

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:

**Розробка системи електропостачання заводу з
виробництва та обслуговування промислових насосів**

**Development of a power supply system for a plant for the
production and maintenance of industrial pumps**

Виконав здобувач вищої освіти
III курсу, групи ЕЕ-22мб
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
_____ Н. Осадчий
« ____ » _____ 2025 р.

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

Рецензент _____

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**

Осадчому Нікіті Сергійовичу

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи

Розробка системи електропостачання заводу з виробництва та обслуговування промислових насосів

Development of a power supply system for a plant for the production and maintenance of industrial pumps

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 виготовлення промислових насосів. 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>доцент Н.Ю. Гарасьва</i>		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної 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.постача</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>Заклучення</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: 73 с.; 23 рис.; 25 табл.; 8 джерел; 1-н додаток на 5 с.

Осадчий Н. С. Розробка системи електропостачання заводу з виробництва та обслуговування промислових насосів. – Рукопис.

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

Бакалаврська робота присвячена проектуванню енергоефективної системи електропостачання для заводу, що займається виробництвом і сервісом промислових насосів. Розглянуто техніко-економічні аспекти споживання електроенергії та визначено параметри струмів короткого замикання. Проведено аналіз режимів реактивної потужності та обґрунтовано вибір систем 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 впровадженні інноваційних підходів до керування споживанням електроенергії, що забезпечує зменшення втрат та підвищення загальної ефективності енергосистеми заводу промислових насосів.

У випускній роботі розглянуто заходи з енергозбереження для індукційної тигельної печі ІТПЕ-0,03/0,05ТГ1. Проаналізовано теплові та електричні втрати, запропоновано шляхи їх зменшення. Обґрунтовано необхідність підвищення коефіцієнта потужності та оптимізації режиму роботи. Запропоновано модернізацію конструкції печей з використанням новітніх матеріалів і технологій. Визначено ефективність заміни застарілого обладнання на сучасне з підвищеним ККД. Розглянуто вплив допоміжних операцій та простоїв на загальні втрати енергії. Зроблено розрахунки оптимальної потужності печі відповідно до виробничих потреб.

Ключові слова: електричні навантаження, реактивна потужність, індукційна тигельна піч.

ABSTRACT

Qualification work: 73 p.; 23 Fig.; 25 tables; 8 sources; 1 add. on 5 p.

Osadchyy N.S. Development of a power supply system for a plant for the production and maintenance of industrial pumps. – 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 bachelor's thesis is devoted to the design of an energy-efficient power supply system for a plant engaged in the production and service of industrial pumps. The technical and economic aspects of electricity consumption are considered and the parameters of short-circuit currents are determined. The analysis of reactive power modes is carried out and the choice of compensation systems is justified. Optimal solutions for external and internal power supply, transformer substations and power lines are proposed. High-voltage equipment is selected taking into account modern requirements for reliability and safety. Special emphasis is placed on the integration of modern energy-saving solutions and the implementation of innovative approaches to managing electricity consumption, which ensures the reduction of losses and the increase in the overall efficiency of the power system of the industrial pump plant.

The thesis considers energy-saving measures for the induction crucible furnace ITPE-0.03/0.05TГ1. Thermal and electrical losses are analyzed, and ways to reduce them are proposed. The need to increase the power factor and optimize the operating mode is justified. The modernization of the furnace design using the latest materials and technologies is proposed. The effectiveness of replacing outdated equipment with modern equipment with increased efficiency is determined. The impact of auxiliary operations and downtime on total energy losses is considered. Calculations of the optimal furnace power are made in accordance with production needs.

Key words: electrical loads, reactive power, induction crucible furnace.

Зміст

	Стор.
Вступ.....	7
1. Електричні навантаження заводу промислових насосів.....	8
1.1 Визначення електронавантажень заводу промислових насосів в електромережах до 1000 В	8
1.2 Розрахунок освітлювальних навантажень заводу промислових насосів	11
1.3 Розрахунок електронавантажень заводу промислових насосів в електромережах вище 1000 В	12
1.4 Графіки електричних навантажень цукрового промислових насосів	18
2. Побудова картограми електричних навантажень заводу промислових насосів.....	23
3. Техніко-економічне обґрунтування схем електропостачання заводу промислових насосів	25
3.1. Вибір напруги та схеми зовнішнього електропостачання заводу промислових насосів	25
3.2. Вибір напруги та схеми внутрішнього електропостачання заводу промислових насосів	29
4. Режим реактивної потужності системи електропостачання заводу промислових насосів	30
4.1. Розрахунок балансу реактивної потужності на заводі промислових насосів.....	30
4.2. Вибір кількості, потужності та місця розташування компенсуючих пристроїв на заводі промислових насосів.....	33
5. Вибір кількості трансформаторів їх потужності та місця розташування на заводі промислових насосів	36

