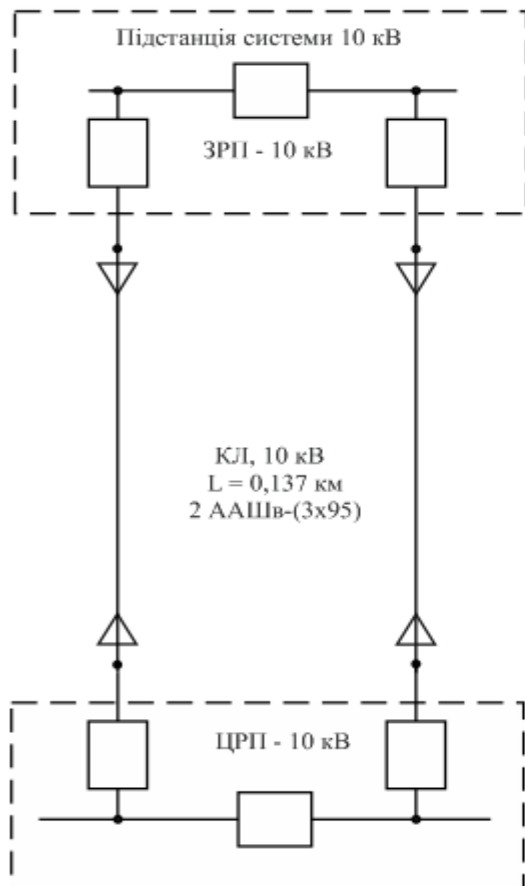
Для порівняння можливих схем зовнішнього електропостачання на нашому заводі можна розглянути наступні два варіанти напруги: 10 кВ та 35 кВ.

Кінцеве проектне рішення для нашого заводу обирається порівнянням зведених витрат, що приведені в табл. 3.3, по варіантам наведених у відповідності з методикою описаною в [1].

						Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

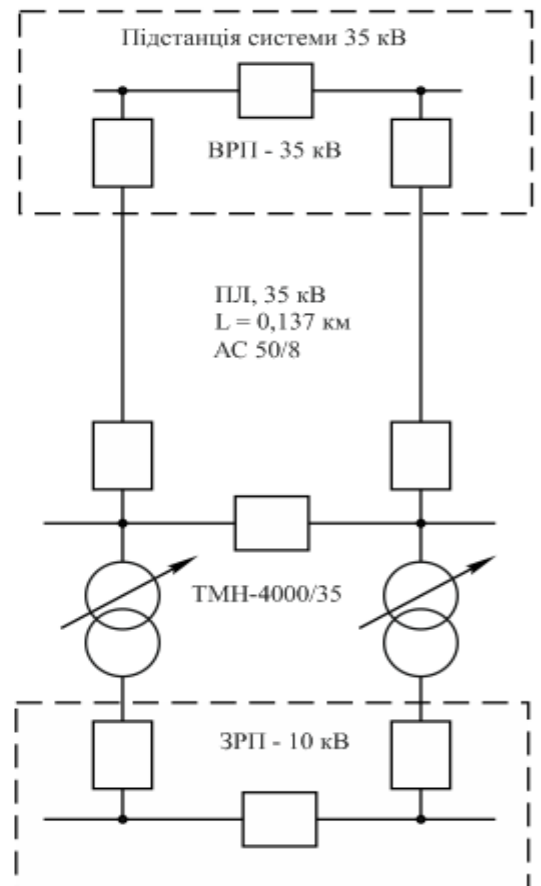
3.1. Вибір напруги та схеми зовнішнього електропостачання заводу

Використовуючи теорію [1], проводимо техніко-економічні розрахунки та порівнюємо варіанти схем зовнішнього електропостачання заводу (див. рис. 3.1). Рисунок 3.1а показує схему зовнішнього електропостачання заводу, що працює з напругою 10 кВ, тоді як на рис. 3.1б зображено схему, яка живиться напругою 35 кВ.



Зовнішнє електропостачання заводу здійснюється напругою 10 кВ

а



Зовнішнє електропостачання заводу здійснюється напругою 35 кВ

б

Рисунок 3.1 Схема зовнішнього електропостачання заводу.

Передбачається, що наш завод може отримувати живлення від підстанції 35/10 кВ, розташованої на відстані 0,137 км, за допомогою кабельних ліній КЛ напругою 10 кВ або повітряних ліній напругою 35 кВ. Отже, можна розглянути два варіанти зовнішнього електропостачання заводу: перший - живлення споживачів кабельними лініями 10 кВ (рис. 3.1а), другий - живлення споживачів повітряними лініями 35 кВ з головною знижувальною підстанцією 35/10 кВ (рис. 3.1б).

Варіант 1. Електропостачання заводу здійснюється кабельними лініями на номінальну напругу 10 кВ (рис. 3.1 а).

Розрахункове значення струму, А:

$$I_p = \frac{S_p}{2\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{6271}{2\sqrt{3} \cdot 10} = 181,02 \text{ А}$$

Обираємо до встановлення 2 КЛ марки ААШВ-10(3х95). Паспортні дані обраної кабельної лінії : $I_{доп} = 250 \text{ А}$, $\Delta P_{1км} = 50 \text{ кВт/км}$, $K_{кл} = 398,75 \text{ тис. грн./км}$.

Перевірка вибраних КЛ за умовою нагріву в нормальному режимі становить:

$$I_p = 90,51 \text{ А} \leq K_n I_{доп} = 0,92 \cdot 250 = 230 \text{ А}$$

Перевірка вибраних КЛ за умовою нагріву в аварійному режимі становить:

$$I_{p.ав} = 2I_p = 2 \cdot 90,51 = 181,02 \text{ А} \leq K_{ан} K_n I_{доп} = 1,25 \cdot 1 \cdot 250 = 312,5 \text{ А}$$

Таким чином, обрана КЛ марки ААШВ-10(3х95) задовольняють умовам перевірки. Коефіцієнт завантаження КЛ становитиме в нормальному режимі:

$$K_3 = \frac{I_p}{I_{доп}} = \frac{90,51}{250} = 0,36$$

Втрати потужності в обраній кабельній лінії:

$$\Delta P_{кл} = \Delta P_{1кл} l_{\Sigma} K_3^2 = 54 \cdot 0,274 \cdot 0,1296 = 1,78 \text{ кВт}$$

Втрати електроенергії в обраній кабельній лінії:

$$\Delta W_{л} = \Delta P_{л} \tau = 1,78 \cdot 128,24 = 5027,52 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Вартість втрат електроенергії наступні:

$$C_{втр} = \Delta W_{\Sigma} C_o = 55027,53 \cdot 5,5478 \cdot 0,001 = 27,89 \text{ тис.грн}$$

Результати про розрахунок капітальних вкладень заводу в зовнішню схему електропостачання варіанту № 1 міститься у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1. Результати розрахунку капітальних вкладень для варіанту схеми № 1

№з/п	Назва елемента схеми	Од. виміру	Кількість	Вартість	Всього
1	КЛ 10 кВ	км	0,274	398,75	109,2575
2	Траншея	км	0,137	124,5	17,0565
3	Шафи КРП серії КУ-10	шт.	2	457,8	915,6
Всього					1041,914

Результати розрахунку поточних витрат для варіанту 1 наведено в табл.3.2.

Таблиця 3.2. Результати розрахунку поточних витрат для варіанту схеми № 1

№ з/п	Назва елемента схеми	K_j , тис.грн.	P_{aj} , %	C_{aj} , тис.грн.	P_{ej} , %	C_{aj} , тис.грн.	C_j , тис.грн.
1	КЛ 10 кВ	109,258	5	5,46288	5	5,46288	10,9258
2	Траншея	17,0565	5	0,85283	5	0,85283	1,70565
3	Шафи КРП серії КУ-10	915,6	15	137,34	5	45,78	183,12
Всього							195,751

Розрахункова схема одного ланцюга живлення заводу містить вимикач напругою 10 кВ, КЛ сумарною довжиною $l_{кл1} = 0,137$ км. Параметри надійності для даних елементів наступні:

- вимикач має: $\lambda_a = 4 \cdot 10^{-3}$ 1/рік, $T_b = 0,45 \cdot 10^{-3}$ рік, $K_n = 2 \cdot 10^{-3}$;
- КЛ має: $\lambda_a = 0,01096$ 1/рік, $T_b = 0,0959 \cdot 10^{-4}$ рік, $K_n = 0,1233 \cdot 10^{-5}$.

Параметр потоку відмов ланцюга становитиме:

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i = 0,004 + 0,01096 = 0,01496 \text{ 1/рік}$$

Середній час відновлення одного ланцюга складає:

$$T_e = \frac{\sum \lambda_i T_{ei}}{\lambda} = \frac{(0,004 \cdot 0,00045 + 0,01096 \cdot 0,00000959)}{0,01496} = 0,00012735 \text{ рік}$$

Коефіцієнт планового простою одного ланцюга визначаємо:

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

Коефіцієнт аварійного простою одного ланцюга становитиме:

$$K_a = \lambda T_e = 0,01496 \cdot 0,000127 = 0,0000019$$

Коефіцієнт планового простою обладнання можна визначити для ситуації, коли один ланцюг відключається для планового ремонту, а другий - через пошкодження.

$$K_{an} = 0,5 \lambda K_n^2 = 0,5 \cdot 0,01496 \cdot 0,00000576 = 0,000000043$$

Коефіцієнт аварійного простою обох ланцюгів становитиме:

$$K_a^{(2)} = K_a^2 + 2 K_{an} = 0,00000000000363 + 2 \cdot 0,000000043 = 0,0000000862$$

Середньорічний час аварійного простою визначаємо:

$$T_a = K_a^{(2)} \cdot 8760 = 0,0000000862 \cdot 8760 = 0,00076$$

Середньорічне активне навантаження нашого заводу:

$$P_{cp} = \frac{P_p T_{max}}{8760} = \frac{4438,26 \cdot 5249,33}{8760} = 2,66 \cdot 10^3 \text{ кВт}$$

Очікуваний збиток від аварійного недовідпуску електроенергії заводу, тис.грн.:

$$Y = Y_0 P_{cp} T_a = 23 \cdot 2,66 \cdot 0,00076 = 0,05$$

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

$$Z_i = E_n K_i + C_i + C_{exp.i} + Y_i = 0,12 \cdot 1041,914 + 195,7514 + 27,89 + 0,05 = 348,721$$

Аналогічним чином розраховується зведені витрати і для варіанту живлення номер №2 на напругу 35 кВ повітряними лініями ПЛ електропередачі. Результати техніко-економічного порівняння для нашого заводу, варіантів живлення схем № 1 і № 2 зовнішнього електропостачання наведені в табл. 3.3.

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

Показники	Варіанти	
	1	2
Капітальні вкладення	1041,91	2131,50
Поточні витрати	195,75	424,45
Вартість втрат електроенергії	27,89	554,84
Збиток	0,05	0,51
Зведені витрати	348,72	1235,58

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

3.2. Вибір напруги та схеми внутрішнього електропостачання заводу

Для живлення внутрішніх розподільчих мереж на пром підприємствах, зокрема і нашому заводі використовується напруга 10 кВ, тоді як для цехових (приміщеннях) розподільчих мереж, призначених для живлення силових та освітлювальних приймачів, використовується напруга 380/220 В.

В залежності від територіального розміщення встановлених навантажень, споживаємої потужності та надійності електропостачання споживачів, розподілення електроенергії на заводі може бути виконане загалом за трьома схемами: радіальною, магістральною, змішаною.

Схеми електропостачання споживачів можуть бути одно- чи двохсходовими, але використання таких схем з кількістю сходинок більш 2-х дозволяється лише при розвитку вже існуючої, тобто діючої системи електропостачання підприємства чи заводу, при їх техніко-економічній доцільності.

Трансформаторні підстанції розміщуються навколо місця розташування розподільної підстанції. Для розподілу електроенергії на території підприємства прийнята змішана схема електропостачання, яка є найбільш економною. Принципова схема внутрішнього джерела живлення показана на рисунку 3.1.

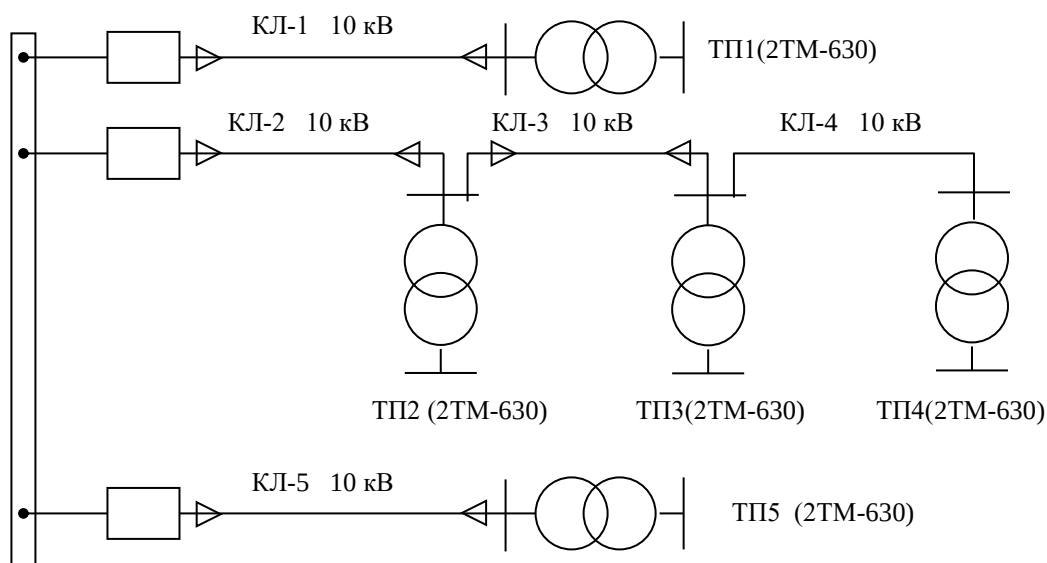


Рисунок 3.2 - Схема внутрішнього електропостачання заводу

4. Вибір кількості трансформаторів їх потужності та місця розташування на заводі

При виборі кількості, потужності, типу та розташування трансформаторів враховуються такі фактори, як розрахункове навантаження, здатність до перевантаження трансформаторів, категорія споживача на основі вимог до безперервності електропостачання, умови навколишнього середовища, питома щільність навантаження, встановлені компенсаційні пристрої та архітектурні міркування необхідно враховувати.

