

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

“Допущено до захисту”
Зав. кафедрою ЕТС та ЕМ
к.т.н., професор
_____ П. Пешков
“ ____ ” _____ 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти

на тему:

**Проектування системи електропостачання заводу з
розробки та виготовлення електровимірювальних
приладів**

**Design of the power supply system of a plant for the
development and manufacture of electrical measuring
instruments**

Виконав здобувач III курсу, групи ЕЕ-22мб
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
_____ Д. Євграфов
« ____ » _____ 2025 р.

Керівник роботи
доцент, канд. техн. наук
_____ Р. Телюта
« ____ » _____ 2025 р.

Рецензент _____

м. Кропивницький

Міністерство освіти і науки України

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет будівництва, транспорту та енергетики

Кафедра електротехнічних систем та енергетичного менеджменту

Освітній ступінь бакалавр

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітньо-професійна програма

«Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедрою ЕТС та ЕМ

_____ П. Плешков

« _____ » _____ 2025 р.

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

Свграфову Денису Руслановичу

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи

Проектування системи електропостачання заводу з розробки та виготовлення електровимірювальних приладів

Design of the power supply system of a plant for the development and manufacture of electrical measuring instruments

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 17.06.2025 р.

4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи Метою роботи є розробка системи електропостачання заводу з розробки та виготовлення електровимірювальних приладів. 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>	<i>03.04.25</i>	
2	<i>Вступ</i>	<i>10.04. 25</i>	
3	<i>Коротка характеристика технологічного процесу</i>	<i>14.04. 25</i>	
4	<i>Розрахунок електричних навантажень</i>	<i>17.04. 25</i>	
5	<i>Побудова графіків електричних навантажень</i>	<i>24.04. 25</i>	
6	<i>Побудова картограм електричних навантажень</i>	<i>31.04. 25</i>	
7	<i>Техніко-економічне обґрунтування схем ел.постачання</i>	<i>04.05. 25</i>	
8	<i>Режими реактивної потужності системи</i>	<i>07.05. 25</i>	
9	<i>Вибір кількості, потужності трансформаторів</i>	<i>12.05. 25</i>	
10	<i>Розрахунок струмів коротких замикань</i>	<i>19.05. 25</i>	
11	<i>Вибір електрообладнання</i>	<i>26.05. 25</i>	
12	<i>Спеціальний розділ</i>	<i>02.06. 25</i>	
13	<i>Заключення</i>	<i>06.06. 25</i>	
14	<i>Список літератури</i>	<i>9.06. 25</i>	
15	<i>Оформлення розрахунково-пояснювальної записки</i>	<i>13.06. 25</i>	
16	<i>Оформлення графічної частини</i>	<i>17.06. 25</i>	

Дата видачі завдання

Підпис керівника _____

« ____ » _____ 20__ р.

Завдання прийнято до виконання

Підпис здобувача _____

« ____ » _____ 20__ р.

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: 71 с.; 23 рис.; 32 табл.; 9 джерел

Євграфов Д.Р. Проектування системи електропостачання заводу з розробки та виготовлення електровимірювальних приладів. – Рукопис.

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

Кваліфікаційна робота присвячена проектуванню системи електропостачання заводу з розробки та виготовлення електровимірювальних приладів. У роботі виконано детальний аналіз техніко-економічних аспектів споживання електроенергії підприємства та проведено розрахунок параметрів струмів короткого замикання для забезпечення надійності системи. Досліджено режими реактивної потужності та науково обґрунтовано вибір оптимальної системи компенсації для підвищення коефіцієнта потужності. Розроблено комплексні рішення для зовнішнього та внутрішнього електропостачання, включаючи проектування трансформаторних підстанцій і струмопроводів з урахуванням специфіки виробництва електровимірювальних приладів. Виконано обґрунтований підбір високовольтного обладнання відповідно до сучасних вимог надійності, безпеки та енергоефективності.

Особливу увагу приділено інтеграції інноваційних енергозберігаючих технологій та впровадженню сучасних систем керування споживанням електроенергії. Детально проаналізовано енергозбереження для електропечі опору СНО-15.10.8,5/25 потужністю 15 кВт, досліджено розподіл споживання електроенергії та класифікацію установок електронагрівання опором. Економічні розрахунки показали можливість досягнення 56% економії електроенергії з річним економічним ефектом 78 400 грн при тарифі 10 грн/кВт·год. Запропоновані рішення забезпечують значне зниження експлуатаційних витрат та підвищення загальної ефективності енергосистеми підприємства, що підтверджує актуальність та практичну цінність виконаного дослідження.

Ключові слова: електричне навантаження, енергозбереження, піч опору.

ABSTRACT

Qualification work: 71 p.; 23 Fig.; 32 tables; 9 sources

Yevhrafov D.R. Design of the power supply system of a plant for the development and manufacture of electrical measuring instruments. – Manuscript.

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

The diploma project is dedicated to the design of the power supply system of the plant for the development and manufacture of electrical measuring instruments. The work includes a detailed analysis of the technical and economic aspects of the enterprise's electricity consumption and a calculation of the parameters of short-circuit currents to ensure the reliability of the system. Reactive power modes are studied and the choice of the optimal compensation system for increasing the power factor is scientifically substantiated. Comprehensive solutions for external and internal power supply are developed, including the design of transformer substations and power lines taking into account the specifics of the production of electrical measuring instruments. A substantiated selection of high-voltage equipment is carried out in accordance with modern requirements for reliability, safety and energy efficiency.

Particular attention is paid to the integration of innovative energy-saving technologies and the implementation of modern electricity consumption management systems. Energy saving for the SNO-15.10.8.5/25 electric resistance furnace with a capacity of 15 kW is analyzed in detail, the distribution of electricity consumption and the classification of electric resistance heating installations are studied. Economic calculations showed the possibility of achieving 56% electricity savings with an annual economic effect of 78,400 UAH at a tariff of 10 UAH/kWh. The proposed solutions provide a significant reduction in operating costs and an increase in the overall efficiency of the enterprise's power system, which confirms the relevance and practical value of the research performed.

Key words: electrical load, energy saving, resistance furnace.

Зміст

	Стор.
Вступ.....	7
1. Електричні навантаження заводу електровимірювальних приладів	8
1.1 Визначення електронавантажень заводу електровимірювальних приладів в електромережах до 1000 В	8
1.2 Розрахунок освітлювальних навантажень заводу електровимірювальних приладів.....	11
1.3 Розрахунок електронавантажень заводу електровимірювальних приладів в електромережах вище 1000 В	12
1.4 Графіки електричних навантажень цукрового заводу	18
2. Побудова картограми електричних навантажень заводу електровимі- рювальних приладів	23
3. Техніко-економічне обґрунтування схем електропостачання заводу електровимірювальних приладів.....	26
3.1. Вибір напруги та схеми зовнішнього електропостачання заводу електровимірювальних приладів.....	26
3.2. Вибір напруги та схеми внутрішнього електропостачання заводу електровимірювальних приладів.....	31
4. Режим реактивної потужності системи електропостачання заводу електровимірювальних приладів	32
4.1. Розрахунок балансу реактивної потужності на заводі електровимі- рювальних приладів	32
4.2. Вибір кількості, потужності та місця розташування компенсуючих пристроїв на заводі електровимірювальних приладів.....	34
5. Вибір кількості трансформаторів їх потужності та місця розташування на заводі електровимірювальних приладів.....	37

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	Літ.	Аркуш	Аркушів
Розробив		Євграфов Д.Р.				5	71
Перевірів		Телюта Р.В.					
Н. Контр.					ЦНТУ зр. ЕЕ-22мб		
Затвердив		Плешков П.Г.					

Проектування системи електропостачання
заводу з розробки та виготовлення
електровимірювальних приладів
Design of the power supply system of a plant for
the development and manufacture of electrical
measuring instruments

6. Розрахунок струмів короткого замикання та вибір високовольтного електрообладнання заводу електровимірювальних приладів	38
6.1. Розрахунок струмів коротких замикань в електросистемі заводу електровимірювальних приладів.....	38
6.2. Вибір високовольтних кабелів для заводу електровимірювальних приладів.....	46
6.3. Вибір електричних апаратів високої напруги заводу електровимірювальних приладів	47
6.4. Вибір трансформаторів струму і напруги заводу електровимірювальних приладів.....	50
7. Спеціальний розділ. Розробка заходів та способів з енергозбереження для печі опору.....	53
7.1. Установки електронагрівання опором.....	53
7.2 Класифікація установок електронагрівання опором.....	53
7.3 Класифікація електричних печей опорому.....	54
7.4 Установки електронагрівання опором як приймачі електричної енергії	55
7.5 Вибір електроустановки нагрівання опором.....	57
7.6 Режим роботи електричної печі СНО-15.10.8,5/25.....	59
7.7 Заходи з енергозбереження для печі опору СНО-15.10.8,5/25.....	63
Висновки	70
Список використаних джерел	71

Вступ

Сучасний розвиток промислового виробництва характеризується постійним зростанням вимог до якості та надійності систем електропостачання підприємств. Особливої актуальності це набуває для заводів, що спеціалізуються на розробці та виготовленні електровимірювальних приладів, оскільки такі виробництва потребують стабільного та якісного електроживлення для забезпечення точності вимірювань та надійності готової продукції.

Електровимірювальні прилади відіграють ключову роль у сучасній енергетиці, промисловості та побуті, забезпечуючи контроль та облік електричної енергії. Якість їх виготовлення безпосередньо залежить від стабільності параметрів електропостачання виробничих потужностей, що робить проектування надійної системи електропостачання критично важливим завданням.

Актуальність даної роботи обумовлена необхідністю розробки сучасної, енергоефективної та надійної системи електропостачання, яка б відповідала специфічним вимогам виробництва електровимірювальних приладів.

Мета дипломного проєкту полягає у розробці комплексної системи електропостачання заводу з виготовлення електровимірювальних приладів, що забезпечить надійне, безпечне та економічно ефективне електроживлення всіх виробничих та допоміжних процесів підприємства.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання: провести аналіз електричних навантажень підприємства з урахуванням специфіки виробництва електровимірювальних приладів; розрахувати параметри системи електропостачання та вибрати оптимальну схему живлення; здійснити вибір та розрахунок основного електрообладнання; розробити заходи щодо забезпечення надійності та якості електропостачання; провести техніко-економічне обґрунтування прийнятих рішень.

Практична значущість роботи полягає у розробці конкретних технічних рішень для створення ефективною системи електропостачання, яка може бути реалізована на реальному підприємстві з виготовлення електровимірювальних приладів.

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

1. Електричні навантаження заводу електровимірювальних приладів

При розрахунку електричних навантажень обладнання підприємства з виробництва електровимірювальних приладів доцільно застосовувати апробовану методологію з навчально-методичних джерел [1]. Розрахунок навантажень повинен враховувати коефіцієнт одночасності роботи обладнання, сезонні коливання споживання електроенергії, а також перспективи розширення виробничих потужностей. Методика визначення розрахункових навантажень базується на аналізі режимів роботи кожної групи споживачів та їх взаємодії в загальній системі електропостачання підприємства.

1.1 Визначення електронавантажень заводу електровимірювальних приладів в електромережах до 1000 В

Для прикладу визначення електроспоживання у виробничому середовищі з напругою до 1 кіловольта, розглянемо процес обчислення електричних навантажень, що припадають на інструментальний цех одного з підприємств. У цьому розділі буде виконано поетапний аналіз споживачів електроенергії цеху, з урахуванням типів обладнання, коефіцієнтів попиту та графіків навантаження.

Використовуючи початкові дані до розрахунків знаходимо коеф. m :

$$m = \frac{P_{н.мак}}{P_{н.мін}} = \frac{60}{5} = 12$$

У процесі аналізу групи електроприймачів, що функціонують за ідентичним режимом, визначаються два ключові показники: середнє навантаження та усталене (тривале) значення потужності.:

$$P_{см} = P_{сум} K_{и} = 1800 \cdot 0,4 = 720 \text{ кВт}$$

$$Q_{см} = P_{см} tg\varphi = 720 \cdot 1,02 = 734,55 \text{ кВар}$$

Ефективна кількість електроприймачів у групі електроспоживачів:

$$n_e = \frac{2 \sum P_{н}}{P_{н.мак}} = \frac{2 \cdot 1800}{60} = 60$$

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

Таблиця 1.1. Розрахунок ел. навантажень до 1 кВ заводу електровимірювальних приладів

№	Назва вузлів навантаження та груп електроприймачів	Кількість ел. споживачів заводу	Встановлена потужність, кВт		m	K _в	cosφ	tgφ	Середнє навантаження за зміну, кВт		K _м	Розрахункова потужність споживачів заводу, кВт		
			1-го	Σ сум					P _{ср}	Q _{ср}		P _p	Q _p	S _p
1,	Інструментальний цех	420	5	60	12	0,4	0,7	1,02	720	734,55	1,17	843,58	734,55	1118,57
2,	Цех автотракторного обладнання	280	2	50	25	0,6	0,8	0,75	900	675	1,1	992,16	675	1200
3,	Механоштампувальний цех	51	5	45	9	0,35	0,7	1,02	385	392,78	1,22	468,73	392,78	611,54
4,	Ливарний цех	49	2,75	65	23,6	0,3	0,65	1,17	270	315,67	1,34	361,65	315,67	480,04
5,	Цех переробки сировини	21	10	40	4	0,3	0,8	0,75	90	67,5	1,49	133,84	67,5	149,9
6,	Збиральний цех	59	1,2	300	250	0,3	0,7	1,02	1110	1132,43	1,36	1512	1132,43	1889,06
7,	Пресовий цех	20	10	100	10	0,5	0,6	1,33	250	333,33	1,38	344,44	366,66	503,07
8,	Лабораторія	20	5	25	5	0,5	0,7	1,02	150	153,03	1,25	187,57	153,03	242,08
9,	Механічний цех	57	5	100	20	0,3	0,75	0,88	600	529,15	1,28	766,37	529,15	931,3
10,	Штампувальний цех	55	15	80	5,3	0,2	0,65	1,17	140	163,68	1,59	222,52	163,68	276,24
11,	Адміністративна будівля	12	0,8	10	12,5	0,7	0,8	0,75	35	26,25	1,2	42,05	28,87	51,01
12,	Зварювальний цех	50	10	90	9	0,3	0,7	1,02	210	214,24	1,47	308,49	214,24	375,59
13,	Гальванічний цех	20	2,8	40	14,3	0,3	0,7	1,02	90	91,82	1,49	133,84	91,82	162,31
14,	Електроцех	20	5	35	7	0,5	0,7	1,02	100	102,02	1,36	135,65	102,02	169,73
15,	Компресорна	4	100	100	1	0,6	0,7	1,02	240	244,85	1,53	366,5	269,33	454,82
16,	Виробничо-технологічний цех	50	10	65	6,5	0,35	0,7	1,02	595	607,02	1,22	722,94	607,02	943,99
17,	Заготівельний цех	10	5	30	6	0,4	0,7	1,02	80	81,62	1,48	118,62	89,78	148,77
18,	Склади готової продукції і матеріалів	30	2	35	17,5	0,3	0,75	0,88	165	145,52	1,33	218,85	145,52	262,81
	Всього	1228	0,8	300	375	0,362	0,714	0,98	6130	6010,46	1,13	6940,45	6010,46	9181,26

Коефіцієнт максимального навантаження K_m визначається за табличними даними [1] на основі двох параметрів: групового коефіцієнта використання встановленої потужності та ефективної кількості електроприймачів у певному вузлі споживання або в межах однорідної групи. Цей коефіцієнт відображає ступінь концентрації навантаження у піковий період і дозволяє перейти від середнього або усталеного значення потужності до максимального.

Розрахункове активне та реактивне навантаження групи заводських силових електроспоживачів:

$$P_p = P_{cm} K_m = 720 \cdot 1,17 = 843,58 \text{ кВт}$$

$$Q_p = Q_{cm} = 734,55 \text{ кВар (так як } n_e > 10);$$

Результати розрахунок навантажень напругою до 1000 В інших приміщень (об'єктів) заводу електровимірювальних приладів зведені до таблиці 1.1.

1.2 Розрахунок освітлювальних навантажень заводу електровимірювальних приладів

Розрахунок освітлювальних навантажень по заводу з розробки та виготовлення електровимірювальних приладів виконується згідно методики [1].

Результати розрахунків освітлювальних навантажень по заводу з розробки та виготовлення електровимірювальних приладів зводимо в таблицю 1.2.

Таблиця 1.2 Розрахунок освітлювальних навантажень по приміщеннях заводу електровимірювальних приладів.

№	Найменування приміщення заводу електровимірювальних приладів	$F, \text{ м}^2$	$p_o, \text{ Вт/м}^2$	$P_b, \text{ кВт}$	$\cos \varphi$	K_1	K_c	$\text{tg}\varphi$	Розрахункове навантаження приміщення заводу		
									$P_p, \text{ кВт}$	$Q_p, \text{ квар}$	$S_p, \text{ кВА}$
1,	Інструментальний цех	3450	18	62,1	0,9	1,2	0,95	0,484	70,79	34,26	78,64
2,	цех автотракторного обладнання	450	18	8,1	0,9	1,2	0,95	0,484	9,23	4,47	10,26
3,	Механоштампувальний цех	672	16	10,75	0,9	1,2	0,95	0,484	12,25	5,93	13,61
4,	Ливарний цех	750	17	12,75	0,9	1,2	0,95	0,484	14,53	7,03	16,14

											Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата							10

продовження табл. 1.2.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
5,	Цех переробки сировини	135	16	2,16	0,9	1,2	0,95	0,484	2,46	1,19	2,73
6,	Збиральний цех	1863	18	33,53	0,9	1,2	0,95	0,484	38,22	18,5	42,46
7,	Пресовий цех	612	18	11,02	0,9	1,2	0,95	0,484	12,56	6,08	13,95
8,	Лабораторія	150	16	2,4	0,9	1,2	0,8	0,484	2,3	1,11	2,55
9,	Механічний цех	270	18	4,86	0,9	1,2	0,95	0,484	5,54	2,68	6,15
10,	Штампувальний цех	600	18	10,8	0,9	1,2	0,95	0,484	12,31	5,96	13,68
11,	Адміністративна будівля	900	16	14,4	0,9	1,2	0,8	0,484	13,82	6,69	15,35
12,	Зварювальний цех	225	17	3,83	0,9	1,2	0,95	0,484	4,37	2,12	4,86
13,	Гальванічний цех	600	18	10,8	0,9	1,2	0,95	0,484	12,31	5,96	13,68
14,	Електроцех	450	18	8,1	0,9	1,2	0,95	0,484	9,23	4,47	10,26
15,	Компресорна	135	10	1,35	0,9	1,12	0,85	0,484	1,29	0,62	1,43
16,	Виробничо-технологічний цех	3200	18	57,6	0,9	1,2	0,95	0,484	65,66	31,78	72,95
17,	Заготівельний цех	360	18	6,48	0,9	1,2	0,95	0,484	7,39	3,58	8,21
18,	Склади готової продукції і матеріалів	3620	18	65,16	0,9	1,2	0,95	0,484	74,28	35,95	82,52
19,	Територія заводу	56100	0,1	5,61	0,5	1,12	1	1,732	6,28	10,88	12,56
	Всього			331,8					374,8	189,2	419,8

1.3 Розрахунок електронавантажень заводу електровимірювальних приладів в електромережах вище 1000 В

Щоб визначити електричне навантаження для ділянок електромережі з напругою вище 1 кВ на прикладі заводу з виробництва електровимірювальних приладів, скористаємося методикою, викладеною у навчальному посібнику [1]. У даному випадку застосовується підхід, заснований на використанні коефіцієнта розрахункової потужності, що дозволяє здійснити перехід від загальної встановленої потужності споживачів до реального розрахункового навантаження з урахуванням специфіки виробничого процесу, режимів роботи обладнання та характеру споживання електроенергії. Результати зведено в таблицю 1.3.