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	Літ.	Аркуш	Аркушів
Розробив		Осадчий Н.С.			Розробка системи електропостачання заводу з виробництва та обслуговування промислових насосів Development of a power supply system for a plant for the production and maintenance of industrial pumps	5	73
Перевірів		Телюта Р.В.				ЦНТУ <i>гр. ЕЕ-22мб</i>	
Н. Контр.							
Затвердив		Плешков П.Г.					

6.	Розрахунок струмів короткого замикання та вибір високовольтного електрообладнання заводу промислових насосів	37
6.1.	Розрахунок струмів коротких замикань в електросистемі заводу промислових насосів	37
6.2.	Вибір високовольтних кабелів для заводу промислових насосів	44
6.3.	Вибір електричних апаратів високої напруги заводу промислових насосів.....	46
6.4.	Вибір трансформаторів струму і напруги заводу промислових насосів.....	48
7.	Спеціальний розділ. Ефективне використання та збереження електроенергії в індукційних тигельних печах.....	50
7.1.	Галузі використання та класифікація установок індукційного нагрівання	50
7.2.	Індукційні тигельні печі	52
7.3.	Джерела живлення установок індукційного нагрівання.....	53
7.4.	Установки індукційного нагрівання як приймачі електричної енергії ..	55
7.5.	Шляхи підвищення енергоефективності індукційних печей	56
7.6.	Розрахунок і вибір індукційної тигельної печі ІТПЕ	58
7.7.	Заходи енергоефективності та економії електроенергії для індукційної тигельної печі ІТПЕ-0,03/0,05 ТГ1	63
	Висновки	66
	Перелік посилань.....	67
	ДОДАТКИ.....	68
	Додаток А. Розрахунок електричних навантажень на заводі промислових насосів	69

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		6

Вступ

У зв'язку з ростом енергоспоживання на промислових підприємствах, зокрема на заводах з виробництва насосного обладнання, а також через ускладнення технологічних процесів і підвищення вимог до енергетичної ефективності, значно зросла складність при плануванні, розрахунках та впровадженні систем електропостачання. Сучасне проектування вимагає врахування комплексних технічних, економічних і технологічних чинників.

Системи електропостачання промислових підприємств повинні відповідати цілому ряду вимог, таких як економічна доцільність, технічна надійність, зручність експлуатації, відповідність критеріям енергоощадності, а також забезпечення стабільних параметрів електроенергії – напруги, частоти та мінімізації її втрат. Особливо важливо для насособудівного підприємства – забезпечення безперебійної роботи енергомісткого обладнання, такого як стенди для гідравлічних випробувань, обмотувальні машини, термічні печі, обробні верстати та системи автоматизації.

Проектування електропостачальної мережі такого заводу передбачає: аналіз і розрахунок загального навантаження; побудову графіків навантаження з урахуванням активної та реактивної потужності; порівняльну оцінку різних варіантів внутрішнього та зовнішнього електрозабезпечення; підбір засобів компенсації реактивної потужності; оптимізацію кількості трансформаторних підстанцій; розрахунок струмів короткого замикання для обґрунтування вибору високовольтного обладнання та кабельних ліній; аналіз рівня якості електроенергії, визначення заходів із охорони праці та організації безпечної експлуатації електроустановок; розрахунок економічної ефективності експлуатації системи електропостачання та оцінка потенціалу її модернізації в майбутньому.

Окрім технічних параметрів, при проектуванні враховують можливість розширення або реконструкції виробництва без значного ускладнення існуючої інфраструктури. Умови монтажу, строки виконання робіт, доступність комплектуючих, стандарти ДСТУ, вимоги ДБН і охорони праці — усе це враховується на етапі розробки проекту.

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

1. Електричні навантаження заводу промислових насосів

Розрахунок електричних навантажень електроприймачів здійснюється згідно з методикою, викладеною в джерелі [1]. Ця методика враховує специфіку роботи обладнання і дозволяє точно визначити розрахункові значення навантажень для подальшого проектування систем електропостачання.