Потужність комплектних трансформаторних підстанцій однозначно визначається із системи наступних нерівностей:

- із умови обмеження штовхового повного навантаження КТП: $S_{НОМ} > 0,25S_{nl}$
- із умови систематичного перевантаження встановленого КТП: $S_{НОМ} \geq \frac{S_p}{K_1}$
- із умови аварійного перевантаження встановленого КТП: $S_{НОМ} \geq \frac{S_p}{K_2}$

Згідно ГОСТ 14209-85 для Кропивницького еквівалентна річна температура $\Theta_{ОХОЛ}=10^{\circ}\text{C}$. При двохзмінному режимі роботи приміми $K_1 = 1,08$. Коефіцієнт допустимого аварійного перевантаження КТП при тривалості перевантаження від 8 до 24 год становитиме $K_2 = 1,4$. Прийmemo до встановлення комплектні трансформаторні підстанції КТП - 10/0,4 кВ вбудованого типу (внутрішнього встановлення). Приймається також, що трансформатори завантажені рівномірно.

Для спрощення і наочності, вибір буде проводитись у вигляді таблиці 4.

Таблиця 4. Вибір кількості потужності трансформаторів та місця розташування цехових трансформаторних підстанцій (ТП).

№ КТП	N, шт	$S_{роз}, \text{кВ}\cdot\text{А}$	Місце розташування КТП	Марка	K_3	$S_{ном} > S_p/K_1$	$S_{ном} > S_p/K_2$	Тип КТП
ТП-1	2	922,18	ІЛК 1	ТМЗ-630-10/0,4	0,73	853,9	658,7	Вбудована
ТП-2	2	949,77	Дільниця пресів	ТМЗ-630-10/0,4	0,75	879,4	678,4	Вбудована
ТП-3-4	4	1881,19	Дільниця зварювання	ТМЗ-630-10/0,4	0,74	1741,8	1343,7	Вбудована
ТП-5	2	959,88	Дільниця обробки	ТМЗ-630-10/0,4	0,75	888,8	685,6	Вбудована

5. Режими реактивної потужності системи електропостачання заводу

5.1. Розрахунок балансу реактивної потужності на заводі та вибір компенсуючих пристроїв.

Вихідні дані до розрахунку балансу реактивної потужності у заводській мережі становить:

Сумарне низьковольтне електричне навантаження становить:

$$P_n = \sum P_{ТП} = 4341,26 \text{ кВт}$$

$$Q_n = \sum Q_{ТП} = 3964,98 \text{ кВАр}$$

Сумарні втрати в цехових чи корпусних КТП:

$$\Delta P_m = \sum \Delta P_{ТП} = 65,24 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_m = \sum \Delta Q_{ТП} = 319,95 \text{ кВАр}$$

Сумарне високовольтне навантаження приймаємо:

$$P_\varepsilon = \sum P_{ВН} = 0 \text{ кВт}$$

$$Q_\varepsilon = \sum Q_{ВН} = 0 \text{ кВАр}$$

Сумарне споживання активної потужності має значення:

$$P_p = P_n + \Delta P_m + P_\varepsilon = 4341,26 + 65,24 + 0 = 4406,05 \text{ кВт},$$

Сумарне споживання реактивної потужності має значення:

$$Q_p = Q_n + \Delta Q_m + Q_\varepsilon = 3964,98 + 319,95 + 0 = 4284,93 \text{ кВАр}$$

Реактивна потужність, що споживається від системи має значення:

$$Q_e = P_p \cdot \operatorname{tg} \phi_c = 4406,05 \cdot 0,15 = 660,98 \text{ кВАр}$$

Потужність компенсуючих пристроїв становить:

$$Q_{КП} = Q_p - Q_e = 4284,93 - 660,98 = 3622,07 \text{ кВАр}$$

Мінімальна кількість трансформаторів має кількість:

$$N_0 = \frac{P_n}{\beta \cdot S_{ном}} = \frac{4341,26}{0,7 \cdot 630} = 9,84 \approx 10 \text{ шт.}$$

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

Варіант 1.

Кількість заводських комплектних трансформаторів $N = N_0 = 9$ шт.

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

$$Q_1 = \sqrt{(N \cdot \beta \cdot S_{ном})^2 - (P_n + \Delta P_m)^2} = \\ = \sqrt{(10 \cdot 0,7 \cdot 630)^2 - 4406,05^2} = 175,66 \text{ кВАр}$$

Потужність КП, що встановлюються в заводській мережі до 1 кВ:

$$Q_{KH} = (Q_n + \Delta Q_m) - Q_1 = 4284,93 - 175,66 = 4109,27 \text{ кВАр}$$

Потужність КП, що встановлюються в заводській мережі 10 кВ:

$$Q_{KB} = Q_{КП} - Q_{KH} = 3622,07 - 4109,27 = -485,32 \text{ кВАр}$$

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

Таблиця 5.1. Результати розрахунку потужності заводських компенсуючих пристроїв

№ варіанту	Кількість тр-торів	Q_1 , квар	Q_{KH} , кВАр	Q_{KB} , квар
1	10	175,66	4109,27	-485,32
2	11	2028,54	2256,39	1367,56
3	12	2930,53	1354,4	2269,55

5.2 Вибір кількості компенсуючих пристроїв на заводі, їх потужності та місця розташування

Вибір місця розташування компенсуючих пристроїв, їх кількості та потужності проводиться на основі економічного порівняння вказуваних варіантів. Критерієм економічності для цього приймемо мінімум приведених витрат. Розрахункові витрати на компенсацію реактивної потужності можна визначити за наступним виразом:

$$Z = E_H(K_{KH} + K_{KB} + K_{КТП}) + (\Delta P_{KH} + \Delta P_{KB} + \Delta P_{КТП}) \cdot C_0 \cdot \tau$$

Втрати активної потужності у заводських конденсаторних установках визначаються:

$$\Delta P_K = P_{\text{ПІТ}} Q_K$$

Втрати активної потужності при передачі на відстань по заводу реактивної енергії через комплектні трансформатори заводських ТП визначаються:

$$\Delta P_{\text{ТП}} = \frac{Q_{\text{ПР}}^2}{U_{\text{НОМ}}^2} R_{\text{СК}}$$

Необхідно зазначити, що в таблицях 5.2.1-5.2.4. потужність заводських обраних КП наведена, враховуючи кількість і номінальну потужність попередньо розрахованих та обраних стандартних батарей конденсаторів БК. Результати розрахунків потужності заводських високовольтних та низьковольтних БСК для наступних варіантів з кількістю комплектних трансформаторів $N_T = N_0$, $N_T = N_0 + 1$, $N_T = N_0 + 2$ наведені в табл. 5.2 – 5.4.

Таблиця 5.2.1 Вибір типу та потужності БК при кількості заводських комплектних трансформаторів $N_T = N_0 = 10$

№ КТП	К-сть т-рів	P_p , кВт	Q_p , кВАр	Q_{np} , кВАр	$Q_{кп}$, кВАр	Кількість та потужність БК, шт. кВАр	Сума $Q_{БК}$, кВАр	$Q_{кп} - Q_{бк}$, кВАр	K_3	S_p , кВА
1	2	919,96	600,01	0	600,01	2·268;	536	64,01	0,73	922,184
2	2	942,32	992,73	0	992,73	2·402;	804	188,73	0,76	961,034
3,4	4	1877,14	1731,41	0	1731,41	2·402;	1608	123,41	0,75	1881,19
5	2	950	807,36	0	807,36	2·335;	670	137,36	0,76	959,879

Сумарна потужність БК на стороні 0,4 кВ $Q_{кн} = 3618$ квар.

Кількість та потужність БК на стороні 10 кВ $Q_{кв} = 0$ квар.

Таблиця 5.2.2 Вибір типу та потужності БК при кількості заводських трансформаторів $N_T = N_0 + 1 = 11$

№ КТП	К-сть т-рів	P_p , кВт	Q_p , кВАр	Q_{np} , кВАр	$Q_{кп}$, кВАр	Кількість та потужність БК, шт. кВАр	Сума $Q_{БК}$, кВАр	$Q_{кп} - Q_{бк}$, кВАр	K_3	S_p , кВА
1	3	919,96	600,01	950,79	0	-	0	0	0,58	1098,33
2	2	942,32	992,73	0	992,73	2·67, 2·402;	938	54,73	0,75	943,908
3,4	4	1877,14	1731,41	0	1731,41	2·50, 2·402;	1708	23,41	0,74	1877,29
5	2	950	807,36	0	807,36	2·402	804	3,36	0,75	950,01

Сумарна потужність заводських БК на стороні 0,4 кВ становить $Q_{кн} = 3450$ квар. Кількість та потужність заводських БК на стороні 10 кВ $Q_{кв} = 1 \cdot 150 = 150$ квар.

Таблиця 5.2.3. Вибір типу та потужності БК при кількості заводських комплектних трансформаторів $N_t = N_0 + 2 = 12$

№ КТП	К-сть т-рів	$P_p, \text{кВт}$	$Q_p, \text{кВАр}$	$Q_{np}, \text{кВАр}$	$Q_{кн}, \text{кВАр}$	Кількість та потужність БК, шт. кВАр	Сума $Q_{БК}, \text{кВАр}$	$Q_{кп-} Q_{бк}, \text{кВАр}$	K_z	$S_p, \text{кВА}$
1	3	919,96	600,01	950,79	0	-	0	0	0,58	1098,33
2	2	942,32	992,73	0	992,73	2·402;	804	188,73	0,76	961,034
3,4	5	1877,14	1731,41	1156,88	574,53	4·112,5;	450	124,53	0,72	2272,81
5	2	950	807,36	0	807,36	2·335	670	137,36	0,76	959,879

Сумарна потужність заводських БК на стороні 0,4 кВ $Q_{кн} = 1924$ квар.

Кількість та потужність заводських БК на стороні 10 кВ $Q_{кв} = 0$ квар.

Розрахунок приведених витрат на компенсацію для варіанту з кількістю заводських комплектних трансформаторів $N_t = N_0$ наведено нижче.

Втрати активної потужності в низьковольтних заводських КП:

$$\Delta P_{KH} = P_{ПНТ}^{KH} \cdot Q_{KH} = 0,0045 \cdot 3618 = 16,28 \text{ кВт}$$

Втрати активної потужності в високовольтних заводських КП:

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

Втрати активної потужності в комплектних ТП, що викликані передачею реактивної потужності становить:

$$\Delta P_{ТП} = \frac{P_{НН}^2 + Q_1^2}{U_H^2} R_T \cdot 10^{-3} = \frac{4341,26^2 + 175,66^2}{10^2} \cdot 0,16 \cdot 0,001 = 30,2 \text{ кВт}$$

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

$$R_{екв} = \frac{\Delta P_K \cdot U_{ном}^2}{N \cdot S_{ном}^2} \cdot 10^3 = \frac{6,5 \cdot 10^2}{10 \cdot 630^2} \cdot 1000 = 0,16 \text{ Ом}$$

Вартість заводських КП на стороні 0,4 кВ:

$$K_{KH} = \sum_{i=1}^n N_{KH i} \cdot K_{KH i} = 2 \cdot 52,28 + 2 \cdot 64,81 + 6 \cdot 72,99 = 672,14 \text{ тис.грн.}$$

Вартість заводських КП на стороні 10 кВ:

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

Вартість заводських КТП, тис. грн.:

$$K_{КТП} = N_{КТП(2)} \cdot K_{КТП(2)} + N_{КТП(1)} \cdot K_{КТП(1)} = 5 \cdot 963,16 + 0 \cdot 562,2 = 4815,8 \text{ тис.грн.}$$

Приведені витрати по заводу на компенсацію реактивної потужності:

$$\begin{aligned} Z &= E_H (K_{KH} + K_{KB} + K_{КТП}) + C_0 \tau (\Delta P_{KH} + \Delta P_{KB} + \Delta P_{ТП}) = \\ &= 0,12 \cdot (672,14 + 0 + 4815,8) + 5,478 \cdot 3430,74 \cdot (16,28 + 0 + 30,2) \cdot 10 = \\ &= 1543,21 \text{ тис.грн.} \end{aligned}$$

Розрахунок приведених витрат по заводу на компенсацію реактивної потужності для варіантів з кількістю комплектних трансформаторів $N_T = N_0 + 1 = 11$ шт., $N_T = N_0 + 2 = 12$ шт. проводиться аналогічно. Результати проведених розрахунків наведено до табл. 5.2.4.