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

Таблиця 1.3 Розрахунок електричних навантажень, по заводу електровимірювальних приладів, вище 1000 В

Найменування ТП та обладнання	К-сть ел. спож	Встановлена потужність споживач, кВт			m	K _в	cosφ	tgφ	Середнє навантаж		K _м	Розрахункове навантаження заводу			
		1-ого min	max	Сум.					P _{сер} , кВт	Q _{сер} , квар		P _р , кВт	Q _р , квар	S _р , МВА	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
ТП 1 - ТП 3															
Інструментальний цех															
силове:	420	5	60	1800	12	0,4	0,7	1,02	720	734,55	60	1,17	843,58	734,55	1118,57
освітлювальне:									62,1				70,79	34,26	
Всього:									782,1	734,55			914,37	768,81	1194,63
Цех автотракторного обладнання															
силове:	280	2	50	1500	25	0,6	0,8	0,75	900	675	60	1,1	992,16	675	1200
освітлювальне:									8,1				9,23	4,47	
Всього:									908,1	675			1001,39	679,47	1210,15
Збиральний цех															
силове:	59	1,2	300	3700	250	0,3	0,7	1,02	1110	1132,43	25	1,36	1512	1132,43	1889,06
освітлювальне:									33,53				38,22	18,5	
Всього:									1143,53	1132,43			1550,22	1150,93	1930,76
Територія заводу															
освітлювальне:									5,61				6,28	10,88	
Всього:									5,61	0			6,28	10,88	12,56
Всього по ТП 1 - ТП 3:															
силове:	759	1,2	300	7000	250	0,39	0,73	0,93	2730	2541,98	47	1,2	3280,6	2541,98	4150,18
освітлювальне:									109,34				124,52	68,11	
Всього на шинах 0.4 кВ ТП 1 - ТП 3:									2839,34	2541,98			3405,12	2610,09	4290,39
Втрати в трансформаторах:															
Кількість транс-ів: 5													37,76	197,54	
Номінальна потужність, кВА: 1000															

продовження таблиці 1.3

Найменування	К-сть ЕС	Встановлена потужність, кВт			m	K _b	cosφ	tgφ	Середнє навантаж		K _m	Розрахункове навантаження					
		Одного	max	Сум.					Р _{сер,} кВт	Q _{сер,} квар		Р _{p,} кВт	Q _{p,} квар	S _{p,} МВА			
Коефіцієнт завантаження: K _з = 0,68																	
Всього на шинах 10 кВ																	
ТП 1 - ТП 3:																	
ТП 4																	
Механоштампувальний цех																	
сілове:	51	5	45	1100	9	0,35	0,7	1,02	385	392,78	1,22	468,73	392,78	611,54			
освітлювальне:									10,75			12,25	5,93				
Всього:									395,75	392,78		480,98	398,71	624,75			
Ливарний цех																	
сілове:	49	2,75	65	900	23,6	0,3	0,65	1,17	270	315,67	1,34	361,65	315,67	480,04			
освітлювальне:									12,75			14,53	7,03				
Всього:									282,75	315,67		376,18	322,7	495,63			
Цех переробки сировини																	
сілове:	21	10	40	300	4	0,3	0,8	0,75	90	67,5	1,49	133,84	67,5	149,9			
освітлювальне:									2,16			2,46	1,19				
Всього:									92,16	67,5		136,3	68,69	152,63			
Електроцех																	
сілове:	20	5	35	200	7	0,5	0,7	1,02	100	102,02	1,36	135,65	102,02	169,73			
освітлювальне:									8,1			9,23	4,47				
Всього:									108,1	102,02		144,88	106,49	179,81			
Гальванічний цех																	
сілове:	20	2,8	40	300	14,3	0,3	0,7	1,02	90	91,82	1,49	133,84	91,82	162,31			
освітлювальне:									10,8			12,31	5,96				
Всього:									100,8	91,82		146,15	97,78	175,84			
Адміністративна будівля																	

продовження таблиці 1.3

Найменування	К-сть ЕС	Встановлена потужність, кВт			m	K _b	cosφ	tgφ	Середнє навантаж		K _M	Розрахункове навантаження		
		Одного		Сум.					P _{сер} , кВт	Q _{сер} , квар		P _p , кВт	Q _p , квар	S _p , МВА
		min	max											
силове:	12	0,8	10	50	12,5	0,7	0,8	0,75	35	26,25	1,2	42,05	28,87	51,01
освітлювальне:									14,4			13,82	6,96	
Всього:									49,4	26,25		55,87	35,83	66,37
Зварювальний цех														
силове:	50	10	90	700	9	0,3	0,7	1,02	210	214,24	1,47	308,49	214,24	375,59
освітлювальне:									3,83			4,37	2,12	
Всього:									213,83	214,24		312,86	216,36	380,39
Всього по ТП 4:														
силове:	223	0,8	90	3550	112,5	0,33	0,7	1,03	1180	1210,28	1,17	1385,42	1210,28	1839,61
освітлювальне:									62,79			68,97	33,66	
Всього на шинах 0.4 кВ ТП 4:									1242,79	1210,28		1454,39	1243,94	1913,8
Втрати в трансформаторах:												16,53	86,17	
Кількість трансформаторів: 2														
Ном. потужність, кВА: 1000														
Коеф. завантаження: K _з = 0,73														
Всього на шинах 10 кВ ТП 4:												1470,92	1330,11	1983,13
ТП 5														
Механічний цех														
силове:	57	5	100	2000	20	0,3	0,75	0,88	600	529,15	1,28	766,37	529,15	931,3
освітлювальне:									4,86			5,54	2,68	
Всього:									604,86	529,15		771,91	531,83	937,38
Штампувальний цех														
силове:	55	15	80	700	5,3	0,2	0,65	1,17	140	163,68	1,59	222,52	163,68	276,24
освітлювальне:									10,8			12,31	5,96	

продовження таблиці 1.3

Найменування	К-сть ЕС	Встановлена потужність, кВт			m	K _в	cosφ	tgφ	Середнє навантаж		K _м	Розрахункове навантаження		
		Одного	Сум.	Р _{сер} , кВт					Q _{сер} , квар	Р _р , кВт		Q _р , квар	S _р , МВА	
Всього:		min	max						Р _{сер} , кВт	Q _{сер} , квар		Р _р , кВт	Q _р , квар	S _р , МВА
Лабораторія									150,8	163,68		234,83	169,64	289,69
силове:	20	5	25	300	5	0,5	0,7	1,02	150	153,03	20	187,57	153,03	242,08
освітлювальне:									2,4			2,3	1,11	
Всього:									152,4	153,03		189,87	154,14	244,56
Пресовий цех														
силове:	20	10	100	500	10	0,5	0,6	1,33	250	333,33	10	344,44	366,66	503,07
освітлювальне:									11,02			12,56	6,08	
Всього:									261,02	333,33		357	372,74	516,12
Всього по ТП 5:														
силове:	152	5	100	3500	20	0,33	0,7	1,03	1140	1179,19	70	1355,96	1179,19	1796,97
освітлювальне:									29,08			32,71	15,83	
Всього на шинях 0.4 кВ ТП 5:									1169,08	1179,19		1388,67	1195,02	1832,07
Втрати в трансфор-ах:												15,51	81,03	
Кількість трансф-ів: 2														
Ном. потужь, кВА: 1000														
Коеф завант: Kз = 0,69														
Всього на шинях 10 кВ ТП 5:												1404,18	1276,05	1897,37
ТП 6														
Компресорна														
силове:	4	100	100	400	1	0,6	0,7	1,02	240	244,85	4	366,5	269,33	454,82
освітлювальне:									1,35			1,29	2,23	
Всього:									241,35	244,85		367,79	271,56	457,18
Виробничо-технологічний цех														

продовження таблиці 1.3

Найменування	К-сть ЕС	Встановлена потужність, кВт			m	K _v	cosφ	tgφ	Середнє навантаж			K _м	Розрахункове навантаження		
		Одного		Сум.					P _{сеп} , кВт	Q _{сеп} , квар	I _{сеп}		P _p , кВт	Q _p , квар	S _p , МВА
		min	max												
силове:	50	10	65	1700	6,5	0,35	0,7	1,02	595	607,02	50	1,22	722,94	607,02	943,99
освітлювальне:									57,6				65,66	31,78	
Всього:									652,6	607,02			788,6	638,8	1014,87
Заготівельний цех															
силове:	10	5	30	200	6	0,4	0,7	1,02	80	81,62	10	1,48	118,62	89,78	148,77
освітлювальне:									6,48				7,39	3,58	
Всього:									86,48	81,62			126,01	93,36	156,83
Склади готової продукції і матеріалів															
силове:	30	2	35	550	17,5	0,3	0,75	0,88	165	145,52	30	1,33	218,85	145,52	262,81
освітлювальне:									65,16				74,28	35,95	
Всього:									230,16	145,52			293,13	181,47	344,76
Всього по ТП 6:															
силове:	94	2	100	2850	50	0,38	0,71	1	1080	1079,01	57	1,19	1280,85	1079,01	1674,77
освітлювальне:									130,59				148,62	73,54	
Всього на шинях 0,4 кВ ТП 6:									1210,59	1079,01			1429,47	1152,55	1836,23
Втрати в трансф-ах:													16,14	84,19	
Кільк. трансформаторів: 2															
Ном. потуж., кВА: 1000															
Коеф. завантаж.: Kз= 0,71															
Всього на шинях 10 кВ ТП 6:													1445,61	1236,74	1902,45
Всього по об'єкту															
силове:	1228	0,8	300	16900	375	0,36	0,71	0,98	6130	6010,46	113	1,13	6940,45	6010,46	9181,26
освітлювальне:									331,8				374,82	191,14	
Всього:									6461,8	6010,46			7315,27	6201,6	9590,26

продовження таблиці 1.3

Найменування	К-сть ЕС	Встановлена потужність, кВт			m	K _B	cosφ	tgφ	Середнє навантаж		K _M	Розрахункове навантаження		
		Одного	max	Сум.					P _{сер} , кВт	Q _{сер} , квар		P _p , кВт	Q _p , квар	S _p , МВА
Втрати в трансформаторах:												85,94	448,94	
Всього по об'єкту:												7401,21	6650,54	9950,25
Всього по об'єкту 10 кВ:												7401,21	6650,54	9950,25
tgφ = 0,9														
Попереднє значення Q'кп													-5540,4	
Всього з урахуванням попередн. комп.												7401,21	1110,18	7484,01

1.4 Графіки електричних навантажень заводу електровимірювальних приладів

У межах цього підрозділу виконано аналітичне визначення основних параметрів графіків електричного навантаження для підприємства, що спеціалізується на виробництві електровимірювальних приладів. Розрахунки були виконані згідно методики вимірювання БР [1]. Результати розрахунків зведено в табл. 1.4.1 - 1.4.2 а також наведені на рис. 1.1 - 1.5.

Таблиця 1.4.1 - Вихідні дані графіків електр. навант. заводу електровимірювальних приладів

Доба, год.	Робочий період електровимірювального заводу		Вихідний період електровимірювального заводу	
	P,кВт	Q, квар	P,кВт	Q, квар
1	45.00	82.00	38.00	80.00
2	45.00	85.00	38.00	80.00
3	45.00	80.00	38.00	80.00
4	45.00	80.00	38.00	80.00
5	50.00	82.00	38.00	80.00
6	50.00	85.00	38.00	80.00
7	80.00	78.00	38.00	80.00
8	90.00	75.00	38.00	80.00
9	100.00	100.00	27.00	75.00
10	100.00	100.00	27.00	75.00
11	90.00	75.00	27.00	75.00
12	80.00	78.00	27.00	75.00
13	90.00	75.00	27.00	75.00
14	90.00	75.00	27.00	75.00
15	100.00	80.00	27.00	75.00
16	100.00	80.00	27.00	75.00
17	90.00	75.00	27.00	75.00
18	80.00	85.00	38.00	80.00
19	60.00	75.00	38.00	80.00
20	60.00	80.00	38.00	80.00
21	50.00	80.00	38.00	80.00
22	50.00	80.00	38.00	80.00
23	50.00	80.00	38.00	80.00
24	45.00	80.00	38.00	80.00

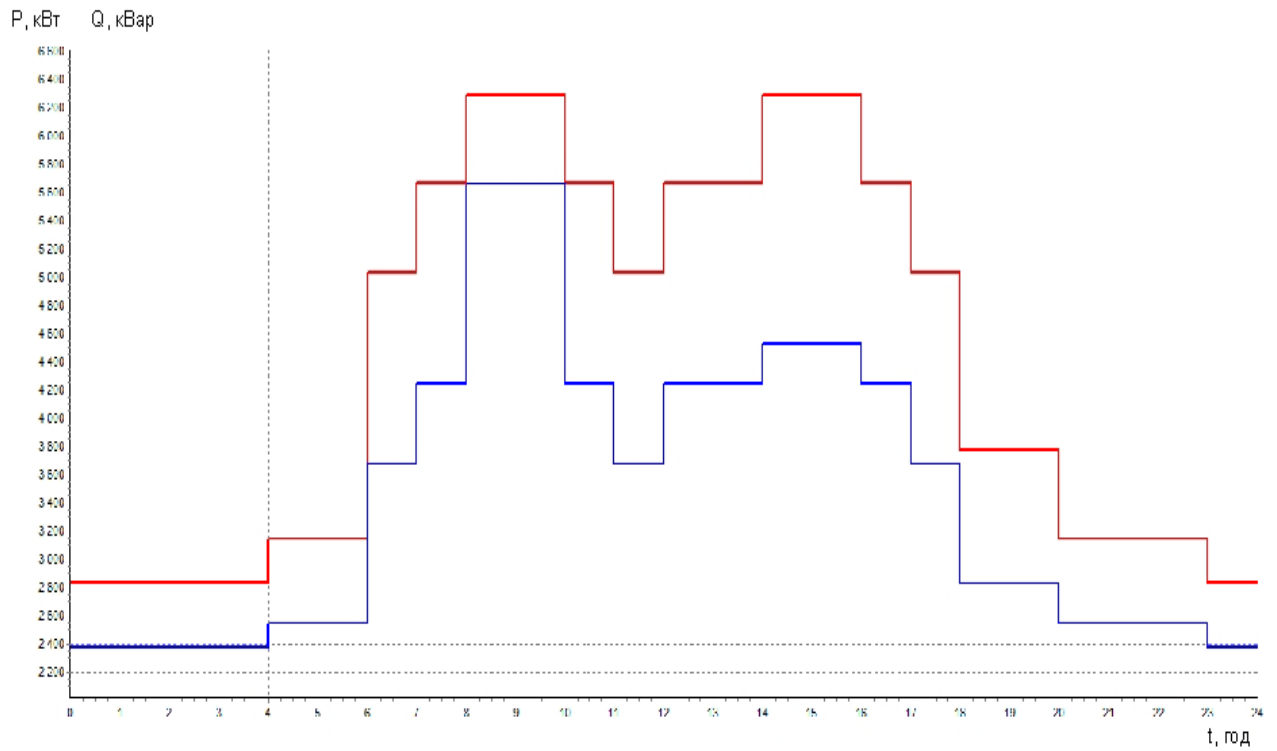


Рисунок 1.4.1. - Добовий графік заводу електровимірювальних приладів, для літніх робочих днів, активного-реактивних навантажень.

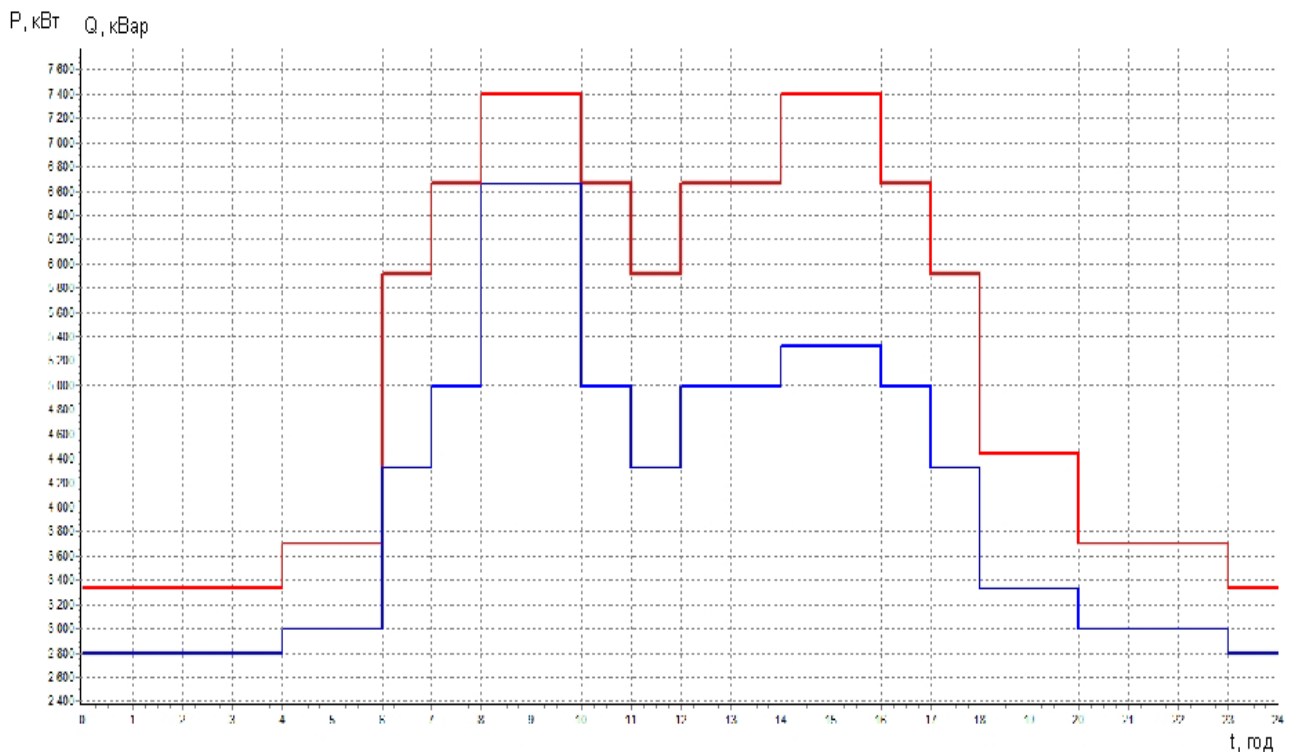


Рисунок 1.4.2. - Добовий графік заводу електровимірювальних приладів, для зимових робочих днів, активного-реактивних навантажень.