1.1 Визначення електронавантажень заводу промислових насосів в електромережах до 1000 В

Для ілюстрації розрахунку електричних навантажень у заводській мережі з напругою до 1 кВ виконаємо приклад обчислення навантажень для цеху обробки деталей. Цей розрахунок допоможе визначити сумарну потужність споживачів і забезпечити правильне проектування електропостачання цеху.

Використовуючи початкові дані знаходимо коефіцієнт m :

$$m = \frac{P_{н.маx}}{P_{н.мін}} = \frac{40}{2,2} = 18,18$$

Середнє навантаження та потужність групи споживачів:

$$P_{см} = P_{сум} K_{и} = 528 \cdot 0,6 = 316,92 \text{ кВт}$$

$$Q_{см} = P_{см} \operatorname{tg} \varphi = 528 \cdot 0,88 = 279,5 \text{ кВар}$$

Ефективне число електроприймачів (ЕП) у групі, сумарний показник:

$$n_e = \frac{2 \sum P_{н}}{P_{н.маx}} = \frac{2 \cdot 1572}{55} = 57$$

Коефіцієнт K_m визначається за допомогою таблиць із джерела [1], залежно від групового коефіцієнта використання та ефективного числа електроприймачів у відповідній групі або вузлі навантаження, $K_m = 1,17$.

Розрахункові активне (P_p) та реактивне (Q_p) навантаження групи ел.приймачів:

$$P_p = P_{см} K_m = 316,9 \cdot 1,16 = 368,96 \text{ кВт}$$

$$Q_p = Q_{см} = 279,5 \text{ кВар (так як } n_e > 10);$$

Розрахунок навантажень напругою до 1000 В інших цехів промислового заводу промислових насосів наведено в таблиці 1.1.

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

Таблиця 1.1.1.1 - Розрахунок силових навантажень мережі до 1 кВ по заводу промислових насосів.

№ п/п	Найменування	К-сть ЕС	Встановлена потужність, кВт			m	K _в	cosφ	tgφ	Середнє навантаж		K _м	Розрахункове навантаження			
			Одного	min	max					Сум.	Р _{сер} , кВт		Q _{сер} , квар	Р _р , кВт	Q _р , квар	S _р , МВА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	Цех обробки деталей															
1.	Стенд для нарізання різьби	2	12	12	24		0,80	0,80	0,75	19,20	14,40					
2.	Різьбонарізний верстат	2	5	5	10		0,12	0,40	2,29	1,20	2,75					
3.	Верстат свердильний 2-х отворний	4	12	12	48		0,12	0,40	2,29	5,76	13,20					
4.	Верстат свердильний	2	14	14	28		0,12	0,40	2,29	3,36	7,70					
5.	Карусельно-фрезерний верстат	4	15	15	60		0,12	0,40	2,29	7,20	16,50					
6.	Точильно-шліфувальний верстат	3	2,2	2,2	6,6		0,12	0,40	2,29	0,79	1,81					
7.	Карусельно-фрезерний верстат 621M	2	15	15	30		0,12	0,40	2,29	3,60	8,25					
8.	Карусельно-фрезерний верстат 621МС-1	4	15	15	60		0,12	0,40	2,29	7,20	16,50					
9.	Прес гідравлічний	4	15	15	60		0,80	0,55	1,52	48,00	72,89					
10.	Установка для стиснення	2	13	40	80		0,80	0,55	1,52	64,00	97,18					
11.	Токарний 6-ти шпиндельний верстат 1Б290П-6К	2	12	12	24		0,12	0,40	2,29	2,88	6,60					
Всього по ділянці № 2		31	2,2	40,0	528,2	18	0,60	0,75	0,88	316,92	279,50	26	1,16	368,96	279,50	462,87

Таблиця 1.1.2. - Розрахунок електричних навантажень в мережі до 1000 В заводу промислових насосів