Таблиця 5.2.4. Результати розрахунків загальних приведених витрат на компенсацію реактивної потужності по заводу

№ вар.	Q_{KH} , квар	ΔP_{KH} , кВт	Q_{KB} , квар	ΔP_{KB} , кВт	N_{TP} , шт.	R_{CKB} , Ом	S_{TP} , кВА	ΔP_{TP} , кВт	K_{KH} , тис. грн.	K_{KB} , тис. грн.	K_{TP} , тис. грн.	Z , тис. грн.
1	3618	16,3	0	0	10	0,16	4344,81	30,2	672,14	0	4815,8	1543
2	3450	15,5	150	0,45	11	0,15	4791,82	34,44	658,57	3,35	5378	1684
3	1924	8,66	0	0	12	0,14	5237,8	38,41	387,93	0	5940,2	1655

Апрель	41
--------	----

6. Розрахунок струмів короткого замикання. Вибір електрообладнання заводу та силових електромереж системи постачання

6.1. Розрахунок струмів коротких замикань в системі живлення заводу

При розрахунку струмів к. з. використовується розрахункова схема, в якій враховуються всі елементи системи електропостачання заводу та джерела живлення. До них відносяться трансформатори, лінії, реактори, синхронні компенсатори, а також синхронні та асинхронні двигуни. Розрахункова схема може бути представлена у вигляді однолінійного зображення. Після складання розрахункової схеми і отримання еквівалентної схеми заміщення проводиться розрахунок струмів короткого замикання у точках мережі. Цей розрахунок зазвичай виконується за допомогою програмних засобів, які використовуються для моделювання електричних мереж. В результаті розрахунку отримуються значення струмів короткого замикання та інші параметри, які використовуються для вибору і налаштування захисного обладнання та компенсаційних пристроїв.

По розрахунковій схемі складають схему заміщення, на якій всі елементи представлені у вигляді опорів (рис. 6.1.1). Проведемо розрахунок активних та реактивних опорів елементів системи електропостачання.

Активний та індуктивний опори системи електропостачання:

$$X_c = \frac{U_c^2}{S_{к.з.}} = \frac{10,5^2}{49,7} = 2,218 \text{ Ом}$$

$$R_c = \frac{R_c}{25} = \frac{2,218}{25} = 0,089 \text{ Ом}$$

Активний та індуктивний опори заводської ПЛ 10 кВ (провід марки ААШВ (3х120) довжиною 0,78 км):

$$R_{кл} = \frac{r_0 \cdot l}{n_{кл}} = \frac{0,258 \cdot 0,78}{2} = 0,1006 \text{ Ом}$$

$$X_{кл} = \frac{x_0 \cdot l}{n_{кл}} = \frac{0,081 \cdot 0,78}{2} = 0,03 \text{ Ом}$$

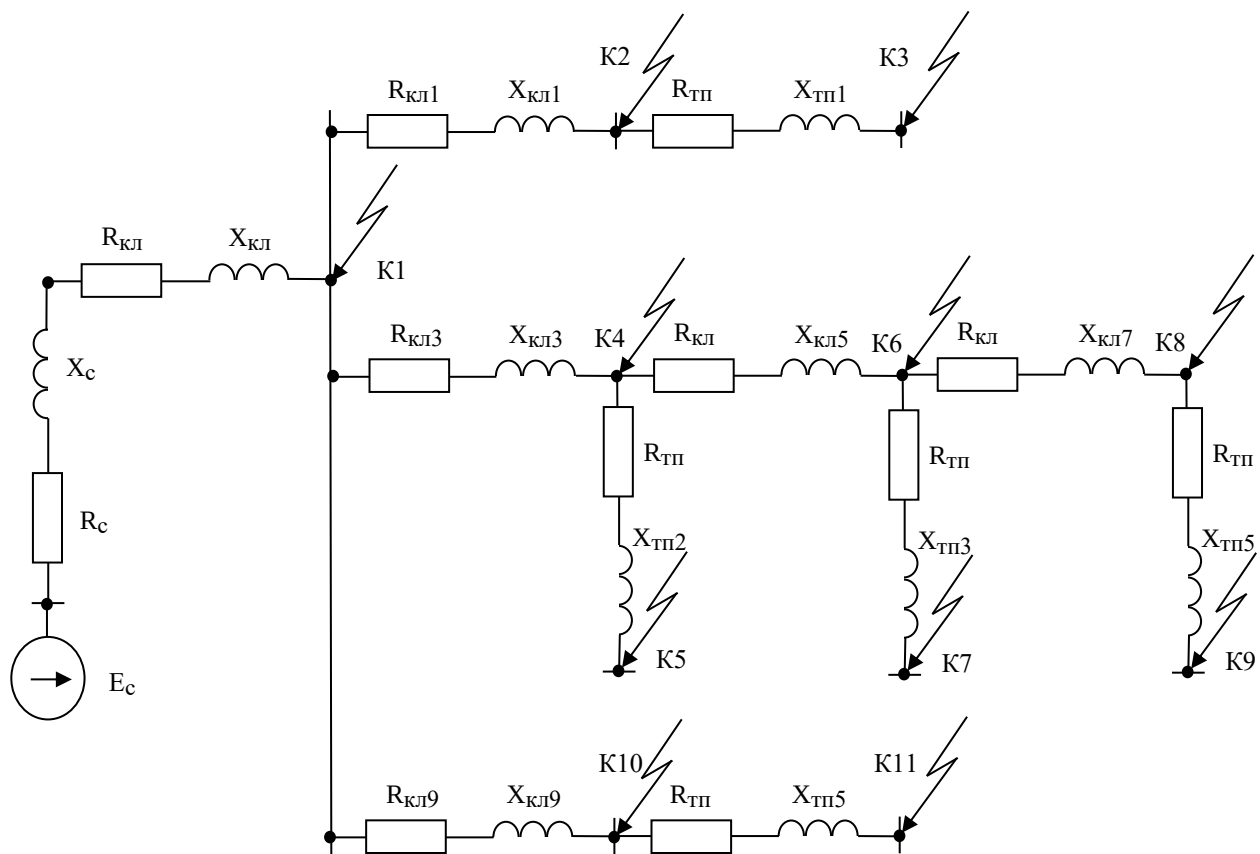


Рисунок 6.1.1 Схема заміщення для розрахунку струмів к. з.

Кабельна лінія 2 х ААШВ (3х120) матиме:

$$R_{кл} = \frac{r_0 \cdot l}{n_{кл}} = \frac{0,258 \cdot 0,78}{2} = 0,1006 \text{ Ом}$$

$$X_{кл} = \frac{x_0 \cdot l}{n_{кл}} = \frac{0,081 \cdot 0,78}{2} = 0,03 \text{ Ом}$$

Результуючі активний, індуктивний та повний опори до точки K1:

$$X_{K1} = X_c + X_{кл} = 2,218 + 0,03 = 2,248 \text{ Ом}$$

$$R_{K1} = R_c + R_{кл} = 0,089 + 0,1006 = 0,19 \text{ Ом}$$

$$Z_{K1} = \sqrt{R_{K1}^2 + X_{K1}^2} = \sqrt{0,19^2 + 2,248^2} = 2,256 \text{ Ом}$$

Надперехідний струм в точці К1 від енергосистеми матиме:

$$I_{K1(c)}'' = \frac{U_{cp.ном.}}{\sqrt{3}Z_{K1}} = \frac{2,248}{\sqrt{3} \cdot 2,256} = 2,69 \text{ кА}$$

Стала часу в точці К1 становитиме:

$$T_{a1} = \frac{X_{K1}}{\omega R_{K1}} = \frac{2,248}{314 \cdot 0,19} = 0,0377 \text{ с}$$

Ударний коефіцієнт в точці К1 матиме значення:

$$k_{y\partial 1} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{a1}}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,0377}} = 1,0767$$

Ударний струм в точці К1 від с енергосистеми становитиме:

$$i_{y\partial 1(c)} = \sqrt{2}k_{y\partial} I_{K1(c)}'' = \sqrt{2} \cdot 1,767 \cdot 2,69 = 6,72 \text{ кА}$$

Необхідно вибрати КЛ до заводських комплектних підстанцій та високовольтного навантаження, для подальшого розрахунку струмів к.з.. Виконаємо вибір КЛ від шин 10 кВ ЦРП до комплектної ТП-1. Аналогічний вибір і для інших кабелів. Результати вибору КЛ 10 кВ мережі наведені в таблиці 6.1.1.

Розрахунковий струм заводської кабельної лінії КЛ1 складає:

$$I_p = \frac{S_p}{n\sqrt{3}U_{cp.ном}} = \frac{852,32}{2 \cdot 1,73 \cdot 10,5} = 23,43 \text{ А}$$

Площа поперечного перерізу заводської кабельної лінії становитиме:

$$F_{ек} = \frac{I_p}{j_{ек}} = \frac{23,43}{1,2} = 19,53 \text{ мм}^2$$

Тепловий імпульс від струму к. з. знаходимо:

$$B_k = I_{K1}''^2 (t_{p.з. \min} + T_a) = 2,69(1,365 + 0,0377) = 10,15 \text{ кА}^2\text{с}$$

Мінімальний переріз обраної КЛ при умові термічної стійкості становитиме:

					Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	
					45

$$F_{\min} = \frac{1}{C} \sqrt{B_{\kappa}} = \frac{1}{94} \sqrt{10,15 \cdot 10^3} = 33,98 \text{ мм}^2$$

Вибираємо кабель для встановлення марки ААШв-10(3х35) з наступними даними: $I_{\text{доп кл}} = 115 \text{ А}$, $r_0 = 0,89 \text{ Ом/км}$, $x_0 = 0,095 \text{ Ом/км}$.

Опори обраної КЛ активний та індуктивний становлять:

$$R_{\text{кл}} = r_0 \cdot l_{\text{кл}} = 0,89 \cdot 1,52 = 1,353 \text{ Ом}$$

$$X_{\text{кл}} = x_0 \cdot l_{\text{кл}} = 0,095 \cdot 1,52 = 0,144 \text{ Ом}$$

Параметри інших заводських КЛ напругою $U=10 \text{ кВ}$ зведено в табл. 6.1.1.

Таблиця 6.1.1. Параметри заводських КЛ 10 кВ

№ КЛ	l , км	r_0 , Ом/км	x_0 , Ом/км	R , Ом	X , Ом
КЛ 1	0,780	0,258	0,081	0,101	0,032
2,3	1,520	0,890	0,095	1,353	0,144
4,5	0,580	0,890	0,095	0,516	0,055
6	0,620	0,890	0,095	0,552	0,059
7	0,870	0,890	0,095	0,774	0,083
8,9	1,370	0,890	0,095	1,219	0,130

Результуючі повний, індуктивний та активний опори до точки К2:

$$X_{K2} = X_{K1} + X_{\text{кл}} = 2,248 + 0,144 = 2,392 \text{ Ом}$$

$$R_{K2} = R_{K1} + R_{\text{кл}} = 0,19 + 1,353 = 1,543 \text{ Ом}$$

$$Z_{K2} = \sqrt{R_{K2}^2 + X_{K2}^2} = \sqrt{1,543^2 + 2,392^2} = 2,846 \text{ Ом}$$

Надперехідний струм в точці К2 становитиме:

$$I_{K2}'' = \frac{U_{\text{ср.ном.}}}{\sqrt{3} Z_{K2}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 2,846} = 2,13 \text{ кА}$$

Стала часу в точці К2 матиме значення:

$$I_{K2}'' = \frac{U_{\text{ср.ном.}}}{\sqrt{3}Z_{K2}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 2,846} = 2,13 \text{ кА}$$

Ударний коефіцієнт в точці К2 визначається за виразом:

$$k_{y\partial 2} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{a2}}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,0049}} = 1,13$$

Ударний струм в точці К2 матиме значення:

$$i_{y\partial 2} = \sqrt{2}k_{y\partial}I_{K2}'' = \sqrt{2} \cdot 1,13 \cdot 2,13 = 3,4 \text{ кА}$$

Активний та індуктивний опори заводського комплектного ТП1 (ТМ-630/10):

$$R_{mp} = \frac{\Delta P_{\kappa} U_{\text{ср.ном.}}^2}{S_{\text{ном}}^2} = \frac{6,5 \cdot 10,5^2}{630^2} \cdot 10^3 = 1,806 \text{ Ом}$$

$$X_{mp} = \frac{U_{\kappa, \%} U_{\text{ср.ном.}}^2}{S_{\text{ном}}} = \frac{5,5 \cdot 10,5^2}{630} \cdot 10 = 9,625 \text{ Ом}$$

Результуючі активний, індуктивний та повний опори становитимуть до точки К3:

$$X_{K3} = (X_{K2} + X_{mp}) \left(\frac{U_{\text{нн}}}{U_{\text{вн}}} \right)^2 = (2,392 + 9,625) \left(\frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 0,0174 \text{ Ом}$$

$$R_{K3} = (R_{K2} + R_{mp}) \left(\frac{U_{\text{нн}}}{U_{\text{вн}}} \right)^2 = (1,543 + 1,806) \left(\frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 0,0049 \text{ Ом}$$

$$Z_{K3} = \sqrt{R_{K3}^2 + X_{K3}^2} = \sqrt{0,0049^2 + 0,0174^2} = 0,0181 \text{ Ом}$$

Надперехідний струм в точці К3 матиме значення:

$$I_{K3}'' = \frac{U_{\text{ср.ном.}}}{\sqrt{3}Z_{K3}} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 0,0181} = 12,76 \text{ кА}$$

Стала часу в точці К3 становитиме:

$$T_{a3} = \frac{X_{K3}}{\omega R_{K3}} = \frac{0,0174}{314 \cdot 0,0049} = 0,0113 \text{ с}$$

Ударний коефіцієнт в точці К3 визначається за виразом:

$$k_{y03} = 1 + e^{\frac{-0.01}{T_{a3}}} = 1 + e^{\frac{-0.01}{0,0113}} = 1,413 \text{ с}$$

Ударний струм в точці КЗ становитиме:

$$i_{y03} = \sqrt{2} k_{y0} I''_{K3} = \sqrt{2} \cdot 1,413 \cdot 12,76 = 25,5 \text{ кА}$$

Струми к. з. для інших точок системи електропостачання нашого заводу розраховуються аналогічно. Результати даного розрахунку наведено в табл. 6.1.2.