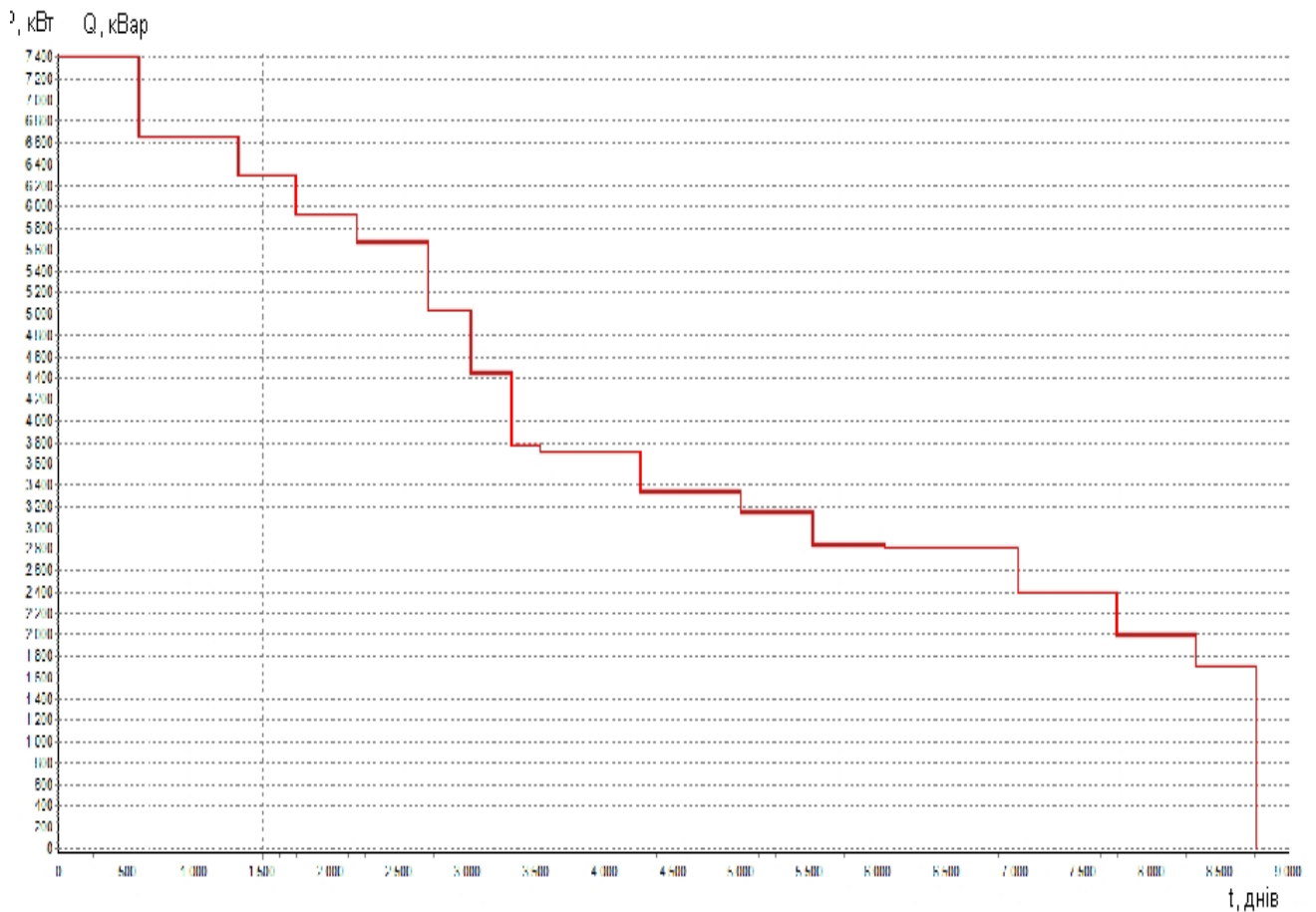


Рисунок 1.4.5. - Річний графік активного навантаження (по заводу електровимірювальних приладів)

Розрахункові величини графіків електричного навантаження заводу електровимірювальних приладів складають наступне:

Споживання енергії по заводу електровимірювальних приладів	$S_p =$	9950,26	МВА
Річне споживання для заводу активної енергії заводу електровимірювальних приладів	$W_p =$	3 35829816	кВт год.
Річне споживання для заводу реактивної енергії заводу електровимірювальних приладів	$V_p =$	32516274	кВар год.
Кількість годин використання максимуму потужності для заводу електровимірювальних приладів	$T_{max} =$	4862,664	год.
Річний час максимальних втрат для заводу електровимірювальних приладів	$\tau =$	3262,443	год

2. Побудова картограми електричних навантажень заводу електровимірювальних приладів

Складання картограми розподілу електричних навантажень для підприємства з виробництва електровимірювальних приладів здійснюється відповідно до алгоритму, описаного в методичних матеріалах джерела [1]. Зазначена методика передбачає поетапне визначення координат вузлів навантаження, величин споживаної потужності, а також просторового розміщення основних електроприймачів. На основі цих даних формується графічне відображення електричного навантаження по території заводу, що є ключовим етапом у розробці ефективної схеми внутрішньозаводського електропостачання.

Наведемо приклад розрахунку картограми для «Інструментальний цех»:

$$R_1 = \sqrt{\frac{P_1}{\pi m}} = \sqrt{\frac{P_{\text{р.осв}} + P_{\text{р.сил}}}{\pi m}} = \sqrt{\frac{843,58 + 70,79}{3,14 \cdot 0,5}} = 24,13$$

У схемі електропостачання освітлювальне навантаження моделюється у вигляді секторної ділянки, що має центральний кут α .

$$\alpha_i = \frac{P_{\text{і.осв}} \cdot 360}{P_i} = \frac{70,79 \cdot 360}{914,37} = 27,87^\circ$$

Розрахунок параметрів для інших об'єктів електронавантажень проводиться аналогічно та зводиться в (табл. 2.1).

Координати центру електр. навант. заводу електровимірювальних приладів:

$$x_0 = \frac{\sum_{i=1}^n x_i P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} = \frac{1606973,8}{8254,6} = 197,7 \text{ м}, \quad y_0 = \frac{\sum_{i=1}^n y_i P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} = \frac{1913989,5}{8254,6} = 213,9 \text{ м}$$

Для інших цехів, корпусів заводу електровимірювальних приладів розрахунок зводимо до (табл. 2.1).

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		23

Таблиця 2.1. Розрахунок картограми ел. навантажень заводу електровимірювальних приладів.

№ п/п	Найменування	Р _{р.елл} , кВт	Р _{р.осв} , кВт	Р _р , кВт	m	R, мм	α	x, м	y, м	Р · x, кВт · м	Р · y, кВт · м
1	Інструментальний цех	843,58	70,79	914,37	0,5	24,13	27,87	69,64	185,42	63680,38	169546,14
2	Цех автотракторного обладнання	992,16	9,23	1001,39	0,5	25,25	3,32	152,37	61,95	152582,80	62038,11
3	Механоштампвальний цех	468,73	12,25	480,98	0,5	17,50	9,17	277,26	150,15	133354,11	72217,22
4	Ливарний цех	361,65	14,53	376,18	0,5	15,48	13,91	371,62	154,91	139797,14	58273,29
5	Цех переробки сировини	133,84	2,46	136,3	0,5	9,32	6,50	180,42	31,26	24590,84	4260,74
6	Збиральний цех	1512	38,22	1550,22	0,5	31,41	8,88	126,96	229,83	196822,13	356293,26
7	Пресовий цех	344,44	12,56	357	0,5	15,08	12,67	148,26	407,78	52929,53	145578,89
8	Лабораторія	187,57	2,3	189,87	0,5	10,99	4,36	241,66	417,31	45883,98	79234,65
9	Механічний цех	766,37	5,54	771,91	0,5	22,17	2,58	203,69	449,85	157231,89	347246,80
10	Штампувальний цех	222,52	12,31	234,83	0,5	12,23	18,87	190,73	380,27	44788,66	89298,33
11	Адміністративна будівля	42,05	13,82	55,87	0,5	5,96	89,05	248,58	59,80	13888,28	3340,86
12	Зварювальний цех	308,49	4,37	312,86	0,5	14,11	5,03	293,72	203,13	91891,99	63551,56
13	Гальванічний цех	133,84	12,31	146,15	0,5	9,65	30,32	312,37	235,54	45652,73	34424,46
14	Електроцех	135,65	9,23	144,88	0,5	9,60	22,93	335,19	58,39	48562,18	8458,96

продовження таблиці 2.1

№ п/п	Найменування приміщень	Р _{р.сил} , кВт	Р _{р.осв} , кВт	Р _р , кВт	m	R, мм	α	x, м	y, м	Р · x, кВт · м	Р · y, кВт · м
15	Компресорна	366,5	1,29	367,79	0,5	15,30	1,26	371,64	242,29	136684,00	89111,47
16	Виробничо-технологічний цех	722,94	65,66	788,6	0,5	22,41	29,97	165,06	253,12	130169,47	199608,07
17	Заготівельний цех	118,62	7,39	126,01	0,5	8,96	21,11	358,14	284,52	45129,47	35852,11
18	Склади готової продукції і матеріалів	218,85	74,28	293,13	0,5	13,66	91,23	279,36	321,56	81889,97	94257,71
19	Територія заводу електровимірювальних приладів		6,28	6,28	0,5	2,00	360,00	229,98	222,43	1444,28	1396,85
	Всього по заводу електровимірювальних приладів	7879,8	374,8	8254,6						1606973,8	1913989,5

3. Техніко-економічне обґрунтування схем електропостачання заводу електровимірювальних приладів

Основною метою цього розділу бакалаврської кваліфікаційної роботи є техніко-економічне обґрунтування раціонального вибору схем як зовнішнього, так і внутрішнього електропостачання для промислового підприємства, що спеціалізується на виготовленні електровимірювальних приладів. У процесі аналізу враховуються специфіка технологічного навантаження, рівень надійності, вимоги до енергоефективності, резервування живлення, а також перспективи подальшого розвитку енергетичної інфраструктури заводу. Отримані результати ляжуть в основу побудови структурної електричної схеми та підбору основного електрообладнання.

3.1. Вибір схеми зовнішнього електропостачання заводу електровимірювальних приладів

Використовуючи теорію [1], проводимо техніко-економічні розрахунки заводу електровимірювальних приладів та порівнюємо варіанти схем зовнішнього електропостачання даного об'єкта (див. рис. 3.1).

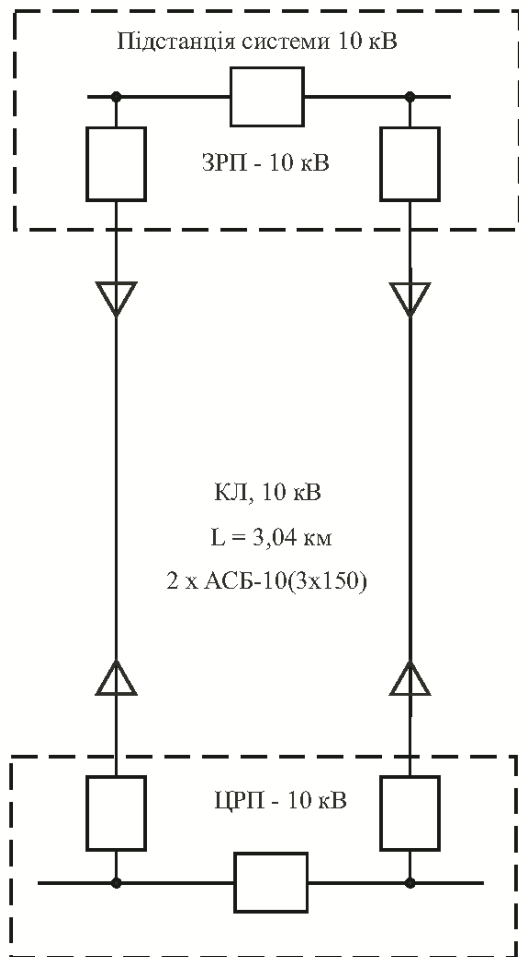
Вибір схеми зовнішнього електропостачання заводу електровимірювальних приладів проводиться згідно методики [1].

Згідно з завданням на дану роботу, заводу електровимірювальних приладів може отримувати живлення від КТП 35/10 кВ, що розташовується за 3,04 км від цукрового заводу. Тому порівняння буде здійснюватися на основі 2 варіантів схем електроживлення:

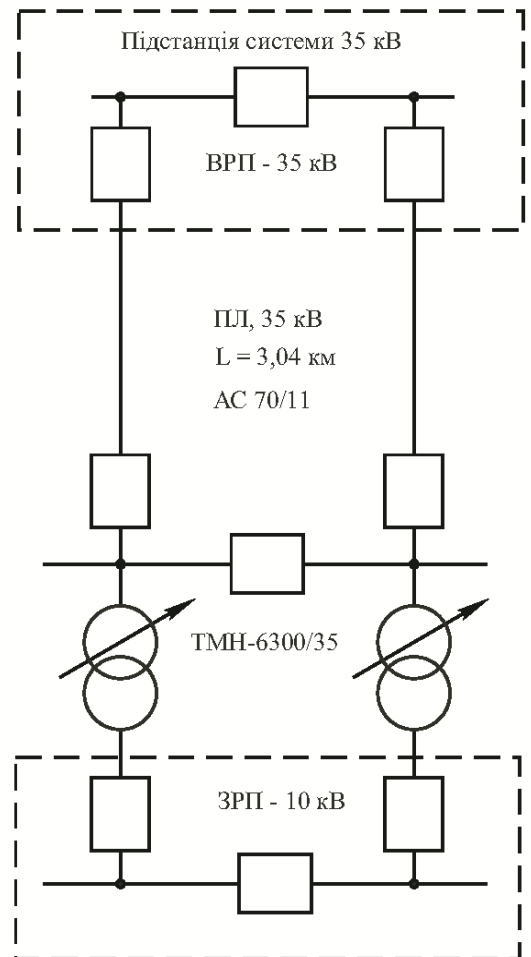
1. Схема електроживлення КЛ напругою 10 кВ.
2. Схема електроживлення ПЛ 35 кВ та ГЗП 35/10 кВ.

Варіант 1. Електропостачання заводу електровимірювальних приладів буде здійснюватися кабельними лініями напругою 10 кВ (рис. 3.1 а).

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата					26



Зовнішнє електропостачання заводу електро. приладів варіант на 10 кВ



Зовнішнє електропостачання заводу електро. приладів варіант на 35 кВ

Рисунок 3.1 Схема зовнішнього електропостачання заводу електро. приладів.

Розрахункове значення струму, схема електроживлення КЛ напругою 10 кВ:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{7484,7}{\sqrt{3} \cdot 10} = 432,09 \text{ А}$$

Обираємо, для першого варіанту, до встановлення 2 КЛ марки АСБ-10 (3x150).

Даний кабель має наступні паспортні дані для обраної КЛ: $I_{доп} = 340 \text{ А}$, $\Delta P_{1км} = 56 \text{ кВт/км}$, $K_{КЛ} = 1218,2 \text{ тис. грн./км}$.

Оцінка працездатності обраної кабельної лінії (КЛ) в умовах нормального режиму експлуатації проводиться з урахуванням теплового навантаження, яке виникає внаслідок протікання струму:

$$I_p = 90,51 \text{ А} \leq K_n I_{доп} = 0,92 \cdot 340 = 312,8 \text{ А}$$

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

Перевірка кабельної лінії марки АСБ-10 (3х150) в умовах аварійного режиму здійснюється на відповідність допустимому тепловому навантаженню становить:

$$I_{p.av} = 2I_p = 2 \cdot 216,05 = 432,1 \text{ A} \leq K_{an} K_n I_{don} = 1,25 \cdot 1 \cdot 340 = 425 \text{ A}$$

Отже, КЛ типу АСБ-10(3х150) відповідає усім критеріям перевірки як у нормальному, так і в аварійному режимах експлуатації за умовою допустимого нагріву.

Коеф. завантаження КЛ АСБ-10(3х150) становитиме в нормальному режимі:

$$K_3 = \frac{I_p}{I_{don}} = \frac{216,1}{340} = 0,64$$

Втрати активної складової потужності в обраній заводській КЛ АСБ-10:

$$\Delta P_{кл} = \Delta P_{1кл} l_{\Sigma} K_3^2 = 56 \cdot 6,08 \cdot 0,4096 = 139,46 \text{ кВт}$$

Втрати електроенергії в обраній заводській КЛ АСБ-10(3х150):

$$\Delta W_{л} = \Delta P_{л} \tau = 139,46 \cdot 3262,44 = 454979,88 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Вартість втрат електроенергії в прийнятій заводській КЛ АСБ-10(3х150):

$$C_{втр} = \Delta W_{\Sigma} C_o = 454979,88 \cdot 8,502 \cdot 0,001 = 3868,24 \text{ тис.грн}$$

Результати про розрахунок капітальних вкладень заводу електровимірювальних приладів в зовнішню схему на 10 кВ електропостачання за варіантом № 1 приведені (табл. 3.1).

Таблиця 3.1. Результати розрахунку для заводу електровимірювальних приладів капітальних вкладень для варіанту схеми на 10 кВ для № 1

№	Назва елемента схеми постачання	Од. вим	Кількість	Вартість	Всього
1	КЛ 10 кВ	км	6,08	1218,2	7406,656
2	Траншея	км	3,04	139,1	422,864
3	Шафи КРП серії КУ-10	шт.	2	642,7	1285,4
Всього					9114,92

Розрахунок поточних витрат для заводу електровимірювальних приладів обраному варіанту 1 на 10 кВ наведено в табл.3.2.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		28

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

№ з/п	Назва елемента схеми постачання	K_j , тис.грн.	P_{aj} , %	C_{aj} , тис.грн.	P_{ej} , %	C_{aj} , тис.грн.	C_j , тис.грн.
1	КЛ 10 кВ	7406,656	5	370,3328	5	370,3328	740,6656
2	Траншея	422,864	5	21,1432	5	21,1432	42,2864
3	Шафи КРП серії КУ-10	1285,4	15	192,81	5	64,27	257,08
Всього							1040,032

До ланцюга згідно схеми та необхідності входить вимикач та КЛ. Надійність для даних елементів вимикач та КЛ наступні:

- вимикач на 10 кВ має: $T_e = 0,45$, $\lambda_a = 4 \cdot 10^{-3} \frac{1}{\text{рік}}$, $K_n = 2 \cdot 10^{-3} \text{ в.о.};$

- КЛ 10 кВ має: $T_e = 0,2128 \cdot 10^{-3} \text{ рік}$, $\lambda_a = 0,243 \frac{1}{\text{рік}}$, $K_n = 0,2736 \cdot 10^{-4}.$

Параметр потоку відмов для 1-го ланцюга ел.схеми приладобудівного заводу:

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i = 0,004 + 0,2432 = 0,2472 \text{ 1/рік}$$

Середній час відновлення 1-го ланцюга для ел.схеми заводу має:

$$T_e = \frac{\sum \lambda_i T_{ei}}{\lambda} = \frac{(0,004 \cdot 0,00045 + 0,2432 \cdot 0,0002128)}{0,2472} = 0,000216 \text{ рік}$$

Коеф. планового простою 1-го ланцюга ел.схеми приладобудівного заводу:

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

Коеф. аварійного простою 1-го ланцюга ел.схеми приладобудівного заводу:

$$K_a = \lambda T_e = 0,2472 \cdot 0,0002176 = 0,0000535$$

Коефіцієнт планового простою у випадку коли 1-й ланцюг в плановому ремонті а 2-й в аварійному стані (пошкодження).

$$K_{an} = 0,5 \lambda K_n^2 = 0,5 \cdot 0,2472 \cdot 0,00000576 = 0,000000711936$$

Коеф. аварійного простою для варіанту 2-х ланцюгів кола:

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

$$K_a^{(2)} = K_a^2 + 2K_{an} = 0,000000002867 + 2 \cdot 0,0000007119 = 0,0000014267$$

Середньорічний час аварійного простою електрообладнання за річний період:

$$T_a = K_a^{(2)} \cdot 8760 = 0,0000014267 \cdot 8760 = 0,0125$$

Очікуваний збиток по заводу електровимірювальних приладів від аварійного недовідпуску ел.енергії:

$$Y = Y_0 P_{cp} T_a = 378 \cdot 4,11 \cdot 0,0125 = 19,42 \text{ тис.грн.}$$

Зведені витрати для вар. №1 для на 10 кВ по приладобудівного заводу:

$$Z_i = E_n K_i + C_i + C_{emp.i} + Y_i =$$

$$= 0,12 \cdot 9114,92 + 1040,032 + 3868,24 + 19,72 = 6021,48 \text{ тис.грн./ рік}$$

Аналогічним виконаємо розрахунки для варіанту №2, на 35 кВ, для нашого заводу електровимірювальних приладів. Для порівняння варіантів №1 і №2 розрахункові дані зводимо до табл. 3.3.