№ п/п	Назва групи споживачів	К-ть ЕС	Р _{одн.} кВт		m	Ки	cosφ	tgφ	Середнє		псф	Км	Розр. навантаження по споживачам		
			Р _{мін.} кВт	Р _{макс.} кВт					Р _{сум.} кВт	Р _{см.} кВт			Q _{см.} кВт	Рр, кВт	Qр, кВт
1.	Прохідна заводу	3	3	5	1,7	0,3	0,8	0,75	3,3	2,48	3	2,42	7,99	2,73	8,44
2.	Термічний цех	9	3	250	83,3	0,6	0,9	0,48	322,8	156,34	4	1,53	492,94	171,97	522,08
3.	Ливарний цех	27	0,55	40	72,7	0,55	0,9	0,48	301,12	145,84	27	1,19	356,86	145,84	385,51
4.	Склад металу	14	2,2	10	4,5	0,5	0,8	0,75	35,1	26,33	14	1,31	45,93	26,33	52,94
5.	Адміністративна будівля	19	1,1	15	13,6	0,7	0,85	0,62	51,87	32,15	10	1,2	62,31	35,36	71,64
6.	Склад матеріалів	21	5,5	11	2	0,46	0,85	0,62	69,46	43,05	21	1,27	88,14	43,05	98,09
7.	Електроцех	31	1,1	40	36,4	0,6	0,8	0,75	291,6	218,7	24	1,17	341,73	218,7	405,72
8.	Зварювальна дільниця	34	1,1	40	36,4	0,5	0,7	1,02	226,05	230,62	23	1,23	278,28	230,62	361,42
9.	Склад металолома	7	3	10	3,3	0,4	0,65	1,17	20,4	23,85	7	1,6	32,71	26,24	41,93
10.	Цех обробки деталей	31	2,2	40	18,2	0,6	0,75	0,88	316,92	279,5	26	1,16	368,96	279,5	462,87
11.	Збиральний цех	43	0,35	30	85,7	0,55	0,7	1,02	355,03	362,2	43	1,14	405,51	362,2	543,72
12.	Випробувальне відділення	28	1,1	40	36,4	0,6	0,8	0,75	160,86	120,65	13	1,25	200,41	120,65	233,92
13.	Моделно-комплектуювальний цех	49	1,1	30	27,3	0,6	0,6	1,33	130,26	173,68	14	1,24	160,91	173,68	236,76
14.	Склад готових виробів	11	3	15	5	0,45	0,75	0,88	39,15	34,53	11	1,4	54,94	34,53	64,89
	Всього	327	0,35	250	714,3	0,563	0,78	0,8	2323,92	1849,92	33	1,16	2694,21	1849,92	3268,18

1.2 Розрахунок освітлювальних навантажень заводу промислових насосів

Розрахунок освітлювальних навантажень для заводу промислових насосів проводиться на основі питомої потужності освітлення, що припадає на одиницю корисної площі виробничого приміщення. Ця методика викладена в джерелі [1] і дозволяє точно визначити необхідну потужність освітлювальної системи з урахуванням особливостей виробничого середовища.

Результати розрахунків зводимо в таблицю 1.2.

Таблиця 1.2 Розрахунок освітлювальних навантажень заводу промислових насосів.

№ п/п	Найменування підрозділу заводу насосів	F , м ²	ρ_o , Вт/м ²	P_v , кВт	$\cos\varphi$	K_1	K_c	$\text{tg}\varphi$	Розр. навантаження по споживачам		
									P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВА
1	Прохідна заводу	115,90	16	1,85	0,90	1,20	0,80	0,48	1,78	0,86	1,98
2	Термічний цех	185,50	15	2,78	0,90	1,20	0,90	0,48	3,00	1,45	3,33
3	Ливарний цех	685,90	15	10,29	0,90	1,20	0,90	0,48	11,11	5,38	12,34
4	Склад металу	320,20	8	2,56	0,90	1,20	0,60	0,48	1,84	0,89	2,04
5	Адміністративна будівля	857,70	20	17,15	0,90	1,20	0,80	0,48	16,46	7,97	18,29
6	Склад матеріалів	361,30	8	2,89	0,90	1,20	0,60	0,48	2,08	1,01	2,31
7	Електроцех	173,90	16	2,78	0,90	1,20	0,85	0,48	2,84	1,37	3,15
8	Зварювальна дільниця	857,70	15	12,87	0,90	1,20	0,85	0,48	13,13	6,35	14,58
9	Склад металолома	208,70	6	1,25	0,90	1,20	0,60	0,48	0,90	0,44	1,00
10	Цех обробки деталей	881,00	16	14,10	0,90	1,20	0,85	0,48	14,38	6,96	15,98
11	Збиральний цех	834,70	18	15,02	0,90	1,20	0,85	0,48	15,32	7,41	17,02
12	Випробувальне відділення	510,10	18	9,18	0,90	1,20	0,85	0,48	9,36	4,53	10,40
13	Модельно-комплектувальний цех	357,40	18	6,43	0,90	1,20	0,85	0,48	6,56	3,18	7,29
14	Склад готових виробів	246,30	8	1,97	0,90	1,20	0,60	0,48	1,42	0,69	1,58
15	Територія заводу	30436,40	0,1	3,04	0,50	1,12	1,00	1,73	3,40	5,89	6,80
	Всього			104,16					103,58	54,38	116,99