Таблиця 6.1.2. Результати значення струмів к. з. заводської системи електропостачання

№ точки к. з.	R, Ом	X, Ом	I'', кА	T _a , с	k _{y0}	i _{y0} , кА
1	0,1900	2,2480	2,69	0,0377	1,767	6,72
2	1,5430	2,3920	2,13	0,0049	1,130	3,40
3	0,0049	0,0174	12,76	0,0113	1,413	25,50
4	0,7060	2,3030	2,52	0,0104	1,382	4,93
5	0,0036	0,0173	13,05	0,0153	1,520	28,05
6	0,7420	2,3070	2,50	0,0099	1,364	4,82
7	0,0037	0,0173	13,05	0,0149	1,511	27,89
8	0,9640	2,3310	2,40	0,0077	1,273	4,32
9	0,0040	0,0174	12,90	0,0139	1,487	27,13
10	1,4090	2,3780	2,19	0,0054	1,157	3,58
11	0,0047	0,0174	12,83	0,0118	1,429	25,93

6.2. Вибір високовольтних кабелів для заводу

За даними відових правил ПУЕ, вказано, що переріз струмопроводів > 1000 В потрібно вибирати за тривало допустимою силою струму, при цьому враховувати очікуване зростання навантажень.

Нижче наведено вибір для заводської КЛІ. Розрахунковий струм для даної кабельної лінії КЛІ становитиме:

$$I_p = \frac{S_p}{n\sqrt{3}U_{ср.ном}} = \frac{852,32}{2 \cdot 1,72 \cdot 10,5} = 23,43 \text{ кА}$$

Площа перерізу обраної КЛ-1 (при $T_{\max} = 5251,3$ год., $j_{\text{ек}} = 1,2$ А/мм²).

Обираємо до встановлення для живлення кабель марки ААШВ-10(3х35) з такими паспортними даними: $r_{0\text{кл}1} = 0,89$ Ом/км, $x_{0\text{кл}1} = 0,095$ Ом/км, $I_{\text{доп кл}} = 115$ А.

Перевірка КЛ за допустимим струмовим навантаженням від споживачів:

$$I_p = 23,43 \text{ А} \leq K_n \cdot I_p = 0,9 \cdot 115 = 103,5 \text{ А}$$

Перевірка КЛ при виборі за умови в аварійному режимі становитиме:

$$I_{\text{ав}} = 46,86 \text{ А} \leq K_{\text{ан}} \cdot K'_n \cdot I_p = 1,35 \cdot 1 \cdot 115 = 155,25 \text{ А}$$

Тепловий імпульс від можливого струму к. з. матиме значення:

$$B_{\kappa} = I_{\text{к}1}^2 (t_{\text{п.з. min}} + T_a) = 2,69^2 (1,365 + 0,0377) = 33,89 \text{ кА}^2\text{с}$$

Мінімальний переріз заводської КЛ при виборі за умови термічної стійкості:

$$F_{\min} = \frac{1}{C} \sqrt{B_{\kappa}} = \frac{1}{94} \sqrt{10,15 \cdot 10^3} = 33,89 \text{ кА}^2\text{с}$$

Результати розрахунків із вибору інших заводських КЛ наведено в табл. 6.2.

Таблиця 6.2. Результати розрахунків із вибору заводських КЛ напругою 10 кВ

№ КЛ	n, шт	S _p , МВА	I _p , А	I _{p.ав.} , А	F _{ек} , мм ²	B _к , кА ² с	F _{min} , мм ²	Марка кабеля	I _{доп} , А	K _n	K _n I _{доп} , А	K _{ан}	K' _n	K _{ан} K' _n I _{доп} , А
КЛ 1	2	3053,7	83,96	167,9	69,97	10,15	33,89	2 х ААШВ- 10(3х120)	240	0,9	216	1,35	1	324
2,3	2	852,32	23,43	46,86	19,53	10,15	33,89	2 х ААШВ- 10(3х35)	115	0,9	103,5	1,35	1	155,25
4,5	2	870,8	23,94	47,88	19,95	10,15	33,89	2 х ААШВ- 10(3х35)	115	0,9	103,5	1,35	1	155,25
6	1	428,62	23,57	-	19,64	10,15	33,89	1 х ААШВ- 10(3х35)	115	1	115	-	-	-
7	1	442,08	24,31	-	20,26	10,15	33,89	1 х ААШВ- 10(3х35)	115	1	115	-	-	-
8,9	2	859,7	23,64	47,28	19,7	10,15	33,89	2 х ААШВ- 10(3х35)	115	0,9	103,5	1,35	1	155,25

6.3 Вибір електричних апаратів високої напруги для заводу

В даному розділовому підпункті випускної роботи було проведено вибір електричних апаратів високої напруги 10 кВ, а саме: високовольтних вимикачів напругою 10 кВ, роз'єднувачів напругою 10 кВ; розрядників та ОПН. Розрахунки проводились згідно методики, описаної в [1].

У даному розділовому підпункті випускної роботи було виконано вибір та розрахунок електричних апаратів високої напруги 10 кВ, таких як високовольтні вимикачі, роз'єднувачі, розрядники та обмежувачі перенапруги. Методика описана в джерелі [1].

Вибір і результат ввідного вимикача U 10 кВ наведено в табл. 6.3.1.

Таблиця 6.3.1. Результати вибору ввідного вимикача напругою 10 кВ

Параметр вимикача	Умови вибору	Розрахунок вимикача
Параметр обраного апарата	$U_{уст} \leq U_{ном}$	$10 \leq 10$
Номінальна напруга апарата, В	$I_{роб.форс.} \leq I_{ном}$	$176,31 \leq 630$
Номінальний довготривалий струм апарата, А		
Відключаюча здатність апарата:	$I_{K0}'' \leq I_{дин.ст}$	$2,69 \leq 20$
- симетричний струм, А	$i_{ат} \leq \sqrt{2}\beta_n I_{відкл.ном}$	$0 \leq 11,31$
- асиметрична складова, А	$\sqrt{2}I_{пт} + i_{ат} \leq \sqrt{2}I_{ном.відкл} (1 + \beta_n)$	$1,41 \cdot 2,69 + 0 < 1,41 \cdot 20 \cdot (1 + 0,4)$ $3,8 \leq 39,6$
- повний струм, А		
Динамічна стійкість апарата:	$I_{пт} \leq I_{дин.ст.}$	$2,69 \leq 52$
- симетричний струм, А	$i_{уд} \leq 1,8\sqrt{2}I_{дин.ст.}$	$6,72 \leq 132,37$
- ударний струм, А	$B_k \leq I_{тн}^2 t_{тн}$	$7,81 \leq 1200$
Термічна стійкість апарата		

Найменший час від моменту початку к. з. до моменту розходження контактної групи вимикача становитиме:

$$\tau = t_{pz.min} + t_{c.в} = 1 + 0,042 = 1,042 \text{ с}$$

Аперіодична складова струму к. з. для моменту розходження контактної групи становитиме:

$$i_{ат} = \sqrt{2} I'' e^{\frac{-\tau}{T_d}} = 1,41 \cdot 2,69 \cdot e^{\frac{-1,042}{0,0377}} = 0 \text{ кА}^2 \text{с}$$

Тепловий імпульс від струму к. з. матиме значення:

$$B_k = I''^2 (t_{с.в.} + t_{рз.мах} + T_d) = 2,69^2 \cdot (0,042 + 1 + 0,0377) = 7,81 \text{ кА}^2 \text{с}$$

На основі цього обираємо для встановлення вакуумний вимикач типу ВР1-10-20/630 У1. Технічні характеристики вимикача ВР1-10-20/630 У1 наведено в табл. 6.3.

Таблиця 6.3.2. Технічні дані вибраного вимикача ВР1-10-20/630 У2.

$T_{уп}$	$U_{ном},$ кВ	$U_{тах},$ кВ	$I_{відкл},$ кА	$I_{ном},$ А	$I_{тн},$ кА	$I_{д.с.},$ кА	$t_{відкл.в.},$ мс	$t_{відкл.з.},$ мс	β_n	$T_{уп}$
ВР1-10-20/630 У2	10	12	20	630	20	52	42	57	0,4	вакуумний

Результати вибору для встановлення секційного вимикача напругою 35 кВ наведено в табл. 6.3.3

Таблиця 6.3.3. Умови вибору секційного вимикача на напругу 10 кВ

Параметр обраного апарата	Умови вибору	Розрахунок вимикача
Номінальна напруга апарата, В	$U_{уст} \leq U_{ном}$	$10 \leq 10$
Номінальний довготривалий струм апарата, А	$I_{роб.форс.} \leq I_{ном}$	$88,15 \leq 630$
Відключаюча здатність апарата:		
- симетричний струм, А	$I''_{к0} \leq I_{дин.ст}$	$2,69 \leq 20$
- асиметрична складова, А	$i_{ат} \leq \sqrt{2} \beta_n I_{відкл.ном}$	$0 \leq 11,31$
- повний струм, А	$\sqrt{2} I_{пт} + i_{ат} \leq \sqrt{2} I_{ном.відкл} (1 + \beta_n)$	$1,41 \cdot 2,69 + 0 < 1,41 \cdot 20 \cdot (1 + 0,4)$ $3,8 \leq 39,6$
Динамічна стійкість апарата:		
- симетричний струм, А	$I_{пт} \leq I_{дин.ст.}$	$2,69 \leq 52$
- ударний струм, А	$i_{уд} \leq 1,8 \sqrt{2} I_{дин.ст.}$	$6,72 \leq 132,37$
Термічна стійкість апарата	$B_k \leq I_{тн}^2 t_{тн}$	$4,19 \leq 1200$

Найменший час від моменту початку к. з. до моменту розходження контактної групи вимикача:

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

Аперіодична складова струму к. з. за момент розходження контактної групи:

$$i_{ат} = \sqrt{2} I'' e^{\frac{-\tau}{T_a}} = 1,41 \cdot 2,69 \cdot e^{\frac{-0,542}{0,0377}} = 0 \text{ кА}^2 \text{с}$$

Тепловий імпульс від струму к. з. матиме значення:

$$B_k = I''^2 (t_{c.e.} + t_{pz.max} + T_a) = 2,69^2 \cdot (0,042 + 0,5 + 0,0377) = 4,19 \text{ кА}^2 \text{с}$$

Таким чином, на основі розрахунків обираємо до встановлення вакуумний вимикач типу ВР1-10-20/630У2. Технічні дані ВР1-10-20/630У2 наведено в табл. 6.3.2. Результати вибору заводських відхідних КЛ до ТП наведено в табл. 6.3.4.

Таблиця 6.3.4. Результати вибору заводських відхідних КЛ до ТП.

Параметр обраного апарата	Умови вибору	Розрахунок
Номінальна напруга апарата, В	$U_{уст} \leq U_{ном}$	$10 \leq 10$
Номінальний довготривалий струм апарата, А	$I_{роб.форс.} \leq I_{ном}$	$99,21 \leq 630$
Відключаюча здатність апарата:		
- симетричний струм, А	$I''_{K0} \leq I_{дин.ст}$	$2,69 \leq 20$
- асиметрична складова, А	$i_{ат} \leq \sqrt{2} \beta_n I_{відкл.ном}$	$0,09 \leq 11,31$
- повний струм, А	$\sqrt{2} I_{пт} + i_{ат} \leq \sqrt{2} I_{ном.відкл} (1 + \beta_n)$	$1,41 \cdot 2,69 + 0,09 < 1,41 \cdot 20 \cdot (1 + 0,4)$ $3,89 \leq 39,6$
Динамічна стійкість апарата:		
- симетричний струм, А	$I_{пт} \leq I_{дин.ст.}$	$2,69 \leq 52$
- ударний струм, А	$i_{уд} \leq 1,8 \sqrt{2} I_{дин.ст.}$	$6,72 \leq 132,37$
Термічна стійкість апарата	$B_k \leq I_{ТН}^2 t_{ТН}$	$1,3 \leq 1200$

Час від моменту початку к. з. до моменту розходження контактної групи вимикача:

$$\tau = t_{pz.min} + t_{c.e} = 0,1 + 0,042 = 0,142 \text{ с}$$

Аперіодична складова струму к. з. для моменту розходження контактної групи:

$$i_{ат} = \sqrt{2} I'' e^{\frac{-\tau}{T_a}} = 1,41 \cdot 2,69 \cdot e^{\frac{-0,142}{0,0377}} = 0,09 \text{ кА}^2 \text{с}$$

Тепловий імпульс від струму к. з. матиме значення:

$$B_k = I''^2 (t_{с.в.} + t_{рз.мах} + T_a) = 2,69^2 \cdot (0,042 + 0,1 + 0,0377) = 1,3 \text{ кА}^2 \text{с}$$

Обираємо до встановлення вакуумний вимикач типу ВР1-10-20/630У2.

Технічні дані ВР1-10-20/630 У2 наведено в табл. 6.3.2.

Тепловий імпульс від струму к. з.:

$$B_k = I''^2 (t_{рз.мах} + T_a) = 2,69^2 \cdot (0,1 + 0,0377) = 1 \text{ кА}^2 \text{с}$$

Обираємо до встановлення вимикач навантаження типу ВНР-10/400-10зУЗ.