Таблиця 3.3. Техніко-економічні показники 1 і 2-го варіантів схем електропостачання для заводу електровимірювальних приладів

Техніко-економічні показники	Варіанти	
	1-й на 10 кВ	2-й на 35 кВ
Капітальні вкладення	9114,92	10529,14
Поточні витрати	1040,032	2080,57
Вартість втрат ел.енергії	3868,24	2960,14
Збиток	19,42	33,48
Зведені витрати	6021,48	6337,68

Аналіз даних, наведених у таблиці 3.3, свідчить про те, що сумарні приведені витрати для варіанту зовнішнього електропостачання на напругу 10 кВ (варіант №1) є економічно вигіднішими порівняно з варіантом №2, який передбачає підключення до мережі 35 кВ. З огляду на менші капітальні та експлуатаційні витрати, доцільним є вибір схеми на 10 кВ. Таким чином, для подальших техніко-економічних розрахунків приймається варіант №1 як базовий.

3.2. Вибір напруги та схеми внутрішнього електропостачання заводу електровимірювальних приладів

Порівняльний аналіз варіантів показав, що магістральна схема розподілу електроенергії має переваги з точки зору економічної доцільності. Водночас радіальна схема забезпечує вищий рівень надійності електропостачання, що є критичним фактором для безперервної роботи підприємства. Враховуючи пріоритетність стабільності та безаварійності енергопостачання для заводу електровимірювальних приладів, для подальшого проектування обрано радіальну схему як основну.

Електрична схема внутрішнього живлення заводу електровимірювальних приладів показана на рисунку 3.2.

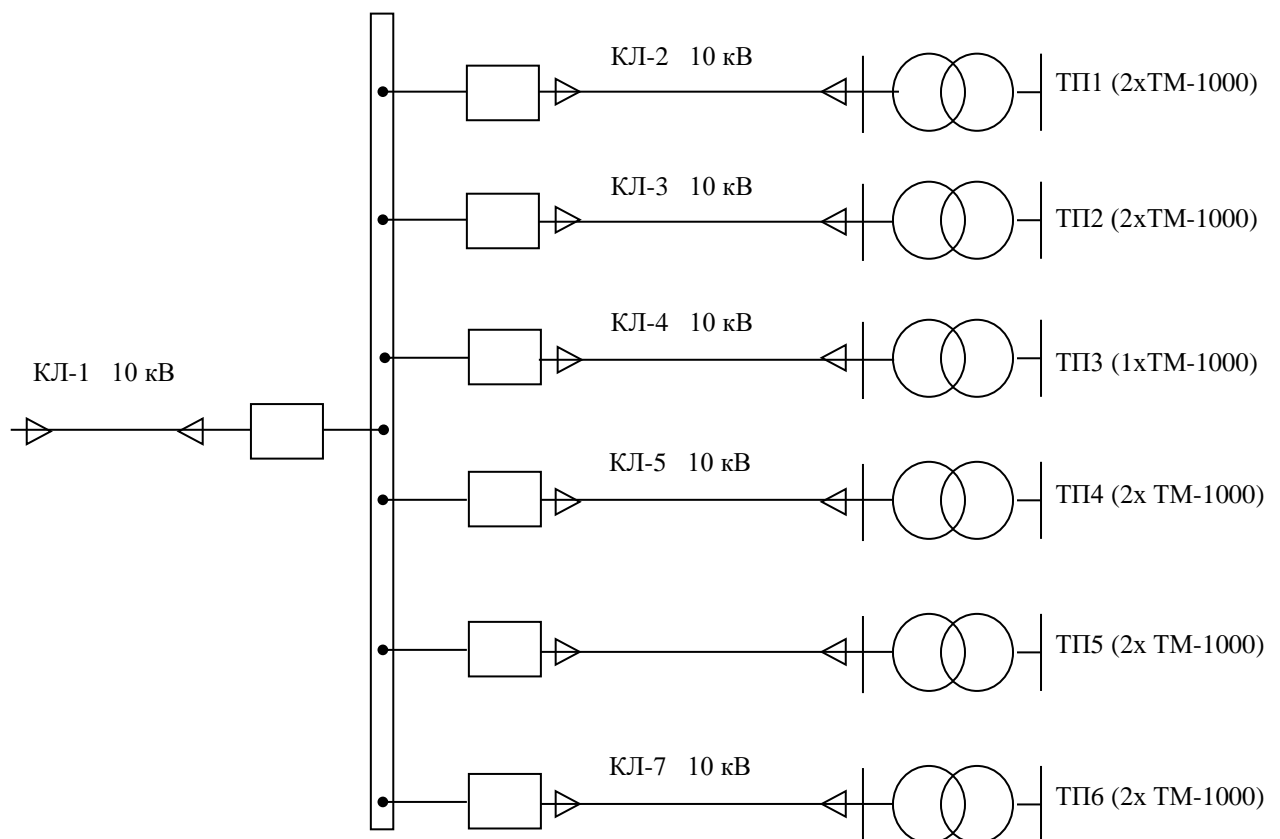


Рисунок 3.2 - Схема внутрішнього електропостачання заводу електровимірювальних приладів

4. Режими реактивної потужності системи електропостачання заводу електровимірювальних приладів

4.1 Розрахунок балансу реактивної потужності на заводі електровимірювальних приладів.

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

Сумарне низьковольтне електричне навантаження приладобудівного заводу:

$$P_n = \sum P_{ТП} = 7315,27 \text{ кВт}$$

$$Q_n = \sum Q_{ТП} = 6201,6 \text{ кВАр}$$

Сумарні втрати в цехових КТП приладобудівного заводу складають:

$$\Delta P_m = \sum \Delta P_{ТП} = 85,94 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_m = \sum \Delta Q_{ТП} = 448,94 \text{ кВАр}$$

Сумарне високовольтне навантаження приладобудівного заводу приймаємо:

$$\Delta P_\delta = \sum \Delta P_{BH} = 0 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_\delta = \sum \Delta Q_{BH} = 0 \text{ кВАр}$$

Сумарне споживання активної потужності приладобудівного заводу має:

$$P_p = P_n + \Delta P_m + P_\delta - P_{сз} = 7315,27 + 85,94 + 0 = 7401,21 \text{ кВт},$$

Сумарне споживання реактивної потужності приладобудівного заводу має:

$$Q_p = Q_n + \Delta Q_m + Q_\delta - Q_{сд} = 6201,6 + 448,94 + 0 = 6650,54 \text{ кВАр}$$

Реактивна потужність, що споживає завод від системи:

$$Q_e = P_p \cdot \text{tg} \varphi_c = 7401,21 \cdot 0,15 = 1110,18 \text{ кВАр}$$

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

Потужність компенсуючих пристроїв приладобудівного заводу становить:

$$Q_{КП} = Q_p - Q_e = 6650,54 - 1110,18 = 5540,9536 \text{ кВАр}$$

Мінімальна кількість трансформаторів приладобудівного заводу повино бути:

$$N_0 = \frac{P_n}{\beta \cdot S_{ном}} = \frac{7315,27}{0,7 \cdot 1000} = 10,45 \approx 11 \text{ шт.}$$

Розглянемо варіанти з різною кількістю комплектних трансформаторів для заводу електровимірювальних приладів наступні: $N_T = N_0$, $N_T = N_0 + 1$, $N_T = N_0 + 2$.

Варіант 1. Кількість заводських комплектних КТП для приладобудівного заводу $N = N_0 = 11$ шт. Реактивна потужність, що може бути передана із мережі 10 кВ в мережу 0,4 кВ:

$$Q_1 = \sqrt{(N \cdot \beta \cdot S_{ном})^2 - (P_n + \Delta P_m)^2} = \\ = \sqrt{(11 \cdot 0,7 \cdot 1000)^2 - 7401,21^2} = 2124,17 \text{ кВАр}$$

Потужність КП, прийнята приладобудівному заводу для мережі до 1 кВ:

$$Q_{КН} = (Q_n + \Delta Q_m) - Q_1 = 6650,54 - 2124,17 = 4526,37 \text{ кВАр}$$

Потужність КП, прийнята приладобудівному заводу для мережі 10 кВ:

$$Q_{КВ} = Q_{КП} - Q_{КН} = 5540,36 - 4526,37 = 1013,99 \text{ кВАр}$$

Розрахунок потужності необхідних КП для варіантів з 11,12 та 13 кількістю заводських КТП $N_T = N_0 + 1$, $N_T = N_0 + 2$ виконується аналогічно і привод. у таб 4.1.

Таблиця 4.1. Результати розрахунку необхідної потужності компенсуючих пристроїв для приладобудівному заводу

Номер варіанту	Кількість заводських тр-торів	Q_1 ,	$Q_{КН}$,	$Q_{КВ}$, квар
	шт	кВАр	кВАр	кВАр
1	11	3204,74	1305,44	2606,11
2	12	4745,56	0	3911,55
3	13	5979,16	0	3911,55

4.2 Вибір кількості, потужності та місця розташування компенсуючих пристроїв на заводі електровимірювальних приладів

Розрахунок потужн. ком пенс. пристроїв, що будуть впроваджені на приладобудівному заводі, 0,4 кВ та 10 кВ для 3-х вар. приведено в табл. 3.2.2 – 3.4.4.

Таблиця 4.2.1 Вибір БК при кількості КТП заводу $N_m = N_0 = 11$

Ном	К-сть т-рів	P_p	Q_p	Q_{np}	$Q_{кп}$	Кількість та потужність БК, шт.	Сума $Q_{БК}$	$Q_{кп}-Q_{бк}$	K_3	S_p
КТП	шт	кВт	кВАр	кВАр	кВАр	шт та кВАр	кВАр	кВАр		кВА
ТП 1-3	5	3442,88	2807,63	629,74	2177,89	4·402; 1·536;	2144	33,89	0,7	3506,255
ТП 4	2	1470,92	1330,11	0	1330,11	1·67; 2·536;	1139	191,11	0,74	1483,283
ТП 5	2	1404,18	1276,05	0	1276,05	1·67; 2·536;	1139	137,05	0,71	1410,852
ТП 6	2	1445,61	1236,74	0	1236,74	1·50; 2·536	1122	114,74	0,73	1450,156

БК на низькій стороні напруги 0,4 кВ приладобудівного заводу $Q_{кн} = 5544$ кВар. БК на високій стороні напруги 10 кВ приладобудівного заводу $Q_{кв} = 0,0$ квар.

Таблиця 4.2.2. Вибір БК при кількості КТП заводу $N_m = N_0 + 1 = 12$

Ном	К-сть т-рів	P_p	Q_p	Q_{np}	$Q_{кп}$	Кількість та потужність БК, шт.	Сума $Q_{БК}$	$Q_{кп}-Q_{бк}$	K_3	S_p
КТП	шт	кВт	кВАр	кВАр	кВАр	шт та кВАр	кВАр	кВАр		кВА
ТП 1-3	6	3442,88	2807,63	2405,5	402,1	2·200;	400	2,1	0,7	4201,203
ТП 4	2	1470,92	1330,11	0	1330,11	1·67; 2·536;	1139	191,11	0,74	1483,283
ТП 5	2	1404,18	1276,05	0	1276,05	1·67; 2·536;	1139	137,05	0,71	1410,852
ТП 6	2	1445,61	1236,74	0	1236,74	1·50; 2·536;	1122	114,74	0,73	1450,156
ТП6	2	1232,1	780,6	664,78	115,82	1·67;	67	48,82	0,71	1423,831
ТП7	1	602,54	511,73	356,29	155,44	1·133	133	22,44	0,71	711,6817

Бат.конденсаторів на низькій стороні 0,4 кВ приладобудівного заводу $Q_{кн} = 3800$ кВар. БК на високій стороні 10 кВ приладобудівного заводу $Q_{кв} = 1800$ квар.

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

Таблиця 4.2.3. Вибір БК при кількості КТП заводу $N_m = N_0 + 2 = 13$

Ном	К-сть т-рів	P_p	Q_p	Q_{np}	$Q_{кп}$	Кількість та потужність БК, шт.	Сума $Q_{БК}$	$Q_{кп}-Q_{бк}$	K_3	S_p
КТП	шт	кВт	кВАр	кВАр	кВАр	шт та кВАр	кВАр	кВАр		кВА
ТП 1-3	6	3442,88	2807,63	2405,53	402,1	2·200;	400	2,1	0,7	4201,203
ТП 4	3	1470,92	1330,11	1498,8	0		0	0	0,66	1983,128
ТП 5	2	1404,18	1276,05	0	1276,05	1·67; 2·536;	1139	137,05	0,71	1410,852
ТП 6	2	1445,61	1236,74	0	1236,74	1·50; 2·536	1122	114,74	0,73	1450,156

БК на низькій стороні 0,4 кВ, приладобудівного заводу, $Q_{кн} = 2661$ кВар. БК на високій стороні 10 кВ, приладобудівного заводу, $Q_{кв} = 3300$ квар.

Розрахунок приведених витрат на компенсацію для 1-го варіанту по заводу з кількістю заводських КТП трансформаторів $N_T = N_0$ наведено нижче.

Втрати активної потужності в низьковольтних КП приладобудівного заводу:

$$\Delta P_{кн} = P_{ПІТ}^{кн} \cdot Q_{кн} = 0,0045 \cdot 5544 = 24,95 \text{ кВт}$$

Втрати активної потужності в високовольтних КП приладобудівного заводу:

$$\Delta P_{кв} = P_{ПІТ}^{кв} \cdot Q_{кв} = 0,003 \cdot 0 = 0,0 \text{ кВт}$$

Втрати активної потужності в КТП для приладобудівного заводу, які викликані передачею реактивної потужності матимуть значення:

$$\Delta P_{ТП} = \frac{P_{нн}^2 + Q_1^2}{U_H^2} R_T \cdot 10^{-3} = \frac{7315,27^2 + 2124,17^2}{10^2} \cdot 0,08 \cdot 0,001 = 46,42 \text{ кВт}$$

Звідси екв.опір $R_{екв} = \frac{\Delta P_K \cdot U_{ном}^2}{N \cdot S_{ном}^2} \cdot 10^3 = \frac{8,6 \cdot 10^2}{11 \cdot 1000^2} \cdot 1000 = 0,08 \text{ Ом}$

Вартість заводських КП на стороні 0,4 кВ для приладобудівного заводу:

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

$$K_{KH} = \sum_{i=1}^n N_{KH_i} \cdot K_{KH_i} =$$

$$= 1 \cdot 29,99 + 2 \cdot 33,43 + 4 \cdot 109,49 + 7 \cdot 132,34 = 1461,21 \text{ тис.грн.}$$

Вартість заводських КП на стороні 10 кВ для приладобудівного заводу:

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

Вартість заводських КТП для приладобудівного заводу становить:

$$K_{КТП} = N_{КТП(2)} \cdot K_{КТП(2)} + N_{КТП(1)} \cdot K_{КТП(1)} =$$

$$= 5 \cdot 1637,37 + 1 \cdot 955,74 = 9142,6 \text{ тис.грн.}$$

Приведені витрати, для заводу електровимірювальних приладів, на компенсацію реактивної потужності:

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

$$= 0,12 \cdot (1461,21 + 0 + 9142,6) + 8,502 \cdot (24,95 + 0 + 46,42) \cdot 10^{-3} =$$

$$= 3252,07 \text{ тис.грн.}$$

Розрахунок приведених витрат для приладобудівного заводу на компенсацію реактивної потужності для варіантів з кількістю комплектних трансформаторів $N_T = 12$ шт. та $N_T = 13$ шт. проводиться аналогічно. Результати проведених розрахунків для заводу наведено до табл. 4.2.4.

Таблиця 4.2.4. Результати розрахунків загальних приведених витрат по заводу електровимірювальних приладів на компенсацію реактивної потужності

Номер вар.	Q_{KH}	ΔP_{KH}	Q_{KB}	ΔP_{KB}	N_{TP}	$R_{екв}$	$S_{пр}$	$\Delta P_{ТП}$	K_{KH}	K_{KB}	$K_{ТП}$	Z
	кВАр	кВт	кВАр	кВт	шт.	Ом	кВАр	кВт	тис.грн.	тис.грн.	тис.грн.	тис.грн.
1	5544	25	0	0	11	0,08	7617,43	46,42	1461,2	0	9142,6	3252,1
2	3800	17,1	1800	5,4	12	0,07	8324,38	48,51	1056,9	361,24	9824,2	3318,7
3	2661	12	3300	9,9	13	0,07	9030,24	57,08	758,74	384,54	10780	3620,7

З розрахунків видно, що витрати 1-й варіант є мінімальними. Тому його і приймаємо для подальших розрахунків заводу електровимірювальних приладів.

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

6. Розрахунок струмів короткого замикання та вибір високовольтного електрообладнання заводу електровимірювальних приладів

У шостому розділі дипломної роботи детально розглядаються питання визначення струмів короткого замикання та обґрунтованого вибору високовольтного електрообладнання для системи електропостачання заводу електровимірювальних приладів.

Для вирішення поставлених задач використаємо матеріал, що описаний в [1]

6.1. Розрахунок струмів коротких замикань в системі живлення заводу електровимірювальних приладів

На основі розрахункової схеми електропостачання заводу електровимірювальних приладів формується відповідна схема заміщення (рис. 6.1.1), яка є спрощеною моделлю електричної мережі для аналізу режимів короткого замикання. Схема заміщення представляє собою еквівалентну електричну схему, де кожен елемент системи електропостачання замінюється відповідним електричним опором (рис. 6.1.2). Проведемо розрахунок активних та реактивних опорів елементів системи електропостачання.