1.3 Розрахунок електричних навантажень заводу промислових насосів в силових мережах вище 1000 В

Під час розрахунку електричних навантажень у мережах із напругою понад 1000 В, основними розрахунковими вузлами є шини трансформаторних підстанцій (ТП) з номіналом 10 кВ. Перед початком проектних розрахунків слід визначити кількість необхідних ТП, номінальну потужність їх трансформаторів та оптимальне територіальне розташування на площі підприємства.

Для цього застосовується картограма навантаження — графічне відображення просторового розподілу електроспоживання, на основі якої здійснюється вибір місць встановлення підстанцій, кількості трансформаторів та їх потужності.

У разі, коли встановлення окремої ТП для цеху є економічно недоцільним або технічно складним, допускається живлення таких споживачів від трансформаторних підстанцій суміжних цехів напругою 0,4 кВ. При цьому необхідно дотримуватись вимог стандарту ДСТУ EN 50160 / ДЕСТ 13109-67, зокрема щодо допустимих відхилень напруги на вході електроприймачів.

Загальне електричне навантаження підприємства обчислюється за аналогічною методикою, яка застосовується для розрахунку навантаження окремих трансформаторних підстанцій (ТП). Спочатку для кожної групи ТП визначаються активні та реактивні навантаження, після чого ці значення підсумовуються з урахуванням коефіцієнтів одночасності.

Відповідно до джерела [4], основні технічні характеристики трансформатора типу ТМ-630/10/0,4 наступні: номінальна потужність становить 630 кВА; втрати холостого ходу (ΔP_{xx}) - 1,42 кВт; струм холостого ходу (I_{xx}) - 2%. Номінальна напруга на стороні високої напруги - 10 кВ. Втрати при короткому замиканні ($\Delta P_{кз}$) складають 7,6 кВт, а напруга короткого замикання ($U_{кз}$) - 5,5%.

Розрахунок електричних навантажень заводу промислових насосів в силових мережах вище 1000 В, зводиться у вигляді таблиці 1.3.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		12

Таблиця 1.3 Розрахунок електричних навантажень по заводу промислових насосів, вище 1000 В

1	Назва групи споживачів	Кількість ЕС	Р одного		Р сумарна	m	K _л	cosφ	tgφ	Середнє		K _м	Розр. навантаження			
			min	max						Р _{ср} , кВт	Q _{ср} , квар		Р _р , кВт	Q _р , квар	S _р , кВА	
1	ТП 1															
1.1	Термічний цех															
	силове:	9	3	250	538	83,3	0,6	0,9	0,48	322,8	156,34	4	1,53	492,94	171,97	522,08
	освітлювальне:									2,78				3	1,45	
	Всього:									325,58	156,34			495,94	173,42	525,39
1.2	Ливарний цех															
	силове:	27	0,55	40	547,5	72,7	0,55	0,9	0,48	301,12	145,84	27	1,19	356,86	145,84	385,51
	освітлювальне:									10,29				11,1	5,38	
	Всього:									311,41	145,84			367,96	151,22	397,82
	Всього по ТП 1:															
	силове:	36	0,55	250	1085,5	454,5	0,57	0,9	0,48	623,92	302,18	9	1,33	830,21	332,4	894,28
	освітлювальне:									13,07				14,1	6,83	
	Всього на шини 0,4 кВ ТП 1:									636,99	302,18			844,31	339,23	909,91
	Втрати в трансформаторах:													10,19	77,09	
	Кількість трансформаторів: 2															
	Номінальна потужність, кВА: 630															
	Коефіцієнт завантаження: Kз = 0,67															
	Всього на шини 10 кВ ТП 1:													854,5	416,32	950,52
2	ТП 2															
2.1	Прохідна заводу															
	силове:	3	3	5	11	1,7	0,3	0,8	0,75	3,3	2,48	3	2,42	7,99	2,73	8,44
	освітлювальне:									1,85				1,78	0,86	
	Всього:									5,15	2,48			9,77	3,59	10,41

продовження табл. 1.3.