Таблиця 6.3.4. Результати вибору вимикачів навантаження.

Параметр вимикачів навантаження	Умови вибору	Розрахунок вимикачів навантаження
Номінальна напруга вим. навантаження	$U_{уст} \leq U_{ном}$	$10,5 \leq 10,5$
Довготривалий ном. струм вим. навантаження	$I_{роб.форс.} \leq I_{ном}$	$0 \leq 400$
Динамічна стійкість вим. навантаження:		
- симетричний струм	$I_{пт} \leq I_{дин.ст.}$	$2,69 \leq 10$
- ударний струм	$i_{уд} \leq 1,8\sqrt{2}I_{дин.ст.}$	$6,72 \leq 25,46$
Термічна стійкість вим. навантаження	$B_k \leq I_{тн}^2 t_{тн}$	$1 \leq 100$

Таблиця 6.3.5. Технічні данні вимикача навантаження ВНР-10/400-10зУЗ.

$T_{уп}$	$U_{ном}, \text{кВ}$	$U_{мах}, \text{кВ}$	$I_{ном}, \text{А}$	$I_{д.с.}, \text{кА}$	$I_{тн}, \text{кА}$	$t_{м.с.}, \text{с}$
ВНР-10/400-10зУЗ	10,5	12	400	10	10	1

Проведемо вибір плавких запобіжників для захисту ТП від струмів к.з.

Таблиця 6.3.6. Результати вибору запобіжників 10,5 кВ.

Параметр запобіжника	Умова вибору	Розрахунок апобіжника
Номинальна напруга, кВ	$U_{уст} \leq U_{ном}$	$10,5 \leq 10,5$
Номинальний струм п.в.	$2I_{т.ном} \leq I_{п.в.}$	$84,86 \leq 100$
Чутливість захисту	$K_{\chi} = \frac{I_{к.з. \min}}{I_{п.в.}} \geq 3$	$\frac{2690}{100} = 26,9 \geq 3$
Відключаюча здатність	$I_{к.з.}^{(3)} \leq I_{п.відкл.}$	$2,69 \leq 12,5$

Результати розрахунку електричного навантаження ТВП (ЦРП) по заводу наведено в табл. 6.3.7.

Таблиця 6.3.7 Результати розрахунку електричного навантаження ТВП

№ з/п	Вибрані поживачі	$P_{ном},$ кВт	$n,$ шт.	$P_{сум},$ кВт	$\cos\varphi$	$\tg\varphi$	$P_{уст},$ кВт	$Q_{уст},$ квар
1	Пристрої підігріву комірок КРП	0,6	10	6	0,97	0,25	6	2
2	Опалення та освітлення приміщення 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							60	17

Сумарне встановлене навантаження для ТВП становить:

$$S_{уст} = \sqrt{P_{уст}^2 + Q_{уст}^2} = \sqrt{60^2 + 17^2} = 62,36 \text{ кВА}$$

Розрахункова потужність ТВП матиме значення:

$$S_p = K_c S_{уст} = 0,8 \cdot 62,36 = 49,89 \text{ кВА}$$

Обираємо до встановлення 2 трансформатори власних потреб типу ТМ-40/10.

Технічні дані: ТМ-40/10: $S_{ном} = 40 \text{ кВА}$; $U_{ВН} = 10 \text{ кВ}$; $U_{НН} = 0,4 \text{ кВ}$.

Коефіцієнт завантаження встановленого ТВП:

$$K_3 = \frac{S_p}{n \cdot S_{ном}} = \frac{49,89}{2 \cdot 40} = 0,62$$

6.4. Вибір трансформаторів струму та напруги для заводу

В табл. 6.4.1 наведено результати розрахунку параметрів по заводського вибору трансформаторів струму, що встановлюються на вводах 10 кВ і призначені для приєднання приладів релейного захисту та комерційного обліку.

Таблиця 6.4.1. Результати вибору трансформаторів струму на вводах 10 кВ заводської мережі.

№ з/п	Параметр ТС	Умова вибору	Розрахунок ТС
1	Номінальна напруга ТС	$U_{уст} \leq U_{ном}$	$10 \leq 10$
2	Довготривалий номінальний струм ТС	$I_{роб.форс} \leq I_{ном}$	$176,31 \leq 300$
3	Динамічна стійкість ТС	$i_{уд} \leq i_{дин} = \sqrt{2}k_{ед}I_{1ном}$	$6,72 \leq 52$
4	Термічна стійкість ТС	$B_k \leq I_{тер}^2 t_{тер}$	$10,15 \leq 768$
5	Вторинне навантаження ТС	$Z_2 \leq Z_{ном}$	$0,35 \leq 0,4$

Вторинне навантаження трансформатора струму, Ом:

$$Z_2 = Z_{прил} + R_{пров} + R_{конт}$$

Опір приладів, що приєднані послідовно до вторинних кіл ТС, Ом:

$$Z_{прил} = \frac{S_{прил}}{I_{ном}^2} = \frac{4,1}{5^2} = 0,16$$

Обираємо до встановлення в комірках трансформатор струму ТЛК-10/300 У1. Його технічні характеристики наведено нижче в табл. 6.4.2.

Таблиця 6.4.2. Технічні характеристики трансформатора струму ТЛК-10/300 У1

Тип ТС	$U_{ном}$	$I_{ном}$	$I_{д.с.}$	$Z_{2ном}$	$I_{тн}$	t_n
ТЛК-10/300 У1	10	300	52	0,4	16	3

Результати проведених розрахунків вторинного навантаження ТС на вводах 10 кВ заводської мережі наведено в табл. 6.4.3.

Щоб ТС працював надійно в заданому класі точності, необхідно дотримуватися наступних умови:

$$Z_{прил} + R_{пров} + R_{конт} \leq Z_{2ном}$$

Опір проводів, необхідний для того щоб ТС працював в заданому класі точності, Ом:

$$R_{\text{пров}} = Z_{2\text{ном}} - Z_{\text{прил}} - R_{\text{к}} = 0,4 - 0,16 - 0,1 = 0,14 \text{ Ом}$$

Таблиця 6.4.3. Результати розрахунку та вибору вторинного навантаження ТС

Назва вибраного обладнання	Тип обладнання	$S_{\text{прил}}, \text{ВА}$		
		Фаза А	Фаза В	Фаза С
Амперметр	Е 377	0,1		0,1
Прилад обліку	Меркурій 230ART2	0,1	0,1	0,1
Всього на ввіді		0,2	0,1	0,2

Переріз проводів становитиме значення, мм^2 :

$$F = \frac{\rho \cdot l_{\text{розр}}}{R_{\text{пров}}} = \frac{0,0283 \cdot 20}{0,14} = 4,04$$

Обираємо до встановлення в комірки контрольний кабель типу АКРВГ-6.

Опір даного контрольного кабелю становитиме, Ом:

$$R_{\text{пров.ст.}} = \frac{\rho \cdot l_{\text{розр}}}{F_{\text{пр.ст}}} = \frac{0,0283 \cdot 20}{6} = 0,09$$

Вторинне навантаження трансформатора струму складається, Ом:

$$Z_2 = Z_{\text{прил}} + R_{\text{пров.ст.}} + R_{\text{конт}} = 0,16 + 0,09 + 0,1 = 0,35$$

Результати розрахунку параметрів вибраних трансформаторів струму наведено табл. 6.4.4. і 6.4.5, що встановлюються на відгалуженнях 10 кВ. ТС призначені для комерційного обліку та приєднання приладів релейного захисту.

Таблиця 6.4.4. Вибір трансформаторів струму на відхідних КЛ 10 кВ.

№ з/п	Параметр ТС	Умова вибору ТС	Розрахунок ТС
1	Номінальна напруга ТС	$U_{\text{уст}} \leq U_{\text{ном}}$	$10 \leq 10$
2	Довготривалий номінальний струм ТС	$I_{\text{роб.форс}} \leq I_{\text{ном}}$	$49,21 \leq 200$
3	Динамічна стійкість ТС	$i_{\text{уд}} \leq i_{\text{дин}} = \sqrt{2} k_{\text{ед}} I_{1\text{ном}}$	$6,71 \leq 52$
4	Термічна стійкість ТС	$B_{\text{к}} \leq I_{\text{тер}}^2 t_{\text{тер}}$	$10,15 \leq 300$
5	Вторинне навантаження ТС	$Z_2 \leq Z_{\text{ном}}$	$0,32 \leq 0,4$

Таблиця 6.4.5. Вторинне навантаження ТС на відхідних КЛ 10кВ

Назва обладнання	Тип	$S_{\text{прил}}, \text{ВА}$		
		Фаза А	Фаза В	Фаза С
Ватметр	Д335	0,5	-	0,5
Варметр	Д304	0,5	-	0,5
Амперметр	Е 377	0,1	-	0,1
Лічильник	Меркурій 230AR	0,5	-	0,5
Всього		1,6		1,6

Вторинне навантаження трансформатора струму становитиме, Ом:

$$Z_2 = Z_{\text{прил}} + R_{\text{пров}} + R_{\text{конт}}$$

Опір встановлених приладів послідовно приєднаних до вторинних кіл ТС, Ом:

$$Z_{\text{прил}} = \frac{S_{\text{прил}}}{I_{\text{ном}}^2} = \frac{4,1}{5^2} = 0,16$$

Обираємо для монтажу трансформатор струму ТЛК-10/200 У1. Його технічні характеристики наведено в табл. 6.4.6.

Таблиця 6.4.6. Технічні характеристики трансформатора струму ТЛК-10/200 У1

Тип	$U_{\text{ном}}$	$I_{\text{ном}}$	$I_{\text{д.с.}}$	$Z_{2\text{ном}}$	$I_{\text{тн}}$	$t_{\text{н}}$
ТЛК-10/200 У1	10	200	52	0,4	10	3

Опір проводів, при яких необхідний для ТС і буде працювати в заданому класі точності, Ом:

$$R_{\text{пров}} = Z_{2\text{ном}} - Z_{\text{прил}} - R_{\text{к}} = 0,4 - 0,16 - 0,1 = 0,14 \text{ Ом}$$

Переріз проводів матиме значення, мм²:

$$F = \frac{\rho \cdot l_{\text{розр}}}{R_{\text{пров}}} = \frac{0,0283 \cdot 12}{0,14} = 2,43$$

Обираємо до встановлення в комірку контрольний кабель типу АКРВГ-4.

Опір контрольного кабелю матиме значення, Ом:

$$R_{\text{пров.ст.}} = \frac{\rho \cdot l_{\text{розр}}}{F_{\text{пр.ст}}} = \frac{0,0283 \cdot 12}{4} = 0,06$$

Вторинне навантаження трансформатора струму матиме значення, Ом:

$$Z_2 = Z_{\text{прил}} + R_{\text{пров.ст.}} + R_{\text{конт}} = 0,16 + 0,06 + 0,1 = 0,32$$

Вибираємо трансформатори напруги по умовам зазначеним в [1].

1. По номінальній напрузі в колі, кВ:

$$U_{\text{уст}} \leq U_{\text{ном}} \quad 10 \leq 10$$

2. По класу необхідної точності: 0,5

3. По вторинному навантаженню ТН:

$$S_{2\Sigma} \leq S_{2\text{ном}}$$

Таблиця 6.4.7. Результати вибору вторинного навантаження для трансформатора напруги

Прилад	Тип приладу	S, ВА	К-сть обмоток	К-сть прил.	S _{2□} , ВА
Вольтметр	Е 377	2	1	1	2
Лічильник «Альфа»	AIR-3-OL-C2-T	1,8	2	1	3,6
Ватметр	Д-335	1,5	1	1	1,5
Варметр	Д-304	2	1	1	2
Багатофункц. лічильн.	Меркурій 230ART2	3	2	2	12
Багатофункц. лічильн.	Меркурій 230AR	3	2	2	12
Всього					33,1

Приймаємо до встановлення в комірку два трансформатори напруги типу НАМИ-10-66-УЗ з наступними технічними характеристиками:

$$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}, S_{\text{ном}} = 200 \text{ ВА}, \text{ клас точності} - 0,5.$$

7. Спеціальний розділ. Розробка заходів та способів з енергозбереження для електроустановки нагрівання опором.

7.1 Вибір електроустановки нагрівання опором

7.1.1 Вибір печі опору

Прикладом електротехнологічних установок можуть бути печі типу СНО, розроблені в компанії ООО "Бортек" (рис. 7.1), що призначені для будь-яких видів термообробки виробів (нагрівання, загартовування, відпал тощо) в повітряному середовищі до температури 1250 °С. Ці печі виготовляють з корисним об'ємом камери від 0,015 до 1,0 м. Кожух печі металевий, а футерівку виготовляють дво- або тришаровою, що забезпечує малі втрати тепла і відносно низьку температуру кожуха. Керування роботою електропечі здійснюється цифровим терморегулятором типу ТРП-08-ТП або ТРП-09-ТП житомирського підприємства КУПП "Байт" [5].



Рисунок 7.1 - Камерна електропеч моделі СНО-3,5.5.3,5/12,5 И1

Технічна характеристика печі СНО-3,5.5.3,5/12,5 И1 наведена в табл 7.1.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

Таблиця 7.1 Технічна характеристика камерної печі опору СНО-3,5.5.3,5/12,5 И1

Тип	Р, кВт	U, В	Максимальна температура в робочій зоні, °С	Діапазон автоматичного регулювання температури, °С	Габарити, мм	Робоча камера, мм
СНО-3,5.5.3,5/12,5 И1	10	380	1250	40 ... 1250	750x750x800	350x500x350

7.1.2 Вибір схеми регулювання температури печі опору

Електрична схема печі типу СНО наведена на рис. 7.2, перелік елементів у табл. 7.2. У сучасних зразках камерних печей опору регулювання температури виконується цифровими мікропроцесорними регуляторами температури, які дозволяють з високою точністю підтримувати температуру в робочій камері згідно із заданою програмою.