Активний та індуктивний опори системи ел.постачання приладобудівного заводу

$$X_c = \frac{U_c^2}{S_{к.з}} = \frac{10,5^2}{44,12} = 2,499 \text{ Ом}$$

$$R_c = \frac{X_c}{25} = \frac{2,499^2}{25} = 0,1 \text{ Ом}$$

Опори (акт. та індук.) для системи ел.постачання приладобудівного заводу для ПЛ 10 кВ (кабель марки АСБ (3x150) загальною довжиною мережі 3,04 км):

$$R_{кл} = \frac{r_0 \cdot l}{n_{кл}} = \frac{0,206 \cdot 3,04}{1} = 0,626 \text{ Ом}$$

$$X_{кл} = \frac{x_0 \cdot l}{n_{кл}} = \frac{0,079 \cdot 3,04}{1} = 0,24 \text{ Ом}$$

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		38

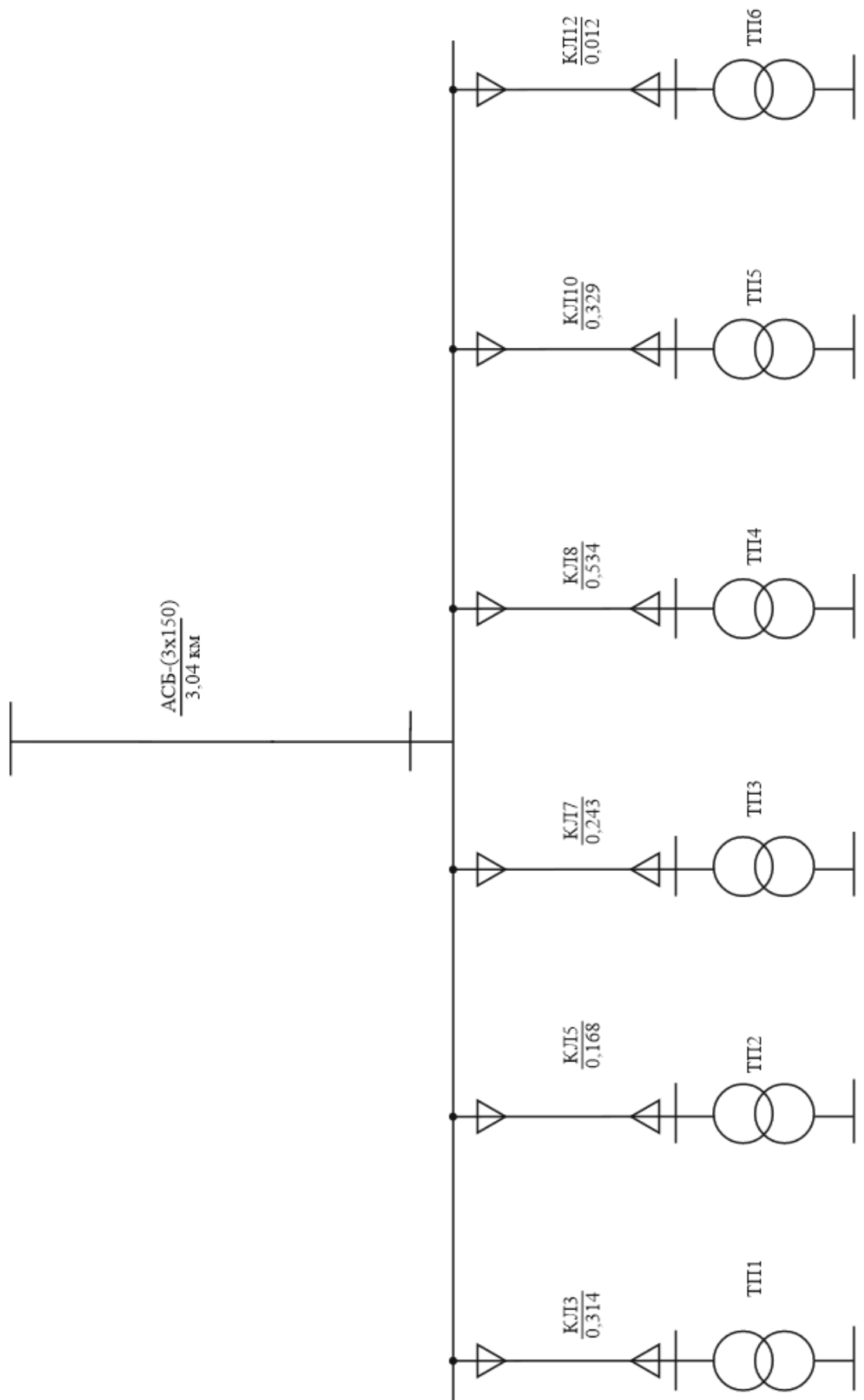


Рисунок 6.1.1 Схема заміщення для розрахунку струмів к.з. по ел.системі заводу

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата

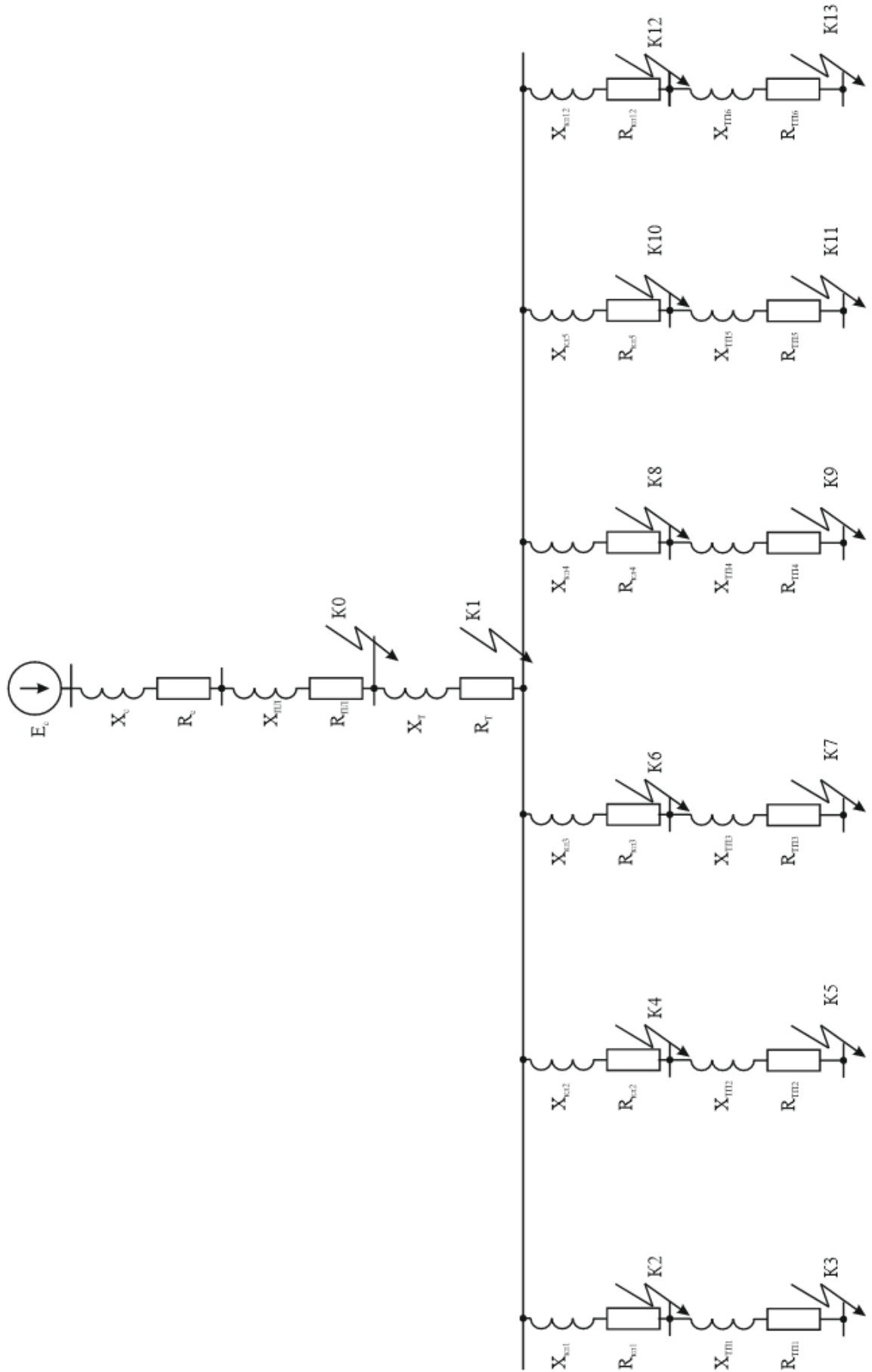


Рисунок 6.1.2. Схема заміщення для розрахунку струмів к. з. по ел.мережі заводу

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата

Загальний опір електричного кола, виміряний до контрольної точки К1, враховує суму активних та реактивних складових усіх ділянок мережі:

$$X_{K1} = X'_{K0} + X_m = 2,499 + 0,24 = 2,739 \text{ Ом}$$

$$R_{K1} = R'_{K0} + R_m = 0,1 + 0,6262 = 0,726 \text{ Ом}$$

$$Z_{K1} = \sqrt{R_{K1}^2 + X_{K1}^2} = \sqrt{0,726^2 + 2,739^2} = 2,834 \text{ Ом}$$

Пікове (надперехідне) значення струму короткого замикання в контрольній точці К1, що надходить безпосередньо від джерела живлення, становить:

$$I''_{K1(c)} = \frac{U_{\text{ср.ном.}}}{\sqrt{3}Z_{K1}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 2,834} = 2,14 \text{ кА}$$

Часова постійна (стала часу) електричного кола в точці К1, що характеризує швидкість згасання аперіодичної складової струму к.з., має наступне значення:

$$T_{a1} = \frac{X_{K1}}{\omega R_{K1}} = \frac{2,739}{3,14 \cdot 0,726} = 0,012 \text{ с}$$

Значення ударного коеф. (коефіцієнта імпульсності) в контрольній точці К1:

$$k_{y\partial 1} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{a1}}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,012}} = 1,435$$

Ударний струм в точці К1 матиме значення:

$$i_{y\partial 1(c)} = \sqrt{2}k_{y\partial} I''_{K1(c)} = \sqrt{2} \cdot 1,435 \cdot 2,14 = 4,34 \text{ кА}$$

На наступному етапі визначення параметрів струмів короткого замикання виникає потреба у попередньому виборі силових кабелів, які з'єднують головну розподільчу підстанцію з трансформаторними пунктами цехів і споживачами високовольтного рівня. Зокрема, виконаємо техніко-обґрунтований підбір кабельної лінії від секції низької напруги (10 кВ) центрального розподільчого пункту (ЦРП) до трансформаторної підстанції ТП-1. Підбір інших ліній виконується за аналогічною методикою з урахуванням індивідуальних

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		41

навантажень та довжин трас. Результати вибору кабельних ліній 10 кВ приладобудівного заводу приведені в таблиці 6.1.1.

Значення розрахункового (робочого) струму, яке повинна передавати кабельна лінія в нормальному режимі експлуатації, визначається за формулою:

$$I_p = \frac{S_p}{n\sqrt{3}U_{cp.ном}} = \frac{1402,5}{2 \cdot 1,73 \cdot 10,5} = 38,56 \text{ A}$$

Розрахована площа поперечного перерізу струмопровідної жили кабельної лінії, що прокладається для електропостачання заводу, становить:

$$F_{ек} = \frac{I_p}{j_{ек}} = \frac{38,56}{1,4} = 27,54 \text{ мм}^2$$

Величину теплового імпульсу, що виникає внаслідок протікання струму короткого замикання, визначають за наступним виразом:

$$B_{\kappa} = I_{K1}^2 (t_{p.з.min} + T_a) = 2,14^2 (1,365 + 0,021) = 6,31 \text{ кА}^2\text{с}$$

Розрахункове мінімальне значення площі поперечного перерізу струмопровідної жили вибраної кабельної лінії, необхідне для забезпечення термічної стійкості при короткому замиканні, становить:

$$F_{min} = \frac{1}{C} \sqrt{B_{\kappa}} = \frac{1}{94} \sqrt{6,31 \cdot 10^3} = 26,72 \text{ мм}^2$$

Вибираємо кабель для встановлення марки ААШв-10(3х35)

Загальні електричні параметри кабельної лінії, а саме її активний та індуктивний опори, розраховуються за довжиною траси та конструктивними характеристиками кабелю. Отже, для обраної кабельної лінії значення активного та індуктивного опорів становлять відповідно:

$$R_{кл} = r_0 \cdot l_{кл} = 0,89 \cdot 0,071 = 0,063 \text{ Ом}$$

$$X_{кл} = x_0 \cdot l_{кл} = 0,095 \cdot 0,071 = 0,007 \text{ Ом}$$

Параметри КЛ, приладобудівного заводу напругою $U=10$ кВ (табл. 6.1.1).

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

Таблиця 6.1.1. Параметри КЛ 10 кВ приладобудівного заводу

Номер	l ,	r_0 ,	x_0 ,	R ,	X , Ом
КЛ	км	Ом/км	Ом/км	Ом	Ом
1,2	3,040	0,206	0,079	0,626	0,240
3,4	0,071	0,890	0,095	0,063	0,007
5,6	0,064	0,890	0,095	0,057	0,006
7	0,057	0,890	0,095	0,051	0,005
8,9	0,023	0,890	0,095	0,020	0,002
10,11	0,156	0,890	0,095	0,139	0,015
12,13	0,029	0,890	0,095	0,026	0,003

Загальні опори (повний, активний і індуктивний), що сумарно характеризують електричний шлях до контрольної точки К2:

$$X_{K2} = X_{K1} + X_{кл} = 2,739 + 0,007 = 2,746 \text{ Ом}$$

$$R_{K2} = R_{K1} + R_{кл} = 0,726 + 0,063 = 0,789 \text{ Ом}$$

$$Z_{K2} = \sqrt{R_{K2}^2 + X_{K2}^2} = \sqrt{0,789^2 + 2,746^2} = 2,857 \text{ Ом}$$

Величина надперехідного струму, що виникає у точці К2 при к.з., розрах. з урахуванням початкової фази струму та індуктивних властивостей мережі:

$$I_{K2}'' = \frac{U_{\text{ср.ном.}}}{\sqrt{3}Z_{K2}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 2,857} = 2,12 \text{ кА}$$

Параметр стала часу T_{a2} у точці К2, що характеризує швидкість затухання нерівноважної (пускової) складової струму короткого замикання:

$$T_{a2} = \frac{X_{K2}}{\omega R_{K2}} = \frac{2,746}{3,14 \cdot 0,789} = 0,01111 \text{ с}$$

Ударний коефіцієнт $k_{уд2}$, що характеризує співвідношення амплітуди надперехідного струму до його сталого значення у точці К2, розраховується:

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

$$k_{y\partial 2} = 1 + e^{\frac{-0.01}{T_{a2}}} = 1 + e^{\frac{-0.01}{0,0111}} = 1,406$$

Значення ударного струму в точці К2 визначається:

$$i_{y\partial 2} = \sqrt{2} k_{y\partial} I_{K2}'' = \sqrt{2} \cdot 1,406 \cdot 2,12 = 4,22 \text{ кА}$$

Параметри електричних опор трансформаторної підстанції ТП1 (марки ТМ-1000/10), що включають активний та індуктивний опір, мають ключове значення для розрахунку мережі та коротких замикань.

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

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

Сумарні опори електричного кола до контрольної точки К3 розраховуються шляхом послідовного або паралельного додавання відповідних опор окремих мережі:

$$X_{K3} = (X_{K2} + X_{mp}) \left(\frac{U_{нн}}{U_{вн}} \right)^2 = (2,746 + 6,064) \left(\frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 0,0128 \text{ Ом}$$

$$R_{K3} = (R_{K2} + R_{mp}) \left(\frac{U_{нн}}{U_{вн}} \right)^2 = (0,789 + 0,948) \left(\frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 0,0025 \text{ Ом}$$

$$Z_{K3} = \sqrt{R_{K3}^2 + X_{K3}^2} = \sqrt{0,0025^2 + 0,0128^2} = 0,013 \text{ Ом}$$

Величина надперехідного струму у точці К3 визначається:

Максимальне значення, точці К3, надперехідного струму визначається:

$$I_{K3}'' = \frac{U_{cp,ном.}}{\sqrt{3} Z_{K3}} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 0,013} = 17,76 \text{ кА}$$

Стала часу в точці К3 визначається співвідношенням між сумарним індуктивним і активним опором на цій ділянці мережі і розраховується за формулою:

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		44

$$T_{a3} = \frac{X_{K3}}{\omega R_{K3}} = \frac{0,0128}{314 \cdot 0,0025} = 0,0163 \text{ с}$$

Ударний коефіцієнт у точці К3 розраховується за формулою:

$$k_{y\partial 3} = 1 + e^{\frac{-0.01}{T_{a3}}} = 1 + e^{\frac{-0.01}{0,0163}} = 1,541 \text{ с}$$

Ударний струм в т. К3 матиме значення:

$$i_{y\partial 3} = \sqrt{2} k_{y\partial} I''_{K3} = \sqrt{2} \cdot 1,541 \cdot 17,76 = 38,7 \text{ кА}$$

Розрахунок струмів короткого замикання для решти вузлових точок системи електропостачання заводу здійснюється за тією ж методикою, що й для попередньо розглянутих позицій. Підсумкові значення отриманих параметрів зведено у таблицю 6.1.2.

Таблиця 6.1.2. Результати значення струмів к.з. заводської системи електропостачання заводу електровимірвальних приладів

№ точки к.з.	R ,	X ,	I'' ,	T_a ,	$k_{y\partial}$	$i_{y\partial}$,
	Ом	Ом	кА	с		кА
1	0,7260	2,7390	2,14	0,0120	1,435	4,34
2	0,7890	2,7460	2,12	0,0111	1,406	4,22
3	0,0025	0,0128	17,76	0,0163	1,541	38,70
4	0,7830	2,7450	2,12	0,0112	1,409	4,22
5	0,0025	0,0128	17,76	0,0163	1,541	38,70
6	0,7770	0,7310	5,68	0,0030	1,036	8,32
7	0,0025	0,0099	22,64	0,0126	1,452	46,49
8	0,7460	0,7330	5,80	0,0031	1,040	8,53
9	0,0025	0,0099	22,64	0,0126	1,452	46,49
10	0,8650	2,7540	2,10	0,0101	1,372	4,07
11	0,0026	0,0128	17,63	0,0157	1,529	38,12
12	0,7520	2,7420	2,13	0,0116	1,422	4,28
13	0,0025	0,0128	17,76	0,0163	1,541	38,70

6.2. Вибір високовольтних кабелів для заводу електровимірювальних приладів

Виконаємо підбір кабельної лінії напругою 10 кВ, яка з'єднує низьковольтні шини головної заводської підстанції (ГЗП) з трансформаторною підстанцією ТП1.

Розрахунковий струм:

$$I_p = \frac{S_p}{n\sqrt{3}U_{cp.ном}} = \frac{1402,5}{2 \cdot 1,72 \cdot 10,5} = 38,56 \text{ кА}$$

На підставі розрахункової тривалості максимальної роботи протягом $T_{max} = 4846$ год. та допустимої щільності струму $j_{ек} = 1,4$ А/мм², було визначено необхідну площу поперечного перерізу струмопровідної жили кабельної лінії КЛ-1. З урахуванням отриманих значень, до експлуатації обрано кабель типу ААШв-10 з конфігурацією 3x35 мм², номінований на допустимий струм $I_{доп кл} = 115$ А.

Виконаємо перевірку обраної кабельної лінії на відповідність допустимому струмовому навантаженню, що надходить від підключених споживачів:

$$I_p = 40,44 \text{ А} \leq K_n \cdot I_p = 0,92 \cdot 150 = 103,6 \text{ А}$$

Перевірка придатності кабельної лінії за умовами роботи в аварійному режимі виконується шляхом порівняння теплового навантаження, яке виникає під час короткого замикання, з допустимою термічною стійкістю обраного кабелю:

$$I_{ав} = 77,12 \text{ А} \leq K_{ан} \cdot K'_n \cdot I_p = 1,25 \cdot 1 \cdot 115 = 155,25 \text{ А}$$

Розрахункове значення теплового імпульсу, викликаного можливим струмом к.з.:

$$B_k = I_{к1}^2 (t_{п.з.мин} + T_a) = 2,14^2 \cdot (1,365 + 0,0124) = 6,31 \text{ кА}^2\text{с}$$

Мінімально допустиме значення площі поперечного перерізу струмопровідної жили заводської кабельної лінії, визначене відповідно до вимог термічної стійкості при короткому замиканні, обчислюється за наступною залежністю:

$$F_{min} = \frac{1}{C} \sqrt{B_k} = \frac{1}{94} \sqrt{6,31 \cdot 10^3} = 26,72 \text{ кА}^2\text{с}$$

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

А, струм вимкнення - до 20 кА, кліматичне виконання - У2 (призначений для помірного клімату в захищених приміщеннях).