Всього на шинах 0.4 кВ ТП 3:										733,98	574,7	812,73	592,73	1005,91
Втрати в трансформаторах:												9,68	74,39	
Кількість трансформаторів: 2														
Номінальна потужність, кВА: 630														
Коефіцієнт завантаження: Кз = 0,65														
Всього на шинах 10 кВ ТП 3:												822,41	667,12	1058,97
4 ТП 4														
4.1 Виробувальне відділення														
силове:	28	1,1	40	268,1	36,4	0,60,8	0,75	160,86	120,65	13	1,25	200,41	120,65	233,92
освітлювальне:								9,18				9,36	4,53	
Всього:								170,04	120,65			209,77	125,18	244,28
4.2 Модельно-комплектувальний цех														
силове:	49	1,1	30	217,1	27,3	0,60,6	1,33	130,26	173,68	14	1,24	160,91	173,68	236,76
освітлювальне:								6,43				6,56	3,18	
Всього:								136,69	173,68			167,47	176,86	243,57
4.3 Склад готових виробів														
силове:	11	3	15	87	5	0,450,75	0,88	39,15	34,53	11	1,4	54,94	34,53	64,89
освітлювальне:								1,97				1,42	0,69	
Всього:								41,12	34,53			56,36	35,22	66,46
Всього по ТП 4:														
силове:	88	1,1	40	572,2	36,4	0,580,71	1	330,27	328,86	29	1,16	384,72	328,86	506,12
освітлювальне:								17,58				17,34	8,4	
Всього на шинах 0.4 кВ ТП 4:								347,85	328,86			402,06	337,26	524,78
Втрати в трансформаторах:												4,78	36,84	

1.4 Побудова графіків електричних навантажень заводу промислових насосів

На основі фактичних вимірювань, проведених безпосередньо на підприємстві, формується добовий графік навантаження для зимового та літнього періодів. У побудові графіків активної потужності $P(t)$, реактивної потужності $Q(t)$ та повної потужності $S(t)$ враховується режим роботи підприємства, а саме — співвідношення робочих та вихідних днів, змінність виробництва, сезонні особливості тощо. Добовий графік є базою для побудови річного графіка навантаження, який визначається за тривалістю навантажень різної величини протягом року. Результати наведені в табл. 1.4.1-1.4.3 та рис. 1.4.1-1.4.5.

Таблиця 1.4.1. Добові графіки активного P та реактивного Q навантажень, %.

№	Робочі дні		Вихідні дні	
	$P, \%$	$Q, \%$	$P, \%$	$Q, \%$
1	45	42	38	60
2	45	42	38	60
3	45	42	38	60
4	45	42	38	60
5	50	45	38	60
6	50	45	38	60
7	80	65	38	60
8	90	75	38	60
9	100	100	27	50
10	100	100	27	50
11	90	75	27	50
12	80	65	27	50
13	90	75	27	50
14	90	75	27	50
15	100	80	27	50
16	100	80	27	50
17	90	75	27	50
18	80	65	38	60
19	60	50	38	60
20	60	50	38	60
21	50	45	38	60
22	50	45	38	60
23	50	45	38	60
24	45	42	38	60

Таблиця 1.4.2. Добові графіки активного P , кВт, та реактивного Q , квар та повного S , кВА навантажень заводу промислових насосів