Таблиця 7.2 Перелік елементів схеми за рисунком 7.2.

Позначення	Марка елементів	Найменування елементів
ВК	ТРП-08-ТП	Термоелектричний перетворювач
С	МБГЧ-1-2А-250-1,0 ±10%	Конденсатор
ЕК		Електроагрівник, 3 кВт
FU	ПК-45-1	Плавкий запобіжник
HL	АС-220	Лампа сигнальна (індикатор)
КМ	П6-111У4	Пускач (контактор) електромагнітний
KV	РПГ8-2510 УЗ, 15 В	Реле твердотільне герконове
Р	Ш4530, Гр. ХА	Температурний регулятор електронний
QF	АЕ 2036М-10РУЗ	Вимикач автоматичний
R1	ПЭВ-10-10 Ом ±10%	Резистор (ПЭВ)
R2	МЛТ-0,5-1,0 кОм ±10%	Резистор (МЛТ)
SQ	МИЗА	Мікрровимикач компактний
VD1,VD4	Д226Б	Діод напівпровідниковий
VD2,VD3	Т122-25-5-У2	Тиристор напівпровідниковий

7.1.3 Режим роботи електричної печі опору

Печі опору є споживачами з плавно змінним навантаженням, оскільки потужність, яку вони споживають, змінюється залежно від потреби в регулюванні температури. Проте, ці зміни є порівняно невеликими, і не призводять до помітних коливань напруги в мережі, тому печі опору можна під'єднувати до шин або РП цехів нарівну з іншими споживачами електричної енергії. [6]

Вихідні дані:

- продуктивність печі можливо регулювати: $Q = 0,6$ т/добу;
- пепловий ККД близько: $\eta = 0,78$;
- температура нагрівання: $\tau_{\text{вир}} = 840$ °С;
- час витримки: $t_{\text{вир}} = 1$ год;
- час вивантаження: $t_{\text{вив}} = 0,1$ год;
- робоча температура нагрівних елементів: $\tau_{\text{роб.нагр}} = 1000$ °С;
- регулювання температури у межах: $\Delta\tau = \pm 40$ °С;
- матеріал - сталь.

При першому включенні піч нагрівається від температури оточуючого середовища $\tau_{\text{поч}} = 20$ °С до температури $\tau_{\text{вир}} + \Delta\tau$, при цьому використовується повна потужність печі. При досягненні температури $\tau_{\text{вир}} + \Delta\tau$ спрацьовує термодатчик, термореле розімкне свої контакти і відключить нагрівальні елементи печі. При зниженні температури до $\tau_{\text{вир}} - \Delta\tau$ термореле замикає свої контакти і підключає нагрівальні елементи і так повторюється декілька раз за термін нагрівання.

Визначимо згідно вихідних даних тривалість нагрівання $t_{\text{нагр}}$ і тривалість охолоджень $t_{\text{охол}}$. Розрахуємо параметри графіку зміни температури при роботі пристрою. Нагрів і охолодження можуть бути описані наступними рівняннями:

$$\tau_{\text{нагр}} = \tau_{\text{навк.сер}} \cdot e^{\frac{-t}{T}} + \tau_{\text{роб.нагр}} \cdot (1 - e^{\frac{-t}{T}})$$

$$\tau_{охол} = \tau_{нагр} \cdot e^{\frac{-t}{T}} + \tau_{навк.сер} \cdot (1 - e^{\frac{-t}{T}})$$

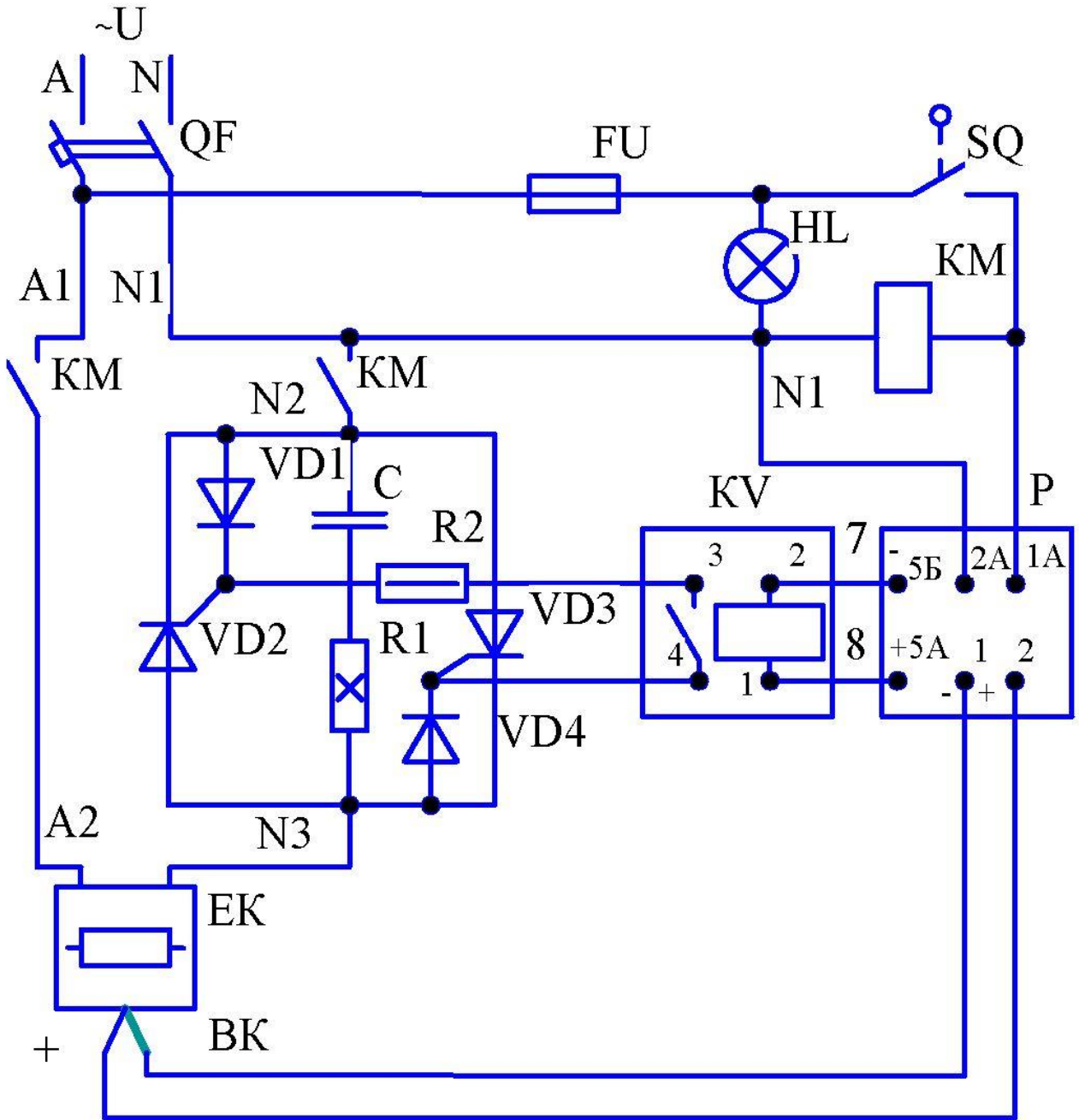


Рисунок 7.2 - Електрична схема камерної електропечі СНО-3,5.5.3,5/12,5 ІІ

Згідно умови виріб нагрівається до температури:

$$\tau_{sup} + \Delta\tau = 800 + 40 = 840 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Приймаємо постійну нагріву $T = 0.7$ год, тоді для знаходження часу нагріву від температури навколишнього середовища $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ необхідно розв'язати наступне рівняння:

$$840 = 20 \cdot e^{\frac{-t}{0,7}} + 1000 \cdot (1 - e^{\frac{-t}{0,7}}) \Rightarrow t_{нагр} = 1,268667 \text{ год}$$

Після цього йде час витримки заготовки:

$$\tau_{випр} = 840^\circ C \quad \Rightarrow \quad t_{випр} = 1 \text{ год}$$

Після цього йде охолодження на $100^\circ C$, тобто до температури $740^\circ C$:

$$740 = 840 \cdot e^{\frac{-t}{0,7}} + 20 \cdot (1 - e^{\frac{-t}{0,7}}) \Rightarrow t_{охол} = 0,0910369 \text{ год}$$

Визначимо якою стане температура під час вивантаження заготовки:

$$t = -\ln \left[\frac{\tau_{кінц} - \tau_{навок.сер}}{\tau_{поч} - \tau_{навок.сер}} \right] \cdot T = -\ln \left[\frac{\tau_{\kappa} - 20}{740 - 20} \right] \cdot 0,7 = 0,1 \Rightarrow t_{вув} = 731^\circ C$$

Далі розпочинається повторний нагрів, але з температури $731^\circ C$.

Нагрівання:

$$840 = 731 \cdot e^{\frac{-t}{0,7}} + 1000 \cdot (1 - e^{\frac{-t}{0,7}}) \Rightarrow t_{нагр} = 0,363675 \text{ год}$$

Охолодження:

$$740 = 840 \cdot e^{\frac{-t}{0,7}} + 200 \cdot (1 - e^{\frac{-t}{0,7}}) \Rightarrow t_{охол} = 0,0910369 \text{ год}$$

Визначимо якою стане температура під час вивантаження заготовки:

$$t = -\ln \left[\frac{\tau_{кінц} - \tau_{навок.сер}}{\tau_{поч} - \tau_{навок.сер}} \right] \cdot T = -\ln \left[\frac{\tau_{\kappa} - 20}{740 - 20} \right] \cdot 0,7 = 0,1 \Rightarrow t_{вув} = 731^\circ C$$

Таблиця 7.3 Дані до графіка роботи печі опору.

Цикл Параметр	початок	нагрів	витрим ка	охолод ження	виванта ження	нагрів	витрим ка	охолодж ення
Температура в печі,	20	840	840	740	731	840	840	740
Час циклу, год, °C	0	1,269	1	0,091	0,1	0,363	1	0,091
Час роботи, год, °C	0	1,879	2,269	2,360	2,460	2,823	3,823	3,914

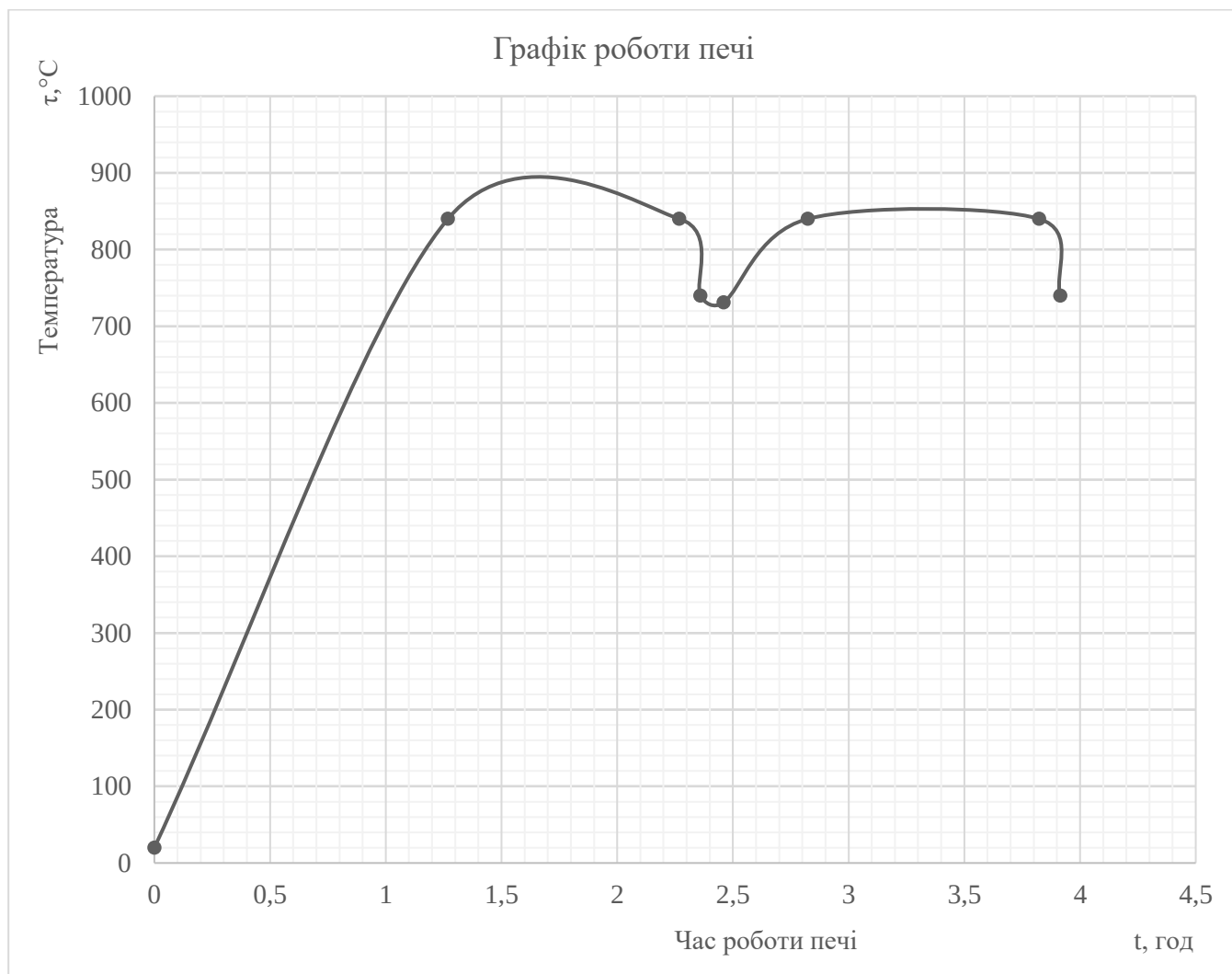


Рисунок 7.3 - Графік роботи печі опору

7.2 Енергозбереження в печах опору

7.2.1 Витрати електроенергії в печах опору

Повна витрата електричної енергії в печах опору складається із корисної витрати на нагрів завантаженого металу, витрати на покриття втрат через піддон і стінки печі, під кришку печі і інше.