Таблиця 6.3.1. Умови вибору ввідного вимикача на напругу 10 кВ

Умови вибору вимикача	Розрахунок вимикача
$U_{уст} \leq U_{ном}$	$10 \leq 10$
$I_{роб.форс.} \leq I_{ном}$	$432,09 \leq 630$
$I_{к0}'' \leq I_{дин.ст.}$	$2,14 \leq 20$
$i_{ат} \leq \sqrt{2}\beta_n I_{відкл.ном}$	$0 \leq 11,31$
$\sqrt{2}I_{пт} + i_{ат} \leq \sqrt{2}I_{ном.відкл} (1 + \beta_n)$	$1,41 \cdot 2,14 + 0 < 1,41 \cdot 20 \cdot (1 + 0,4)$ $3,03 \leq 39,6$
$I_{пт} \leq I_{дин.ст.}$	$2,14 \leq 52$
$i_{уд} \leq 1,8\sqrt{2}I_{дин.ст.}$	$4,34 \leq 132,37$
$B_k \leq I_{тн}^2 t_{тн}$	$4,83 \leq 1200$

Аналогічний вибір виконано для секційного вимикача у розподільчому пристрої 10 кВ, де також застосовується апарат того ж типу — ВР1-10-20/630 У2.

Крім того, для комутації живлення відхідних кабельних ліній до трансформаторних підстанцій ТП обрано такі ж вакуумні вимикачі ВР1-10-20/630 У2, що забезпечують уніфікацію обладнання, полегшують обслуговування та підвищують надійність системи.

Вибираємо вимикачі навантаження та зводимо до таблиці 6.3.2.

Таблиця 6.3.2. Результати вибору вимикачів навантаження для установки.

Умови вибору	Розрахунок вимикачів навантаження
$U_{уст} \leq U_{ном}$	$10,5 \leq 10,5$
$I_{роб.форс.} \leq I_{ном}$	$0 \leq 400$
$I_{пт} \leq I_{дин.ст.}$	$2,14 \leq 10$
$i_{уд} \leq 1,8\sqrt{2}I_{дин.ст.}$	$4,34 \leq 25,46$
$B_k \leq I_{тн}^2 t_{тн}$	$0,51 \leq 100$

Для реалізації функції роз'єднання та комутації електричного кола в електроустановці, обирається вимикач навантаження марки ВНР-10/400-10зУЗ. Цей

тип вимикача забезпечує надійне роз'єднання струмопровідних частин під навантаженням, а також відповідає умовам експлуатації в мережах напруги (10 кВ).

З метою забезпечення захисту трансформаторної підстанції (ТП) від наслідків коротких замикань, необхідно обрати відповідні плавкі запобіжники. У якості захисного елемента рекомендовано використовувати запобіжники серії ПКТ104-10-200-20УЗ, які ефективно реагують на струми короткого замикання та запобігають пошкодженню обладнання.

Таблиця 6.3.6. Результати вибору високовольтних запобіжників для схеми заводу

Умова вибору апобіжника	Розрахунок апобіжника
$U_{уст} \leq U_{ном}$	$10,5 \leq 10,5$
$2I_{т.ном} \leq I_{п.в.}$	$134,68 \leq 160$
$K_{ч} = \frac{I_{к.з. \min}}{I_{п.в.}} \geq 3$	$\frac{2140}{200} = 10,7 \geq 3$
$I_{к.з.}^{(3)} \leq I_{п.відкл.}$	$2,14 \leq 20$

У результаті виконаних розрахунків було визначено сумарне електричне навантаження по підприємству, яке підключене до трансформаторної (центральної розподільчої) підстанції. Навантаження було згруповане по категоріях надійності та технологічних ділянках, що дозволяє ефективно розподілити його між трансформаторами ТВП або секціями ЦРП. Результати розрахунку електричного навантаження ТВП (ЦРП) по заводу наведено в табл. 6.3.7.

Таблиця 6.3.7 Результати розрахунку електричного навантаження ТВП

№	Вибрані поживачі	$P_{ном}$	n	$P_{сум}$	$\cos\phi$	$\text{tg}\phi$	$P_{уст}$	$Q_{уст}$
		кВт	шт.	кВт			кВт	кВАр
1	Пристрої підігріву комірок КРП	0,6	20	12	0,97	0,25	12	3
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							66	18

Згідно з результатами аналізу потужностей електроспоживачів, підключених до трансформаторної підстанції (ТВП), сумарне встановлене навантаження складає:

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

$$S_{уст} = \sqrt{P_{уст}^2 + Q_{уст}^2} = \sqrt{66,18^2 + 18^2} = 68,41 \text{ кВА}$$

На основі сумарного встановленого навантаження та з урахуванням коефіцієнтів попиту та одночасності, визначено розрахункову потужність трансформаторної підстанції (ТВП). Це навантаження враховує реальні умови експлуатації електроприймачів у типових режимах роботи виробництва:

$$S_p = K_c S_{уст} = 0,8 \cdot 97,6 = 54,73 \text{ кВА}$$

Для забезпечення живлення внутрішніх споживачів підстанції - таких як оперативне освітлення, системи управління, автоматика, обігрів і вентиляція, - прийнято рішення встановити два силові трансформатори власних потреб типу ТМ-40/10. Коефіцієнт завантаження встановленого комірчу ТВП:

$$K_z = \frac{S_p}{n \cdot S_{ном}} = \frac{54,73}{2 \cdot 40} = 0,68$$

6.4. Вибір трансформаторів струму та напруги для заводу електровимірювальних приладів

У таблиці 6.4.1 подано результати розрахунку основних параметрів трансформаторів струму, обраних відповідно до заводських рекомендацій. Ці трансформатори передбачені для встановлення на вводах з напругою 10 кВ і використовуються для підключення релейного захисту та засобів комерційного обліку електроенергії.

Таблиця 6.4.1. Результати вибору трансформаторів струму на вводах 10 кВ електромережі заводу електровимірювальних приладів.

Умова вибору	Параметр ТС	Розрахунок ТС
$U_{уст} \leq U_{ном}$	Номинальна напруга ТС	$10 \leq 10$
$I_{роб.форс} \leq I_{ном}$	Довготривалий номінальний струм ТС	$432,09 \leq 600$
$i_{уд} \leq i_{дин} = \sqrt{2} k_{ед} I_{ном}$	Динамічна стійкість ТС	$4,34 \leq 81$
$B_k \leq I_{тер}^2 t_{тер}$	Термічна стійкість ТС	$4,83 \leq 2976$
$Z_2 \leq Z_{ном}$	Вторинне навантаження ТС	$0,34 \leq 0,4$

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

Для встановлення в комірках збірної розподільчої панелі (ЗРП) на стороні 10 кВ обрано трансформатори струму типу ТЛК-10/600 У1. Зазначені трансформатори призначені для передачі сигналів на релейний захист, автоматику та вимірювальні прилади, а також забезпечують надійний контроль за струмами у високовольтному колі. Основні технічні характеристики трансформатора ТЛК-10/600 У1: Номінальна напруга: 10 кВ; Номінальний первинний струм: 600 А; Клас точності: 0.5; 10Р (залежно від призначення обмотки); Кліматичне виконання: У1 - для експлуатації в помірному кліматі.

Результати розрахунку технічних параметрів трансформаторів струму, які обрані для встановлення на відгалуженнях 10 кВ. Зазначені трансформатори призначені для підключення приладів релейного захисту, а також для забезпечення точного комерційного обліку електроенергії. При виборі трансформаторів струму враховано характер навантаження, розрахункові струми, вимоги до класу точності для вимірювального кола (0.5 або 0.2S - для обліку) та захисного кола (5Р або 10Р - для релейного захисту). Особливу увагу приділено погодженню навантажувальної здатності ТС із характеристиками підключених приладів, з метою забезпечення надійної та безпомилкової роботи систем захисту та точного вимірювання спожитої електроенергії.

Встановлення таких трансформаторів на відгалуженнях 10 кВ дозволяє забезпечити якісний моніторинг параметрів енергопостачання, своєчасне реагування на аварійні режими та достовірний облік електроенергії для комерційних цілей.

Таблиця 6.4.5. Вторинне навантаження ТС на відхідних КЛ 10кВ

Назва обладнання	кількість	Тип	$S_{\text{прил}}, \text{ВА}$		
	шт		Фаза А	Фаза В	Фаза С
Ватметр (прилад)	1	Д335	0,5	-	0,5
Ватметр (прилад)	1	Д304	0,5	-	0,5
Вольтметр (прилад)	1	Е 377	0,1	-	0,1
Лічильник активної енергії	2	230ART2	1,5	-	1,5
Лічильник реактивн. енергії	2	230AR	1,5	-	1,5
Всього			4,1		4,1

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		51

Обираємо для монтажу трансформатор струму ТЛК-10/75 У1.

Під час вибору враховуються такі основні параметри: клас напруги, номінальна напруга первинної та вторинної обмоток, клас точності, тип ізоляції, призначення (вимірювальний чи захисний), кліматичне виконання та умови монтажу. Трансформатори напруги повинні забезпечувати необхідну точність вимірювання, стабільну роботу релейного захисту та відповідати вимогам електробезпеки для мереж 10 кВ.

Зокрема, вибрані моделі мають відповідати умовам експлуатації електроустановок середньої напруги, бути сумісними з приладами комерційного обліку та системами релейного захисту, а також витримувати електродинамічні й теплові навантаження, що виникають при коротких замиканнях.

Таблиця 6.4.7. Результати вибору вторинного навантаження для трансформатора напруги

Прилад	Тип приладу	S	К-сть обмоток	К-сть прил.	S ₂
тип	марка	ВА	шт	шт	ВА
Вольтметр (прилад)	Е 377	2	1	1	2
Лічильник «Альфа»	AIR-3-OL-C2-T	1,8	2	1	3,6
Ватметр (прилад)	Д-335	1,5	1	1	1,5
Варметр (прилад)	Д-304	2	1	1	2
Багатофункц. лічильн.	230ART2	3	2	8	48
Багатофункц. лічильн.	230AR	3	2	8	48
Всього					105,1

Для встановлення в комірку прийнято рішення використовувати два трансформатори напруги типу НАМИ-10-66-У3.

Ці трансформатори призначені для роботи в мережах з номінальною напругою 10 кВ та забезпечують подачу сигналів на вимірювальні прилади та схеми релейного захисту. Тип НАМИ-10-66-У3 відноситься до однофазних трансформаторів напруги з ізоляцією, розрахованою на внутрішнє встановлення в умовах помірного клімату (кліматичне виконання У3).

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

7. Спеціальний розділ. Розробка заходів та способів з енергозбереження для печі опору.

7.1 Установки електронагрівання опором

Електронагрівання опором - це технологічний процес перетворення електричної енергії у теплову внаслідок протікання струму через провідник з певним електричним опором. Основним фізичним принципом, що лежить в основі цього методу, є закон Джоуля-Ленца, згідно з яким кількість теплоти, що виділяється у провіднику, пропорційна квадрату струму, опору провідника та часу проходження струму.

Установки опорного нагрівання поділяються на прямого та непрямого нагрівання: при прямому нагріванні електричний струм проходить безпосередньо через об'єкт нагріву (наприклад, електрошлакове переплавлення або контактне зварювання); при непрямому нагріванні струм проходить через нагрівальний елемент (наприклад, ніхромову спіраль), а теплота передається об'єкту шляхом теплопровідності, конвекції або випромінювання.

Такі установки широко застосовуються в металургії, машинобудуванні, харчовій промисловості та побуті (електропечі, праски, кип'ятильники). До основних переваг опорного нагрівання відносяться: високий ККД, можливість точного регулювання температури, простота конструкції та надійність. Проте слід враховувати й недоліки - зокрема, нерівномірність нагріву у великих об'ємах та обмеження по температурі матеріалу нагрівального елемента [7].

7.2 Класифікація установок електронагрівання опором.

Блок-схема показує комплексну класифікацію установок електронагрівання опором за основними критеріями:

Основні класифікаційні ознаки: за способом нагрівання - прямий та непрямий нагрів; за конструкцією нагрівача - відкриті та закриті нагрівачі; за

										Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата						53

призначенням - термічна обробка та плавлення; за типом контакту - контактний та безконтактний .

Додаткові критерії класифікації: за температурним режимом (низько- та високотемпературні); за потужністю (малої, середньої, великої); за режимом роботи (періодичний, безперервний); за способом керування (ручне, автоматичне).

Ця схема допоможе студентам краще зрозуміти різноманітність установок електронагрівання опором та їх систематизацію за різними технічними характеристиками.

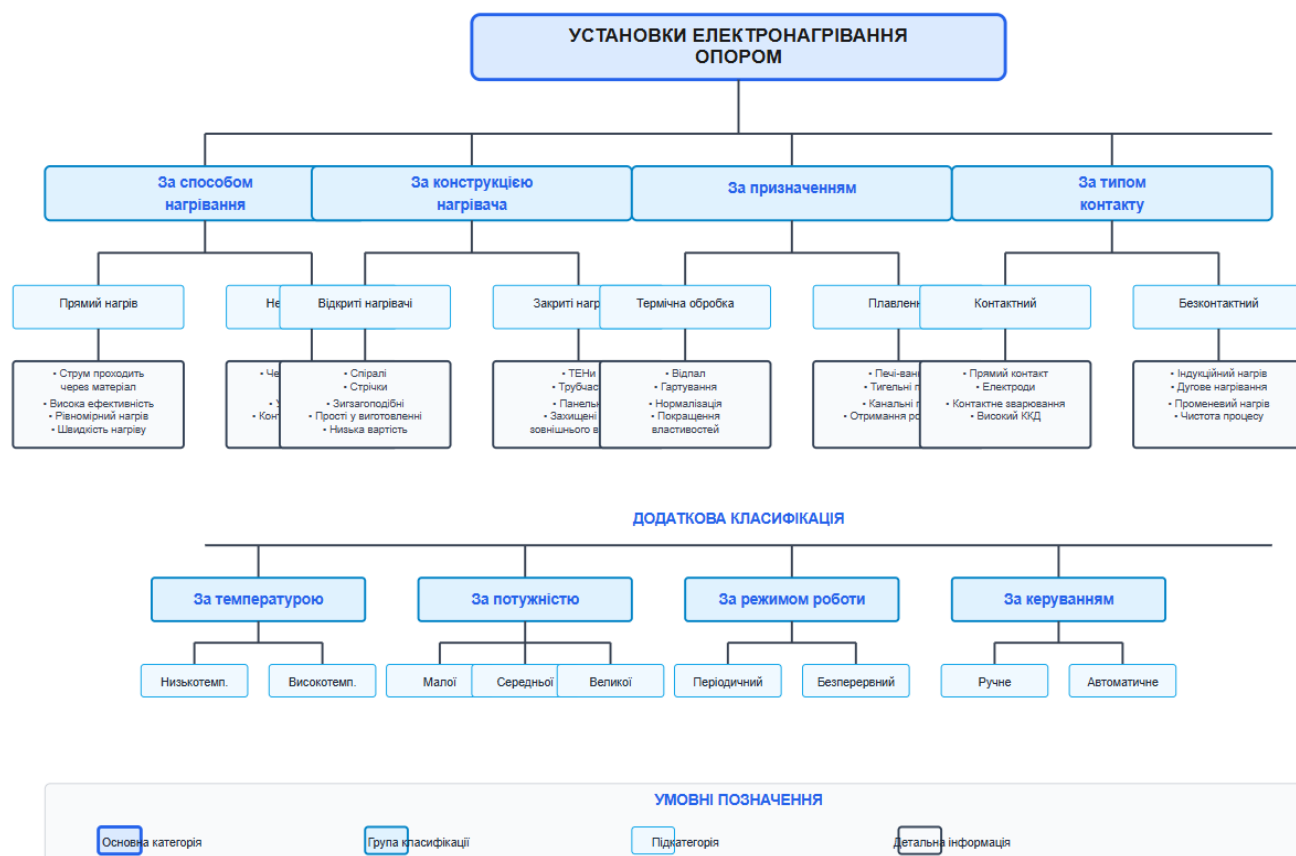


Рисунок 7.1 - Класифікація установок електронагрівання опором.

7.3 Класифікація електричних печей опорому.

Електричні печі опором — це установки, в яких нагрівання матеріалу здійснюється за рахунок теплоти, що виділяється внаслідок проходження електричного струму через нагрівальні елементи з високим питомим опором. Вони широко використовуються у промисловості для термічної обробки металів, випалу кераміки, плавлення скла та інших технологічних процесів [8].

Електропечі опору класифікуються за різними ознаками:

За призначенням: печі термообробки (відпал, загартування, нормалізація); печі для випалу (фарфору, кераміки, вогнетривів); печі для плавлення (скла, кольорових металів); сушильні та лабораторні печі.

За розміщенням нагрівальних елементів: зовнішнього нагріву (нагрівальні елементи не контактують з об'єктом); внутрішнього нагріву (об'єкт знаходиться між елементами або всередині них).

За способом теплопередачі: контактного нагріву (тепло передається безпосередньо через контакт); конвекційного та променевого нагріву.

За типом нагрівального елемента: металеві (ніхром, фехраль); неметалеві (карбід кремнію, графіт).

За температурним режимом: низькотемпературні (до 500 °С); середньотемпературні (500–1200 °С); високотемпературні (1200–1800 °С).

Переваги печей опору — це висока точність регулювання температури, екологічність, відсутність відкритого полум'я та компактність. Завдяки цим характеристикам вони займають важливе місце у сучасному електротермічному виробництві.

7.4 Установки електронагрівання опором як приймачі електричної енергії

Установки електронагрівання опором є специфічним типом електроприймачів, які перетворюють електричну енергію безпосередньо на теплову завдяки ефекту Джоуля-Ленца. Як споживачі електроенергії, такі установки мають свої характерні особливості, що впливають на режим роботи електричних мереж [7,8].

Ці установки класифікуються як активні навантаження, оскільки споживають практично лише активну потужність, із мінімальними реактивними складовими. Коефіцієнт потужності для опорного нагріву зазвичай близький до

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

Таким чином, як електроприймачі, установки електронагрівання опором характеризуються стабільним, передбачуваним споживанням енергії, високим коефіцієнтом корисної дії та простотою в експлуатації, що робить їх ефективними для широкого спектра технологічних задач.