№	Зимові дні			Літні дні			Зимові дні			Літні дні		
	Робочі дні			Робочі дні			Вихідні дні			Вихідні дні		
	P , кВт	Q , кВар	S , кВА	P , кВт	Q , кВар	S , кВА	P , кВт	Q , кВар	S , кВА	P , кВт	Q , кВар	S , кВА
1	1274	178	1286	1083	152	1094	1076	255	1106	915	217	940
2	1274	178	1286	1083	152	1094	1076	255	1106	915	217	940
3	1274	178	1286	1083	152	1094	1076	255	1106	915	217	940
4	1274	178	1286	1083	152	1094	1076	255	1106	915	217	940
5	1416	191	1429	1203	162	1214	1076	255	1106	915	217	940
6	1416	191	1429	1203	162	1214	1076	255	1106	915	217	940
7	2265	276	2282	1926	235	1940	1076	255	1106	915	217	940
8	2549	319	2569	2166	271	2183	1076	255	1106	915	217	940
9	2832	425	2864	2407	361	2434	765	212	794	650	181	675
10	2832	425	2864	2407	361	2434	765	212	794	650	181	675
11	2549	319	2569	2166	271	2183	765	212	794	650	181	675
12	2265	276	2282	1926	235	1940	765	212	794	650	181	675
13	2549	319	2569	2166	271	2183	765	212	794	650	181	675
14	2549	319	2569	2166	271	2183	765	212	794	650	181	675
15	2832	340	2852	2407	289	2424	765	212	794	650	181	675
16	2832	340	2852	2407	289	2424	765	212	794	650	181	675
17	2549	319	2569	2166	271	2183	765	212	794	650	181	675
18	2265	276	2282	1926	235	1940	1076	255	1106	915	217	940
19	1699	212	1712	1444	181	1455	1076	255	1106	915	217	940
20	1699	212	1712	1444	181	1455	1076	255	1106	915	217	940
21	1416	191	1429	1203	162	1214	1076	255	1106	915	217	940
22	1416	191	1429	1203	162	1214	1076	255	1106	915	217	940
23	1416	191	1429	1203	162	1214	1076	255	1106	915	217	940
24	1274	178	1286	1083	152	1094	1076	255	1106	915	217	940