$$E = a_0 \tau + a_1 g + a_2 = 10 \cdot 4,34 + 9,54 \cdot 0,1 + 6,46 = 50,82 \text{ кВт} \quad (7.1)$$

Корисна витрата енергії на нагрів виробів, кВт·год:

$$E_1 = c g (t_2 - t_1) \frac{1}{860} = \frac{0,1 \cdot 100 \cdot (840 - 20)}{860} = 9,54 \text{ кВт} \cdot \text{год} \quad (7.2)$$

Тривалість нагріву, год.:

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

$$\tau = \frac{cg(t_2 - t_1)}{\alpha F(t_0 - t_2)} = \frac{0,1 \cdot 100 \cdot (840 - 20)}{27,78 \cdot 0,425 \cdot (1000 - 840)} = 4,34 \text{ год} \quad (7.3)$$

Для середньо температурного нагріву ($t_{\text{нагр}} = 600 - 1100 \text{ }^\circ\text{C}$) можна прийняти

$$\alpha = 0,03 \left(\frac{T_n}{100} \right)^3 + (10 - 15) = 0,03 \left(\frac{840}{100} \right)^3 + 10 = 27,78 \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{год} \cdot ^\circ\text{C}) \quad (7.4)$$

Активна поверхня виробів які обробляються:

$$F = (0,3 \cdot 0,25) \cdot 2 + (0,3 \cdot 0,25) \cdot 2 + (0,25 \cdot 0,25) \cdot 2 = 0,425 \text{ м}^2$$

Аналіз формул показує, що шляхи зниження питомих витрат електроенергії на термообробку в печах опору можуть бути наступні:

- зниження теплових втрат і покращення теплоізоляції печей;
- підвищення продуктивності печей;
- зменшення втрат на накопичення тепла і використання попереднього нагріву виробів;
- раціоналізація електричних і технологічних режимів роботи печей.

7.2.2 Раціональна організація роботи печі опору.

З метою зменшення витрат електроенергії на термообробку в печах опору, необхідно враховувати вплив різних факторів, таких як теплові втрати, продуктивність, витрати на накопичення тепла і раціоналізацію режимів роботи печей. Однак, найбільш ефективним способом зниження витрат енергії є безперервний режим роботи печі, що забезпечує максимальну її продуктивність та уникнення додаткових витрат на розігрів печі до робочого стану після перерв. Тому в експлуатації термічних печей опору важливо забезпечити повне завантаження та безперервну роботу печі. [7]

Приклад 1.

Піч СНО-3,5.5.3,5/12,5 И1 потужністю 10 кВт працює для нагріву сталевих виробів до температури $840 \text{ }^\circ\text{C}$ одну зміну на добу. Потужність теплових втрат 2,4 кВт. Піч працює дві зміни на добу.

I варіант.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

Піч включена 16 год. і остиває 8 год.

Максимальна годинна продуктивність печі, кг/год,

$$G_{\max} = \frac{0,85P_{\text{печи}} - 1,44P_{\text{впр}}}{E} = \frac{0,85 \cdot 10 - 1,44 \cdot 2,4}{0,2} = 25,22 \text{ кг/год.}$$

Питома витрата енергії, кВт·год/кг:

$$\Delta E = \frac{0,85P_{\text{печи}}}{G} = \frac{0,85 \cdot 10}{25,22} = 0,337 \text{ кВт·год/кг.}$$

II варіант.

Піч включається до початку зміни (її час включення більше ніж 16 год. на добу):

$$G_{\max} = \frac{0,85P_{\text{печи}} - 1,11P_{\text{впр}}}{E} = \frac{0,85 \cdot 10 - 1,11 \cdot 2,4}{0,2} = 29,18 \text{ кг/год;}$$

$$\Delta E = \frac{0,85P_{\text{печи}} + 0,33P_{\text{впр}}}{G} = \frac{0,85 \cdot 10 + 0,33 \cdot 2,4}{29,18} = 0,318 \text{ кВт·год/кг.}$$

III варіант.

Піч не виключається на час простою:

$$G_{\max} = \frac{0,85P_{\text{печи}} - P_{\text{впр}}}{E} = \frac{0,85 \cdot 10 - 2,4}{0,2} = 30,5 \text{ кг/год;}$$

$$\Delta E = \frac{0,85P_{\text{печи}} + 0,5P_{\text{впр}}}{G} = \frac{0,85 \cdot 10 + 0,5 \cdot 2,4}{30,5} = 0,318 \text{ кВт·год/кг.}$$

Приклад 2.

Піч СНО-3,5.5.3,5/12,5 И1 працює одну зміну на добу.

I варіант.

Піч включена 8 год. на добу і 16 год. Остиває:

$$G_{\max} = \frac{0,85P_{\text{печи}} - 2,6P_{\text{впр}}}{E} = \frac{0,85 \cdot 10 - 2,6 \cdot 7}{0,2} = 11,3 \text{ кг/год;}$$

$$\Delta E = \frac{0,85P_{\text{печи}}}{G} = \frac{0,85 \cdot 10}{11,3} = 0,752 \text{ кВт·год/кг.}$$

II варіант.

Піч включається до початку зміни (її час включення більше ніж 8 год. на добу):

$$G_{\max} = \frac{0,85P_{\text{печи}} - 1,4P_{\text{втр}}}{E} = \frac{0,85 \cdot 10 - 1,4 \cdot 2,4}{0,2} = 25,7 \text{ кг/год};$$

$$\Delta E = \frac{0,85P_{\text{печи}} + 1,2P_{\text{втр}}}{G} = \frac{0,85 \cdot 10 + 1,2 \cdot 2,4}{25,27} = 0,45 \text{ кВт·год/кг}.$$

III варіант.

Піч СНО-3,5.5.3,5/12,5 И1 не виключається на час простою:

$$G_{\max} = \frac{0,85P_{\text{печи}} - P_{\text{втр}}}{E} = \frac{0,85 \cdot 10 - 2,4}{0,2} = 30,5 \text{ кг/год};$$

$$\Delta E = \frac{0,85P_{\text{печи}} + 2P_{\text{втр}}}{G} = \frac{0,85 \cdot 10 + 2 \cdot 2,4}{30,5} = 0,436 \text{ кВт·год/кг}.$$

Приклад 3.

Піч не відключається за час простою. Продуктивність печі складе:

$$G = \frac{0,85 \cdot 30 - 2,4}{0,2} = 30,5 \text{ кг/год}.$$

Питома витрата електроенергії:

$$\Delta E = \frac{0,85 \cdot 10 + 2 \cdot 2,4}{3,5} = 0,436 \text{ кВт·год/кг}$$

Піч переведена на двохзмінну роботу з відключенням її на 8 год. на добу.

Продуктивність печі складе:

$$G = \frac{0,85 \cdot 10 - 1,44 \cdot 2,4}{0,2} = 25,22 \text{ кг/год}.$$

Питома витрата електроенергії:

$$\Delta E = \frac{0,85 \cdot 10}{25,22} = 0,337 \text{ кВт·год/кг}$$

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

При річній програмі 12 тонн в результаті перебудови режиму отримана економія електроенергії у розмірі:

$$\Delta E = 12000(0,436 - 0,337) = 1188 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

7.2.3 Використання попереднього нагріву виробів.

Використання попереднього підігріву виробів перед їх термообробкою дозволяє зменшити витрати електроенергії на 30-50%, оскільки накопичене виробами тепло використовується для підігріву наступної партії виробів. Це дає можливість знизити питому витрату електроенергії на одиницю продукції, що дозволяє економити кошти на виробництві.

Зниження сумарної витрати електроенергії за весь час перебування металу в печі, кВт·год:

$$\Delta E = P_{\text{спож}} \frac{cg(t_1'' - t_1')}{\alpha F(t_0 - t_2)} = 10 \cdot \frac{0,1 \cdot 100 \cdot (731 - 20)}{25,36 \cdot 0,425 \cdot (1000 - 840)} = 41,23 \text{ кВт} \cdot \text{год}, \quad (7.9)$$

7.2.4 Розрахунок продуктивності і питомої витрати енергії в печах опору при зниженні напруги мережі.

Для ілюстрації приведемо порівнювальний розрахунок продуктивності і питомої витрати енергії при зниженні напруги мережі. [8]

Приклад.

Піч СНО-3,5.5.3,5/12,5 И1 працює на нагріві сталених виробів під загартовування. Температура нагріву 840 °С, теоретична витрата енергії при цій температурі $E = 0,2 \text{ кВт} \cdot \text{год/кг}$, потужність печі 10 кВт, її втрати хол. ходу 2,4 кВт,

$$G_{\text{max}} = \frac{0,85P_{\text{печи}} - P_{\text{втр}}}{E} = \frac{0,85 \cdot 10 - 2,4}{0,2} = 30,5 \text{ кг/год}$$

Питома витрата енергії:

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

$$\Delta E = \frac{0,85P_{печи}}{G} = \frac{0,85 \cdot 10}{30,5} = 0,279 \text{ кВт} \cdot \text{год/кг}$$

При зниженні напруги мережі на 10 % потужність печі знизиться до $10 \cdot 0,8 = 8 \text{ кВт}$, із-за цього її максимальна годинна продуктивність впаде до:

$$G'_{\max} = \frac{0,85P'_{печи} - P_{впр}}{E} = \frac{0,85 \cdot 8 - 2,4}{0,2} = 22 \text{ кг/год}$$

а питома витрата енергії збільшиться до:

$$\Delta E' = \frac{0,85P'_{печи}}{G} = \frac{0,85 \cdot 8}{22} = 0,309 \text{ кВт} \cdot \text{год/кг}$$

7.3 Рекомендації щодо зменшення витрат електроенергії під час роботи печі опору

Розрахуємо кількість теплоти, яка виділяється в оточуюче середовище, через отвір при закриванні і відкриванні кришки. [7]

Втрати через отвір при закриванні і відкриванні кришки обчислюються за формулою:

$$Q_{отв} = \psi \cdot C_{пр} \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \cdot F_{отв} \cdot \tau_{отв} \quad (7.10)$$

$$T_1 = 840 + 273 = 1113 \text{ K},$$

$$T_2 = 20 + 273 = 293 \text{ K};$$

Обчислимо площу отвору:

$$F_{отв} = 200 \cdot 200 = 0,4 \text{ м}^2$$

Тоді втрати через отвір:

$$Q_{отв} = 0,7 \cdot 4,5 \cdot \left[\left(\frac{1113}{100} \right)^4 - \left(\frac{293}{100} \right)^4 \right] \cdot 0,4 \cdot 0,1 = 1924 \text{ ккал}$$

Таким чином, при кожному відкриванні та закриванні кришки навколишнє середовище отримує 1924.0 ккал тепла через отвір.

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

З метою зменшення виділення тепла від холодильної камери, необхідно скоротити час вивантаження до мінімуму та автоматизувати його процес. Це можна зробити шляхом розміщення попередньої партії з наступною у камері, дозволяючи при охолодженні передавати тепло наступній партії. Це дозволить зменшити час нагрівання та збільшити продуктивність, що в свою чергу зменшить витрати електроенергії.

Можливість зменшення питомих витрат полягає у скороченні встановленої потужності P , або у зменшенні часу, витраченого на завантаження та розвантаження печі протягом дня і року в цілому.

Втрати на випромінювання склали:

$$\Delta E_1 = \Delta P_1 S_1 T_1 = 78 \cdot 0,4 \cdot 109,5 = 3416,4 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік},$$

Після здійснення заходів по вдосконаленню завантаження, скороченню часу роботи печі опору з відкритим вікном і скорочення площі відкритого вікна втрати складають:

$$\Delta E_2 = \Delta P_2 S_2 T_2 = 78 \cdot 0,3 \cdot 91,25 = 2135,25 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік}$$

Таким чином, річна економія електроенергії:

$$\Delta E = \Delta E_1 - \Delta E_2 = 3416,4 - 2135,25 = 1281,15 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік}$$

Отже, зменшивши час завантаження та розвантаження печі з 0,3 год до 0,25 год, ми зменшили споживання електроенергії установкою на 1281,15 кВт·год/рік.

Електричні печі використовують енергію для проведення процесів нагріву, що є досить енергоємними. Головним способом зниження собівартості такого процесу є зменшення питомих витрат електроенергії та використання засобів, що дозволяють це зробити. Однак цей шлях тісно пов'язаний з двома іншими шляхами, які були згадані вище, тому їх відділення один від одного є дуже важким завданням.