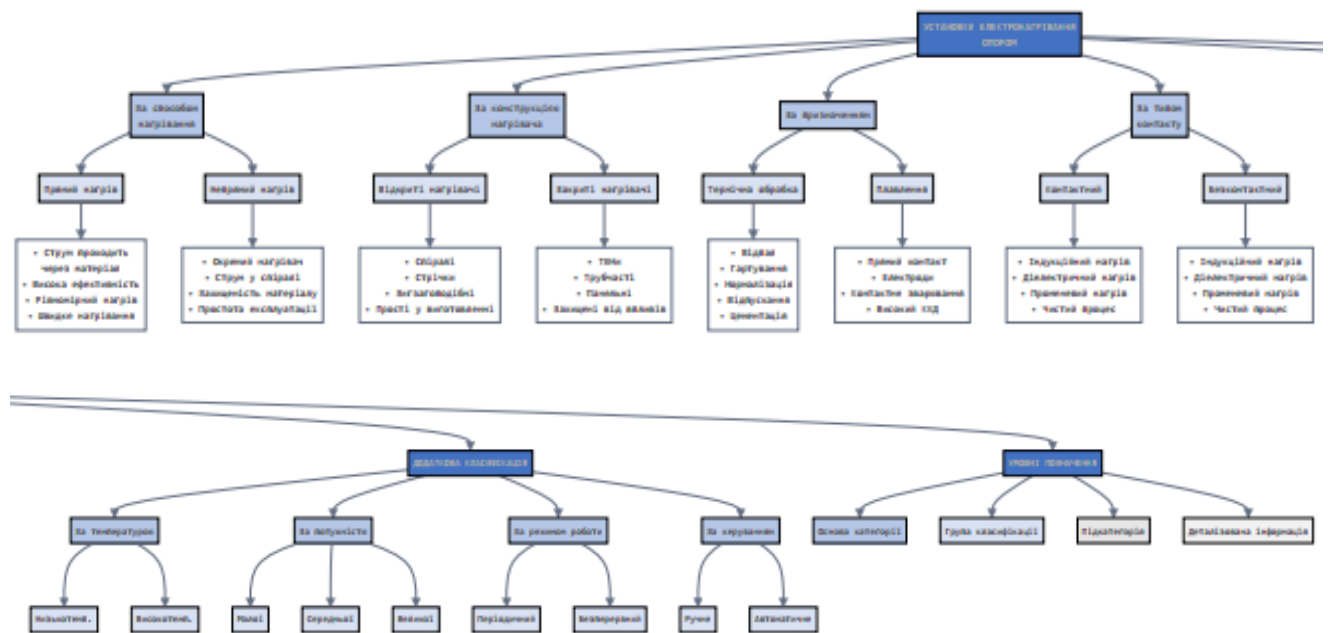


Рисунок 7.3 - Установки електронагрівання опором як приймачі електричної енергії

7.5 Вибір електроустановки нагрівання опором

Проведемо розрахунок і перевірку вибору електропечі СНО для нагріву сталі з заданими параметрами. Ця піч - камерна, електронагрівальна, з максимальним нагрівом до 1250 °С. Підходить для термообробки сталі в повітряному середовищі [8].

Вихідні дані: $Q = 0,6$ т/добу = 600 кг/добу - добова продуктивність. $\eta = 0,78$ - тепловий ККД печі; $t_{вир} = 840$ °С - температура виробу (нагріву); $t_{витр} = 1$ год - витримка при температурі; $t_{вив} = 0,1$ год = 6 хв - вивантаження; $t_{роб.нагр} = 1000$ °С - температура нагрівних елементів; $\Delta t = \pm 40$ °С - точність регулювання; Матеріал: сталь (середня питома теплоємність = 0,6 кДж/(кг·°С)).

Основні розрахунки

1. Розрахунок годинної продуктивності

Добова продуктивність:

$$Q_{доб} = 0,6 \text{ т/добу} = 600 \text{ кг/добу}$$

Годинна продуктивність:

$$Q_{год} = Q_{доб} / 24 = 600 / 24 = 25 \text{ кг/год}$$

2. Розрахунок маси завантаження за цикл

Тривалість повного циклу:

$$t_{цикл} = t_{нагр} + t_{випр} + t_{вие}$$

Приймаємо час нагрівання $t_{нагр} \approx 0,5$ год (для сталі до 840°C)

$$t_{цикл} = 0,5 + 1,0 + 0,1 = 1,6 \text{ год}$$

Маса завантаження за цикл:

$$m_{завант} = Q_{год} \cdot t_{цикл} = 25 \times 1,6 = 40 \text{ кг}$$

3. Розрахунок необхідного об'єму робочого простору

Густина сталі: $\rho_{ст} \approx 7850 \text{ кг/м}^3$; Коефіцієнт завантаження: $k_{завант} \approx 0,6-0,7$ (приймаємо 0,65).

Необхідний об'єм:

$$V_{потр} = m_{завант} / (\rho_{ст} \cdot k_{завант}) = 40 / (7850 \cdot 0,65) = 0,0078 \text{ м}^3 = 7,8 \text{ дм}^3$$

4. Розрахунок необхідної потужності

Теплоємність сталі: $c_{ст} = 0,46 \text{ кДж/(кг}\cdot^\circ\text{C)}$; початкова температура: $t_{поч} = 20^\circ\text{C}$; кінцева температура: $t_{кін} = 840^\circ\text{C}$;

Корисна теплота на нагрівання:

$$Q_{корисн} = m_{завант} \cdot c_{ст} \cdot (t_{кін} - t_{поч})$$

$$Q_{корисн} = 40 \cdot 0,46 \cdot (840 - 20) = 15,088 \text{ МДж} = 4,19 \text{ кВт}\cdot\text{год}$$

Повна теплота з урахуванням ККД:

$$Q_{повн} = Q_{корисн} / \eta = 4,19 / 0,78 = 5,37 \text{ кВт}\cdot\text{год}$$

Необхідна потужність для нагрівання за 0,5 год:

$$P_{потр} = Q_{повн} / t_{нагр} = 5,37 / 0,5 = 10,74 \text{ кВт}$$

$P_{втрат} \approx 15-20\%$ від корисної потужності $\approx 2-3 \text{ кВт}$

Загальна необхідна потужність:

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		58

$$P_{заг} = P_{потр} + P_{втрат} \approx 10,74 + 2,5 = 13,24 \text{ кВт}$$

Висновки та рекомендації

Для заданих умов необхідна піч типу: СНО-15.10.8,5/25 И1 або аналогічна; об'єм робочого простору: $\geq 8-10 \text{ дм}^3$; максимальна температура: $\geq 900^\circ\text{C}$; потужність нагрівачів: $\geq 15 \text{ кВт}$; номінальна потужність: $\geq 12-15 \text{ кВт}$.

Альтернативні варіанти: зменшити разову завантаження до 15-20 кг; збільшити кількість циклів на добу; розглянути можливість модернізації існуючої печі; використати декілька печей меншої потужності.

Економічне обґрунтування. При виборі печі слід враховувати: капітальні витрати на придбання; експлуатаційні витрати (електроенергія); витрати на обслуговування; продуктивність та якість нагрівання.

7.6 Режим роботи електричної печі СНО-15.10.8,5/25

Розрахунок режиму роботи електричної печі СНО-15.10.8,5/25

Вихідні дані та характеристики печі (табл. 7.1 та 7.2).

Таблиця 7.1 Технічні характеристики печі СНО-15.10.8,5/25:

Параметр	Одиниці	Значення
Номінальна потужність	кВт	15
Об'єм робочого простору	дм ³	10
Максимальна температура	°C	850°C
Потужність нагрівачів	кВт	25
Напруга живлення	В	380

Таблиця 7.2 Вихідні умови експлуатації:

Параметр	Одиниці	Значення
Продуктивність	т/добу	0,6
Тепловий ККД	-	0,78
Температура нагрівання	°C	840
Час витримки	год	1,0
Час вивантаження	год	0,1
Початкова температура	°C	20
Матеріал	-	Сталь

Розрахунок режиму роботи

1. Розрахунок завантаження печі

Маса завантаження за цикл: Густина сталі: $\rho = 7850 \text{ кг/м}^3$; коефіцієнт завантаження: $k_z = 0,65$; об'єм робочого простору: $V = 0,01 \text{ м}^3$.

$$m_z = V \cdot \rho \cdot k_z = 0,01 \cdot 7850 \cdot 0,65 = 51 \text{ кг}$$

2. Розрахунок теплового балансу

Корисна теплота на нагрівання сталі: теплоємність сталі: $c = 0,46 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{°C)}$; $\Delta t = 840 - 20 = 820\text{°C}$.

$$Q_1 = m_z \cdot c \cdot \Delta t = 51 \cdot 0,46 \cdot 820 = 19,24 \text{ МДж} = 5,34 \text{ кВт}\cdot\text{год}$$

Теплота на нагрівання футеровки печі: маса футеровки: $m_\phi \approx 150 \text{ кг}$; теплоємність вогнетривів: $c_\phi = 0,84 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{°C)}$

$$Q_2 = m_\phi \cdot c_\phi \cdot \Delta t = 150 \cdot 0,84 \cdot 820 = 103,32 \text{ МДж} = 28,7 \text{ кВт}\cdot\text{год}$$

Втрати тепла через стінки: коефіцієнт тепловіддачі: $k = 0,15 \text{ кВт/(м}^2\cdot\text{°C)}$; площа поверхні печі: $F \approx 2,5 \text{ м}^2$; середня температура стінки: $t_{cp} = 400\text{°C}$

$$Q_3 = k \cdot F \cdot (t_{cp} - t_{ноч}) \cdot t_{нагр} = 0,15 \cdot 2,5 \cdot (400 - 20) \cdot 1,2 = 171 \text{ кВт}\cdot\text{год}$$

Загальна теплота:

$$Q_{заг} = (Q_1 + Q_2 + Q_3) / \eta = (5,34 + 28,7 + 1,71) / 0,78 = 45,7 \text{ кВт}\cdot\text{год}$$

3. Розрахунок часових інтервалів

Час нагрівання до робочої температури: при потужності $P = 25 \text{ кВт}$

$$t_{нагр} = Q_{заг} / P = 45,7 / 25 = 1,83 \text{ год} \approx 1,8 \text{ год}$$

Повний цикл роботи:

$$t_{цикл} = t_{нагр} + t_{випр} + t_{вий} = 1,8 + 1,0 + 0,1 = 2,9 \text{ год}$$

Кількість циклів за добу:

$$n_{цикл} = 24 / 2,9 = 8,3 \text{ цикл/добу} \approx 8 \text{ циклів}$$

Фактична продуктивність:

$$Q_{факт} = n_{цикл} \cdot m_z = 8 \times 51 = 408 \text{ кг/добу} = 0,408 \text{ т/добу}$$

4. Розрахунок електричних параметрів

Струм при номінальній потужності (15 кВт):

$$I_{ном} = P_{ном} / (\sqrt{3} \cdot U) = 15000 / (1,73 \times 380) = 22,8 \text{ А}$$

Струм при максимальній потужності (25 кВт):

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

$$I_{\text{макс}} = P_{\text{макс}} / (\sqrt{3} \cdot U) = 25000 / (1,73 \times 380) = 38,0 \text{ А}$$

Опір нагрівальних елементів:

$$R = U^2 / P = 380^2 / 25000 = 5,78 \text{ Ом}$$

Споживання електроенергії за цикл:

$$W_{\text{цикл}} = P_{\text{сер}} \cdot t_{\text{цикл}} = 18 \cdot 2,9 = 52,2 \text{ кВт}\cdot\text{год}$$

Споживання електроенергії за добу:

$$W_{\text{доба}} = W_{\text{цикл}} \cdot n_{\text{цикл}} = 52,2 \cdot 8 = 417,6 \text{ кВт}\cdot\text{год}$$

5. Режими регулювання температури

Режим нагрівання: потужність: 25 кВт (100%); тривалість: 1,8 год. Режим витримки: потужність: 7,5 кВт (30%); тривалість: 1,0 год; регулювання: $\pm 40^\circ\text{C}$. Режим охолодження: потужність: 0 кВт; природне охолодження.

Оптимізація режиму роботи. Рекомендації для підвищення продуктивності: попереднє підігрівання заготовок до $200\text{-}300^\circ\text{C}$; використання рекуперації тепла для попереднього нагрівання; покращення теплоізоляції для зменшення втрат; автоматичне регулювання потужності залежно від температури.

Економічні показники:

Витрати електроенергії: на 1 тону продукції: $417,6 / 0,408 = 1024 \text{ кВт}\cdot\text{год/т}$; при тарифі 10 грн/кВт·год: 10240 грн/т.

Коефіцієнт використання печі:

$$k_{\text{вик}} = t / 24 = (8 \times 2,9) / 24 = 0,97 = 97\%$$

Висновки. Піч СНО-15.10.8,5/25 підходить для заданих умов: фактична продуктивність: 0,408 т/добу (68% від запланованої); для досягнення продуктивності 0,6 т/добу необхідно: збільшити завантаження або скоротити час циклу або використати дві печі; енергоспоживання складає 1024 кВт·год на тону продукції; коефіцієнт використання печі високий (97%).

Графік роботи печі СНО-15.10.8,5/25 (рис. 7.4)

Основні параметри режиму роботи :	2.9 год/цикл
	8 циклів/добу
	51 кг/цикл
	408 кг/добу

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		61

Графік одного робочого циклу (2.9 год)

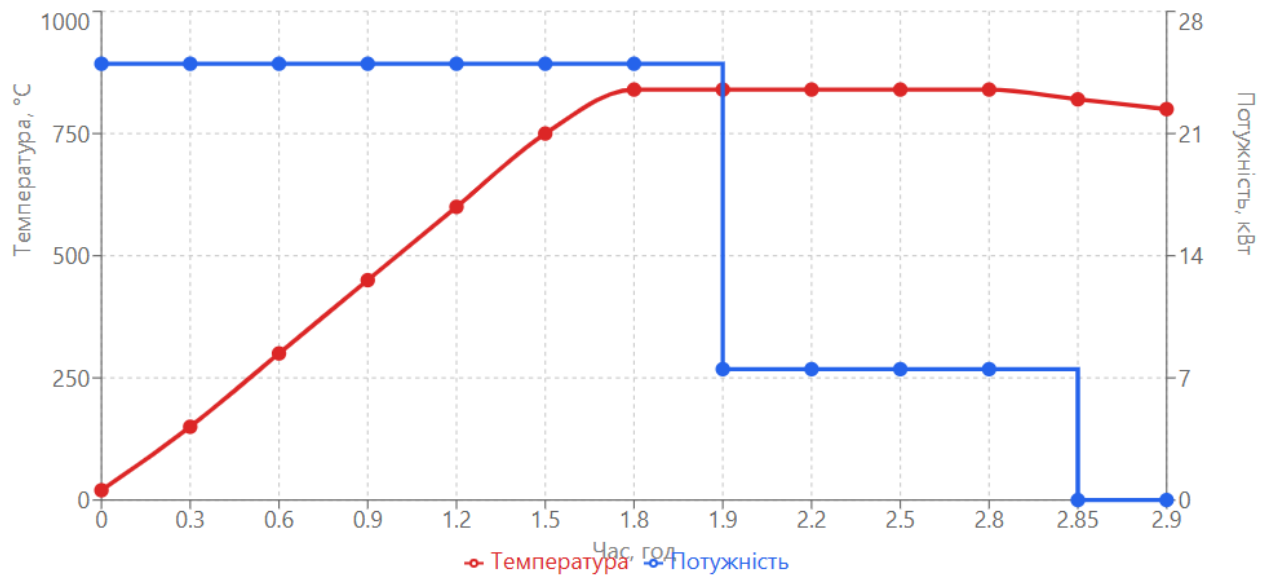


Рисунок 7.4 – Графік одного робочого циклу (2.9 год)

Етапи робочого циклу

1. Нагрівання (1.8 год). Потужність: 25 кВт (100%); Температура: 20°C → 840°C; Швидкість нагрівання: 456°C/год.
2. Витримка (1.0 год). Потужність: 7.5 кВт (30%); Температура: 840±40°C; Термообробка сталі.
3. Вивантаження (0.1 год). Потужність: 0 кВт; Температура: зниження; • Вивантаження продукції

Добовий графік роботи печі (24 години)

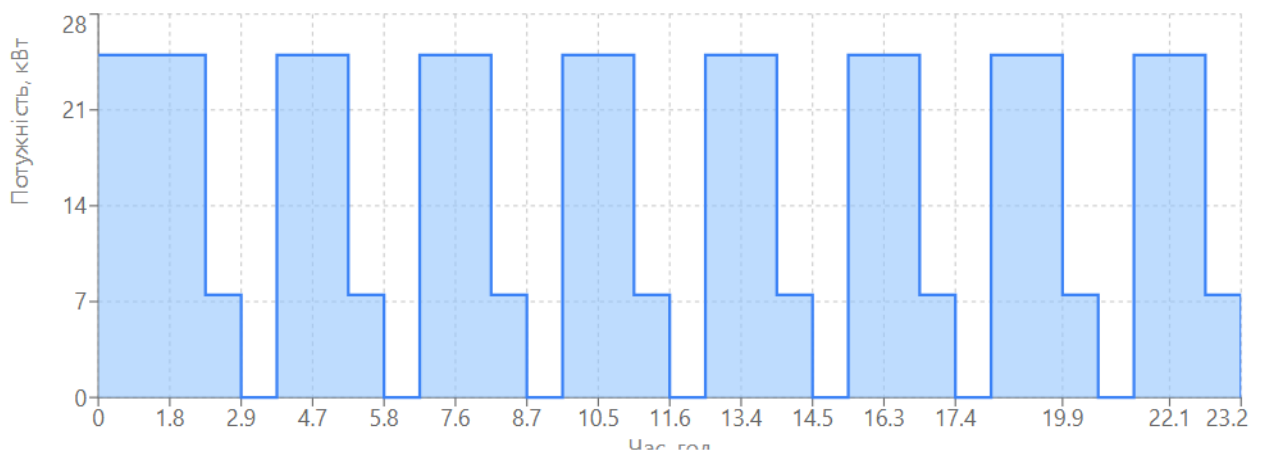


Рисунок 7.5 – Добовий графік роботи печі (24 год)

Споживання енергії та продуктивність по циклах

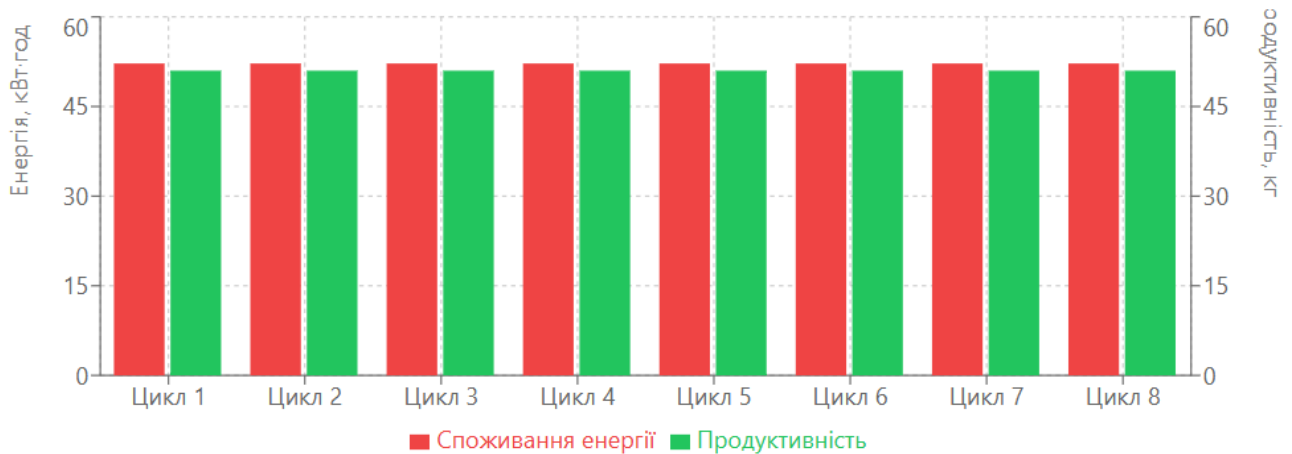


Рисунок 7.6 – Споживання енергії та продуктивність по циклах

Підсумкові показники роботи: енергоспоживання: 417.6 кВт·год/добу; 1024 кВт·год/тонну; продуктивність: 408 кг/добу; 68% від планової; коефіцієнт використання: 97%; 23.2 год/добу; витрати: 4176,0 грн/добу при 10 грн/кВт·год.