Отже, підвищення продуктивності електричної печі може призвести до:

- зниження питомих витрат електроенергії в печах;

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					70

- підвищення стійкості та довговічності використовуваних нагрівачів, що в свою чергу може привести до підвищення надійності роботи опорної печі і зниження питомих витрат енергії;

- автоматизації температурного режиму для вказаної печі, що може привести до скорочення експлуатаційного персоналу, підвищення надійності роботи та економії енергії.

Важливо зазначити, що всі ці шляхи тісно пов'язані між собою і використання кожного з них може мати комплексний вплив на зниження собівартості процесу нагріву в електричних печах. Тому представляється доцільним сумісне розглядання всіх цих шляхів, які ведуть до раціональної експлуатації печей опору.

Теплові втрати залежать від кількох факторів, таких як температура в середині вибраної печі та в зовнішньому середовищі, площа отвору та тривалість відкритого стану кришки. Чим вища температура в печі та навколишньому середовищі, тим більші тепловтрати будуть. Також більші отвори та довший час відкритого стану кришки можуть призвести до значних втрат тепла з печі. Щоб зменшити ці втрати, можна використовувати ізоляційні матеріали та оптимізувати розмір та тривалість відкриття кришки.

Найбільш легкий спосіб зниження втрат є за рахунок зменшення часу відкритого стану кришки вибраної печі, наприклад, з 0,1 год. на 0,05 год.

Тоді перерахуємо:

$$Q_{oms} = 0,7 \cdot 4,5 \cdot \left[\left(\frac{1113}{100} \right)^4 - \left(\frac{293}{100} \right)^4 \right] \cdot 0,4 \cdot 0,05 = 1155 \text{ ккал} \quad (7.11)$$

Знаходимо різницю між двома показниками по вказаній формулі:

$$\Delta Q_{oms} = Q_{oms1} - Q_{oms2} = 1924 - 1155 = 769 \text{ ккал}$$

Отже, зменшивши час відкритого стану кришки на 0,05 год., ми зменшимо теплові втрати на 769.0 ккал.

Для підвищення продуктивності печі опору також використовують форсований підігрів даної печі, для цього вводять додаткові опори, які відключаються після нагріву до бажаної температури ($\tau_{\text{вир}}=840^{\circ}\text{C.}$)

Індукційний метод нагріву також має значні переваги при масовій обробці однотипних вибраних деталей. У порівнянні з іншими методами нагріву, індукційний нагрів дозволяє значно скоротити час нагріву завдяки виділенню тепла безпосередньо в матеріалі деталі, що нагрівається. Це дозволяє підвищити продуктивність установки та знизити теплові втрати під час процесу нагріву.

Для досягнення високої ефективності заміни наскрізного загартування чи поверхневого зміцнення термохімічними методами може бути також використаний індукційне поверхневе загартування струмами високої частоти, оскільки при цьому нагрівається лише поверхневий шар виробу, що знижує витрати електроенергії. Прямий нагрів також може бути ефективним у деяких випадках.

Так, використання інфрачервоних променів для сушки виробів, покритих лаком, є економічним і ефективним методом, оскільки дозволяє нагрівати лише поверхневий шар виробу, що зменшує витрати електроенергії та час сушки. Крім того, інфрачервоне випромінювання не потребує підігріву повітря, що є ще однією перевагою цього методу, оскільки зменшує витрати енергії та ризик виникнення пожежі.

Використання попереднього підігріву виробів може бути найбільш ефективним заходом для підвищення продуктивності печі. Якщо вироби попередньо нагріваються, наприклад, за допомогою тепла від виробів, що вже пройшли термообробку, то зменшується кількість електроенергії, необхідної для подальшого нагріву, а також часу, необхідного для нагріву. Це дозволяє підвищити продуктивність печі, тобто в той самий проміжок часу можна нагріти більше виробів, що веде до підвищення ефективності термообробки.

Оскільки наша піч опору має загалом невеликі габарити, то теплові втрати мають досить велике значення. Для отримання більш точних результатів необхідно здійснювати вимірювання теплових втрат через футерівку, дослідно

визначаючи температури всередині печі опору, а також на її поверхні. Практичні втрати через футерівку зазвичай можуть становити від 6.0 до 12.0% від загальної втрати тепла. Також важливо уникати повного відключення пічки від електромережі під час проведення допоміжних операцій, оскільки охолодження печі опору та наступне її нагрівання до робочої температури витрачає недоцільно велику кількість електричної енергії.

Щоб зменшити електричні втрати в мережі живлення високої напруги, необхідно обирати правильний електричний режим печі опору та методи термообробки вибраних виробів. Це допоможе зменшити втрати, які складаються з втрат в пічному трансформаторі, що живить піч та сталених конструкціях. За даними досліджень, втрати можна зменшити близько на 6-8% [8].

Балансова діаграма є ефективним інструментом для зменшення витрат електричної енергії печі опору. Ця діаграма відображає всі етапи процесу термообробки вибраних виробів, починаючи від їх підготовки до нагріву і закінчуючи етапом охолодження, та дозволяє ідентифікувати основні джерела та місця витрат електроенергії.

За допомогою балансової діаграми також можна визначити оптимальний режим роботи печі опору, включаючи температуру, час нагріву та охолодження процесу, а також використовуючи методи попереднього підігріву та термоізоляції. Діаграма дозволяє відслідковувати та здійснювати регулювання витрат електроенергії на кожному етапі термообробки.

Застосування балансової діаграми дозволяє знизити витрати електроенергії на печі опору до 10-15%, забезпечуючи оптимальну продуктивність електропечі. Це дозволяє значно знизити витрати на виробництво та підвищити конкурентоспроможність на ринку продукції.

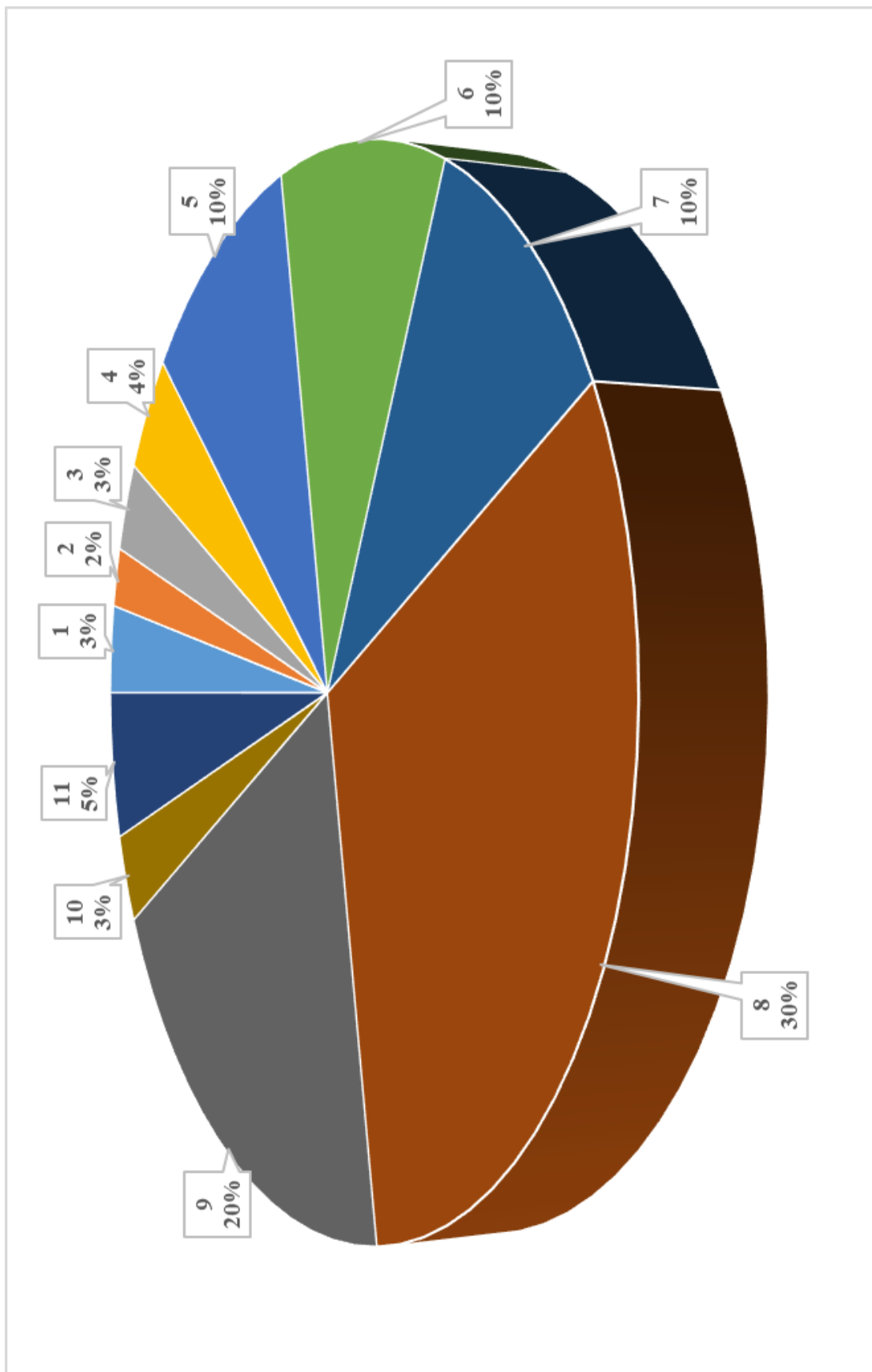


Рисунок 7.4 - Розподіл основних заходів зменшення витрати електроенергії в печах опору.

Таблиця 7.4 Загальні заходи зменшення витрати електроенергії в печах опору

№	Виконувані заходи	%	Загальні
1	Покращення теплової ізоляції печей опору	3.0	3-5
2	Покращення герметичності печей опору	2.0	2
3	Збільшення потужності печі опору	3.0	3-7
4	Рациональне завантаження печей опору	4.0	7
5	Використання легких і ефективних вогнетривких і теплоізоляційних матеріалів періодичної дії.	10.0	10-15
6	Рациональна організація роботи печі опору.	10.0	10-30
7	Скорочення маси тари.	10.0	10-20
8	Використання попереднього нагріву виробів.	30.0	30-50
9	Автоматизація керування режимом печі опору.	20.0	20-50
10	Скорочення тривалості технологічного процесу за рахунок його вдосконалення.	3.0	3
11	Використання індукційного нагріву.	5.0	5

Висновки

За результатами розрахунків, проведених в бакалаврській роботі, можна стверджувати, що використання високої напруги є економічно доцільним у випадку середнього навантаження та віддаленості від центру живлення.

Максимальна компенсація реактивної потужності є економічно доцільною, оскільки в більшості випадків плата за реактивну енергію перевищує плату за активну енергію. Перетоки реактивної потужності також викликають додаткові втрати активної потужності, що призводить до збільшення плати за споживання електроенергії.

Перекомпенсація реактивної енергії є небажаною, оскільки це призводить до збільшення плати за генеровану в мережу реактивну потужність, що може бути майже в три рази більшою, ніж плата за споживання реактивної потужності.

При виконанні спеціального розділу були проведені розробка заходів та способів з енергозбереження для електроустановки нагрівання опором. Згідно вимог щодо використання печей опору з робочою температурою 840 °С, була вибрана піч СНО-3,5.5.3,5/12,5 И1 з нагрівальними елементами, виготовленими з залізохромоалюмінієвого сплаву ОХ23Ю5А. Була розроблена автоматична схема регулювання температури з двопозиційним регулятором, з виготовленням графіка роботи печі опору. Також були розроблені заходи та методи енергозбереження для печі опору СНО-3,5.5.3,5/12,5 И1, з рекомендаціями щодо зменшення витрат електроенергії.

За час виконання роботи було максимально використано актуальні нормативні документи та інструкції. Усі технічні рішення були економічно обґрунтовані, а проектування виконувалось з використанням комп'ютерних програм.

У бакалаврській роботі була розроблена система електроживлення заводу, який спеціалізується на виробництві техніки для сільськогосподарського призначення.

Перелік посилань

1. Навчальний посібник для виконання кваліфікаційного проекту для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / Укл.: П.Г.Плешков, В.В.Зінзура, Н.Ю.Гарасьова, А.І. Котиш. – Кропивницький: ЦНТУ, 2021 - 196 с.
2. Кваліфікаційна робота бакалавра: метод. рекомендації до структури та оформлення випускної кваліфікаційної роботи для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня зі спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / [уклад. П. Г. Плешков та ін.]; Міністерство освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. – Кропивницький: ЦНТУ, 2023. – 80 с.
3. Методичні вказівки до виконання дипломного проекту електропостачання промислових підприємств. Кіровоград: КНТУ, 2004.
4. Методичні вказівки до виконання дипломного проекту електропостачання промислових підприємств. Кіровоград: КНТУ, 2004
5. <http://bortek.ua/promyshlennye-ehlektropechi/kamernye-pechi/sno-3-5-3-1250>
6. Основи ефективного використання електричної енергії в системах електроспоживання промислових підприємств : навч. посіб. / [Соловей О. І., Розен В. П., Плешков П.Г. та ін.] ; М-во освіти і науки України, Кіров. нац.техн. ун-т. – Черкаси: видавець Чабаненко Ю., 2015. – 316 с.
7. Клименко В.В., Кравченко В.І., Телюта Р.В. Енергозбереження в теплотехнологічних процесах і установках: Навчальний посібник. – Кропивницький: ПП Ексклюзив-Систем, 2020. – 219с.
8. Електротехнологічні установки: навчальний посібник /П.О. Василега. – Суми: Видавництво СумДУ, 2010. – 548 с.