7.7 Заходи з енергозбереження для печі опору СНО-15.10.8,5/25

Основні розрахунки. Технічні характеристики печі: номінальна потужність: 15 кВт; робочий об'єм: 10 л; Максимальна температура: 850°C; Напруга: 25 В; ККД: 85%.

Розрахункові параметри: номінальний струм: 600 А; споживання за годину: 15 кВт·год; енергія нагрівання: 30 кВт·год; теплові втрати: 2.3 кВт; потенційна економія: 0.9 кВт.

Формули розрахунків:

$$I = P / U = 15000 / 25 = 600 \text{ А}$$

$$Q = P \cdot t = 15 \cdot 2 = 30 \text{ кВт·год}$$

$$\text{Витрати} = P \cdot (1 - \eta) = 15 \cdot (1 - 0.85) = 2.3 \text{ кВт}$$

$$\text{Економія} = P \cdot \Delta\eta / \eta = 0.9 \text{ кВт}$$

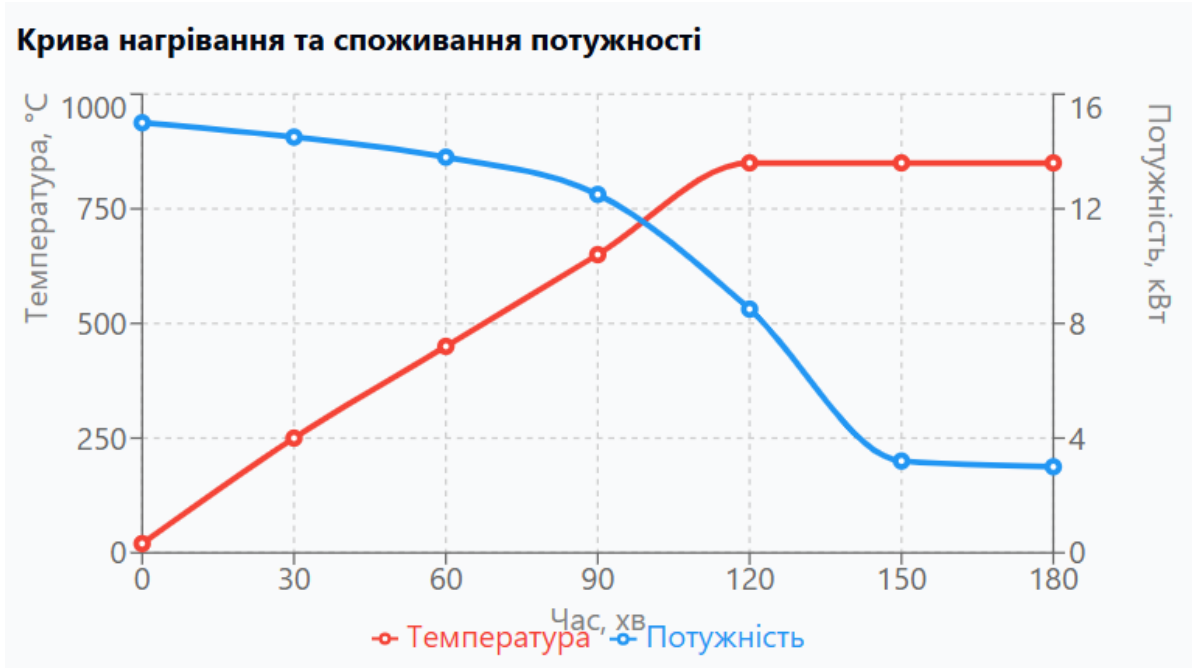


Рисунок 7.7 – Крива нагрівання та споживання потужності.

Розподіл енергетичних втрат

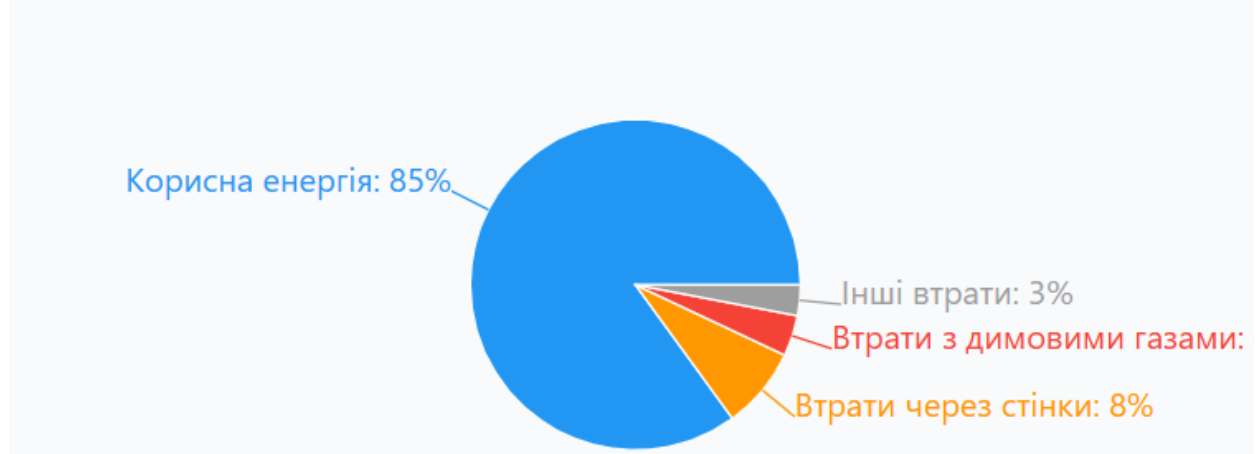


Рисунок 7.8 – Розподіл та споживання потужності.

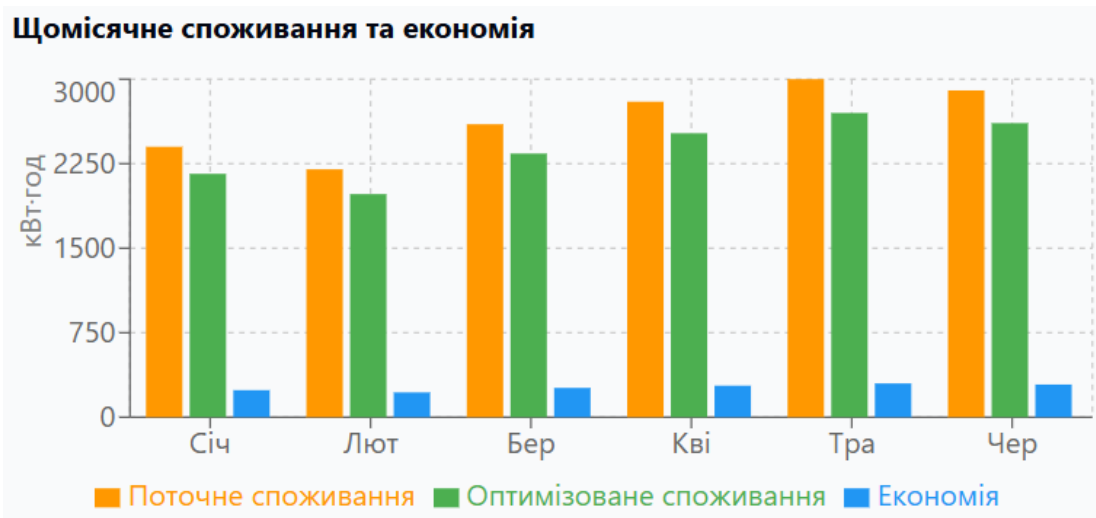


Рисунок 7.9 – Щомісячне споживання та економія

Таблиця 7.3 - Режими роботи печі

Етап	Час, хв	Температура, °С	Потужність, кВт	Споживання, кВт·год
Початок	0	20,0	15.0	7.5
Нагрівання	30	250	14.5	7.3
Нагрівання	60	450	13.8	6.9
Нагрівання	90	650	12.5	6.3
Витримка	120	850	8.5	4.3
Витримка	150	850	3.2	1.6
Витримка	180	850	3	1.5

Таблиця 7.4 - Економічний аналіз

Параметр	Одиниці	Значення
Поточні витрати	грн/кВт·год	10,00
Щомісячне споживання	кВт·год	2500
Щомісячні витрати	грн	25,000
Річні витрати	грн	300,000
Економія при оптимізації	грн/рік	48,000
Термін окупності заходів	року	1,5

Аналіз енергозбереження

Виявлені проблеми: втрати енергії становлять 15% від номінальної потужності; неефективне використання енергії під час витримки; відсутність рекуперації тепла відпрацьованих газів; недостатня теплоізоляція корпусу печі.

Запропоновані заходи: встановлення додаткової теплоізоляції (економія 3-5%); оптимізація алгоритму керування (економія 2-3%); встановлення рекуператора тепла (економія 5-8%); регулярне технічне обслуговування (економія 2-4%).

Очікувані результати: 12-20%; Зниження споживання 48,000 грн; Річна економія 1.5 року.

Термін окупності. Рекомендації: впровадити систему моніторингу енергоспоживання; провести енергоаудит всього обладнання; навчити персонал оптимальним режимам роботи; розглянути можливість модернізації системи керування.

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

Таблиця 7.5 Технічні характеристики печі СНО-15.10.8,5/25

Параметр	Одиниці	Значення
Встановлена потужність	кВт	15
Максимальна температура	°С	1000
Робочий об'єм	дм ³	8,5
Номинальна напруга	В	380
Маса печі	кг	25

Аналіз споживання електроенергії (рис. 7.10)

Розподіл споживання електроенергії (%)

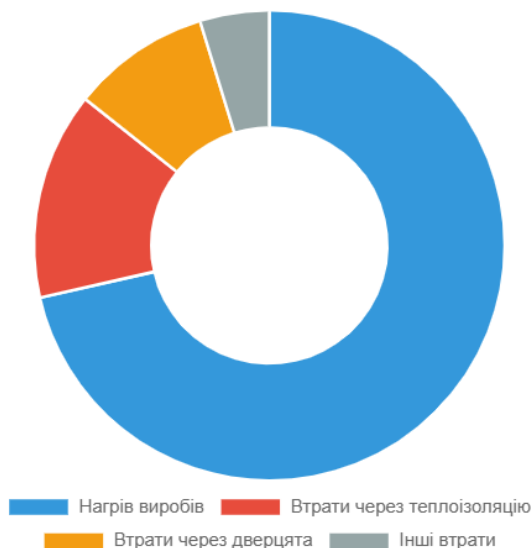


Рисунок 7.10 – Розподіл споживання електроенергії.

75% - Енергія витрачається на нагрів; 15% - Втрати через теплоізоляцію; 10% - Втрати через відкривання дверцят.

Основні рекомендації щодо енергозбереження

1. Оптимізація температурного режиму

Рекомендація: Використовуйте ступінчастий нагрів замість швидкого підйому до максимальної температури.

Економія: До 15-20% електроенергії.

2. Покращення теплоізоляції

Заходи: перевірка та заміна зношених ущільнень дверцят; додаткова теплоізоляція корпусу печі; встановлення теплоекранів.

Економія: До 10-15% електроенергії

3. Оптимізація завантаження

Принципи: максимальне використання робочого об'єму; правильне розміщення деталей для рівномірного прогріву; групування деталей за розмірами та матеріалами. Економія: До 25-30% електроенергії

Порівняння температурних профілів

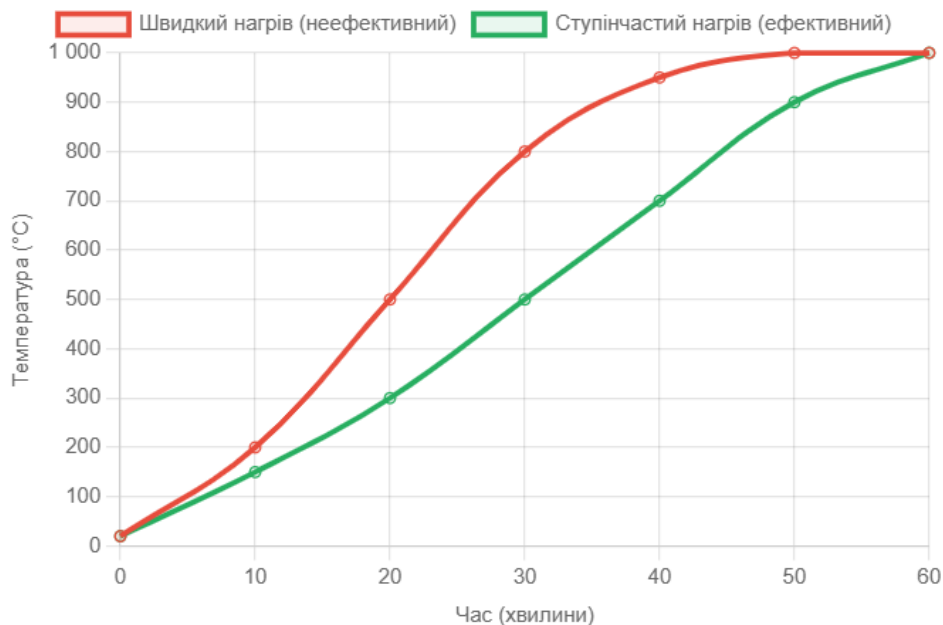


Рисунок 7.11 – Порівняння температурних профілів.

Потенційна економія від впровадження заходів (рис. 7.12)

Таблиця 7.6 Заходи з енергозбереження.

Захід	Економія, %	Економія, кВт·год/рік	Економія, грн/рік*	Вартість впровадження, грн	Термін окупності, міс
Оптимізація температурного режиму	17	2 380	23 800	0	0
Покращення теплоізоляції	12	1 680	16 800	5 000	4
Оптимізація завантаження	27	3 780	37 800	2 000	1
Встановлення системи регулювання	15	2 100	21 000	15 000	9
Загалом (тариф 10 грн/кВт·год)	56	7 840	78 400	22 000	3

Схема печі та точки енергозбереження (рис. 7.13).

Детальний план впровадження заходів

Етап 1: Негайні заходи (без витрат): оптимізація температурних режимів роботи; покращення організації завантаження деталей; навчання персоналу енергоефективним методам роботи; встановлення графіків оптимальної роботи.

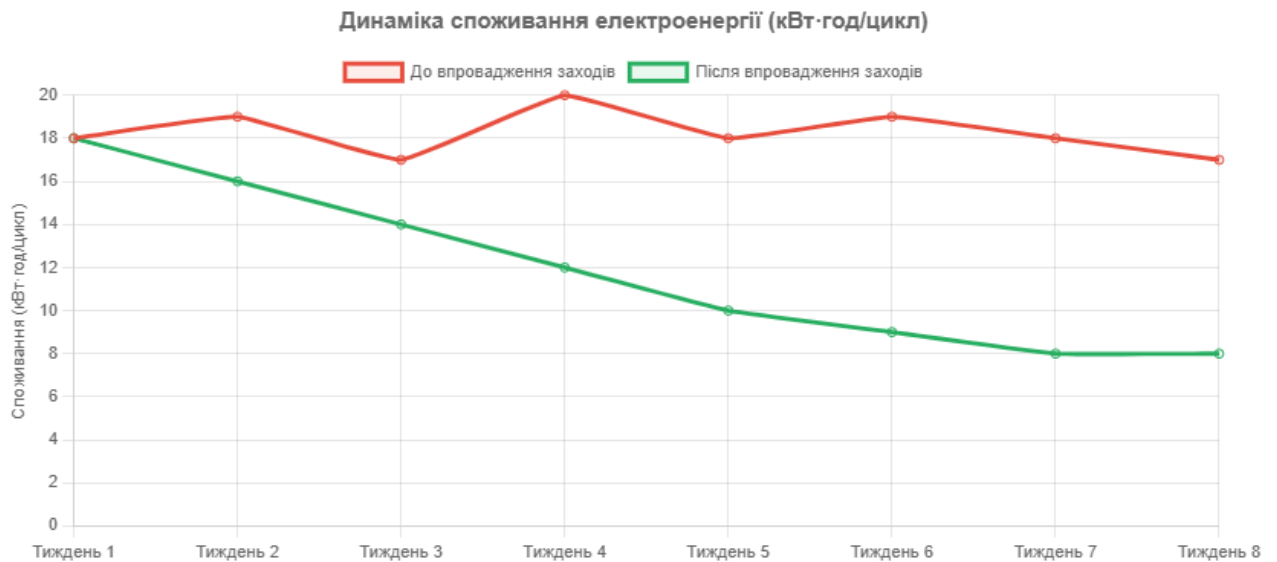


Рисунок 7.14 – Динаміка споживання електроенергії.

Важливо: Для досягнення максимальної ефективності необхідно регулярно контролювати показники споживання електроенергії та температурні режими.

Таблиця 7.7 Ключові показники для моніторингу:

Показник	Одиниця виміру	Нормативне значення	Періодичність контролю
Споживання електроенергії	кВт·год/цикл	≤ 12	Щоденно
Коефіцієнт завантаження	%	≥ 85	Щоденно
Час нагрівання	хв	≤ 45	Щоденно
Температурна рівномірність	°C	± 5	Щотижня

Економія в грошовому еквіваленті подвоїлась: оптимізація температурного режиму: 23 800 грн/рік; покращення теплоізоляції: 16 800 грн/рік; оптимізація завантаження: 37 800 грн/рік; система регулювання: 21 000 грн/рік.

Терміни окупності суттєво покращилися: покращення теплоізоляції: 4 місяці; система регулювання: 9 місяців; загальний термін окупності: 3 місяці.

Загальна річна економія збільшилася до 78 400 грн (було 39 200 грн)

Загальні висновки

Бакалаврська робота присвячена проектуванню енергоефективної системи електропостачання для заводу з розробки та виготовлення електровимірювальних приладів. Розглянуто техніко-економічні аспекти споживання електроенергії та визначено параметри струмів короткого замикання. Проведено аналіз режимів реактивної потужності та обґрунтовано вибір системи компенсації. Запропоновано оптимальні рішення для зовнішнього й внутрішнього електропостачання, трансформаторних підстанцій і струмопроводів. Виконано підбір високовольтного обладнання з урахуванням сучасних вимог до надійності та безпеки. Особливий акцент зроблено на інтеграції сучасних енергозберігаючих рішень і впровадження інноваційних підходів до керування споживанням електроенергії, що забезпечує зниження витрат та підвищення загальної ефективності енергосистем заводу електровимірювальних приладів. У випускній роботі передбачається вихід з енергозбереження для електропечі опору СНО-15.10.8,5/25 з встановленою потужністю 15 кВт та робочим об'ємом 8,5 дм³. Проаналізовано класифікацію установок електронагрівання опором та їх енергетичні характеристики як приймачів електричної енергії. Досліджено розподіл споживання електроенергії: 75% на нагрів виробів, 15% втрати через теплоізоляцію, 10% втрати через відкриття дверей. Зроблено економічні розрахунки при тарифі 10 грн/кВт·год з визначенням загальної виведеної економії 56% електроенергії та річної економії 78 400 грн.

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

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. Методичні вказівки “Енергозберігаючі режими електропостачання” для студентів спеціальності 8.090603 усіх форм навчання. Частина 2. / Укладачі: Ю.І. Казанцев, П.Г. Плешков. Кіровоград, КДТУ, 2003. -122 с.
8. Клименко В.В., Кравченко В.І., Телюта Р.В. Енергозбереження в теплотехнологічних процесах і установках: Навчальний посібник. – Кропивницький: ПП Ексклюзив-Систем, 2020. – 219с.
9. Електротехнологічні установки: навчальний посібник /П.О. Василега. – Суми: Видавництво СумДУ, 2010. – 548 с.

										Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата						71