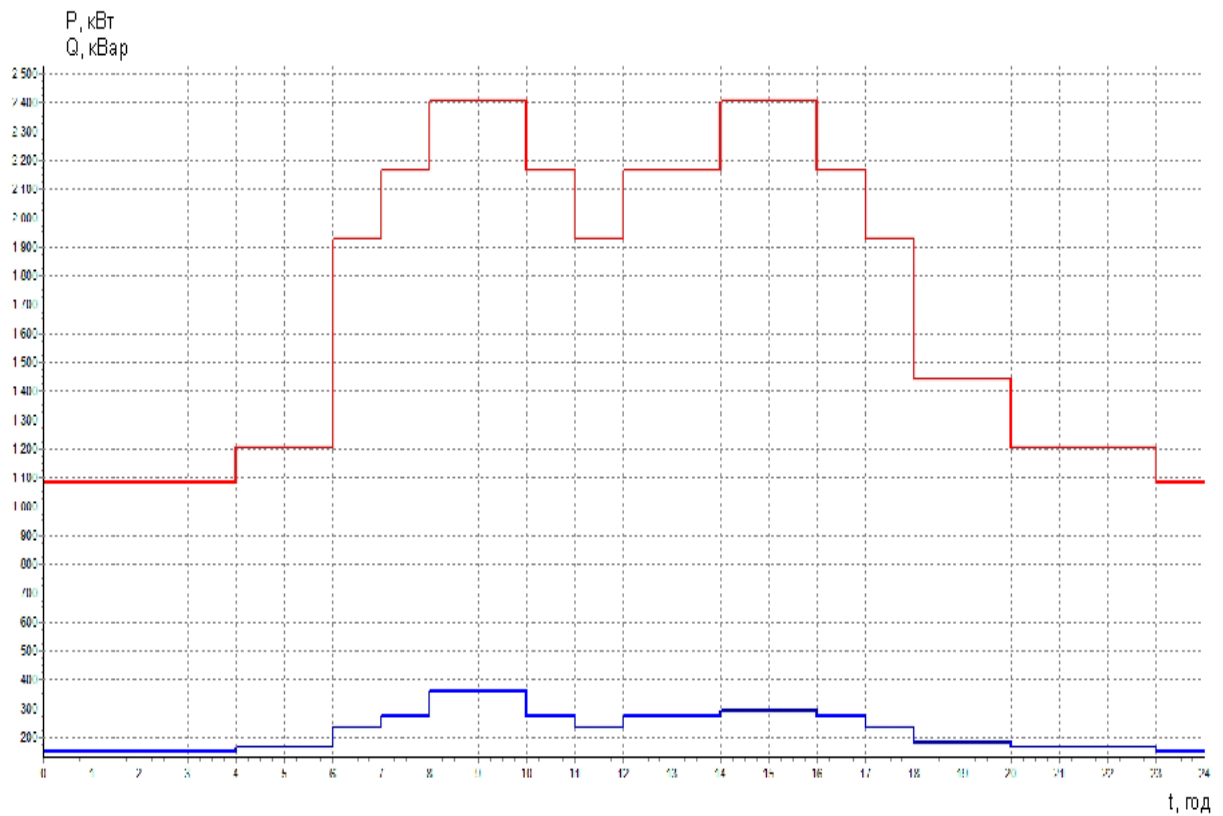


Рисунок 1.4.1. - Добовий графік активного P та реактивного Q навантажень (літні робочі дні) заводу промислових насосів

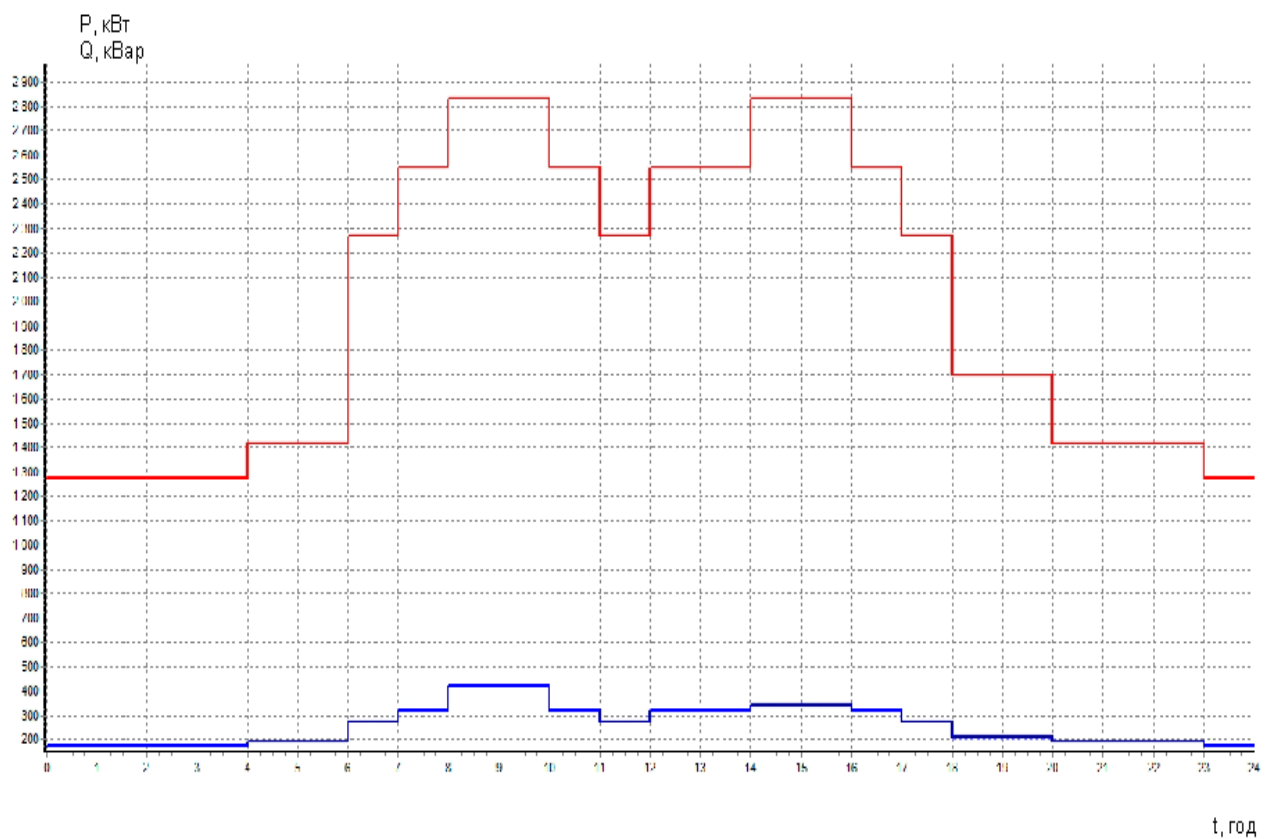


Рисунок 1.4.2. - Добовий графік активного P та реактивного Q навантажень (зимові робочі дні) заводу промислових насосів

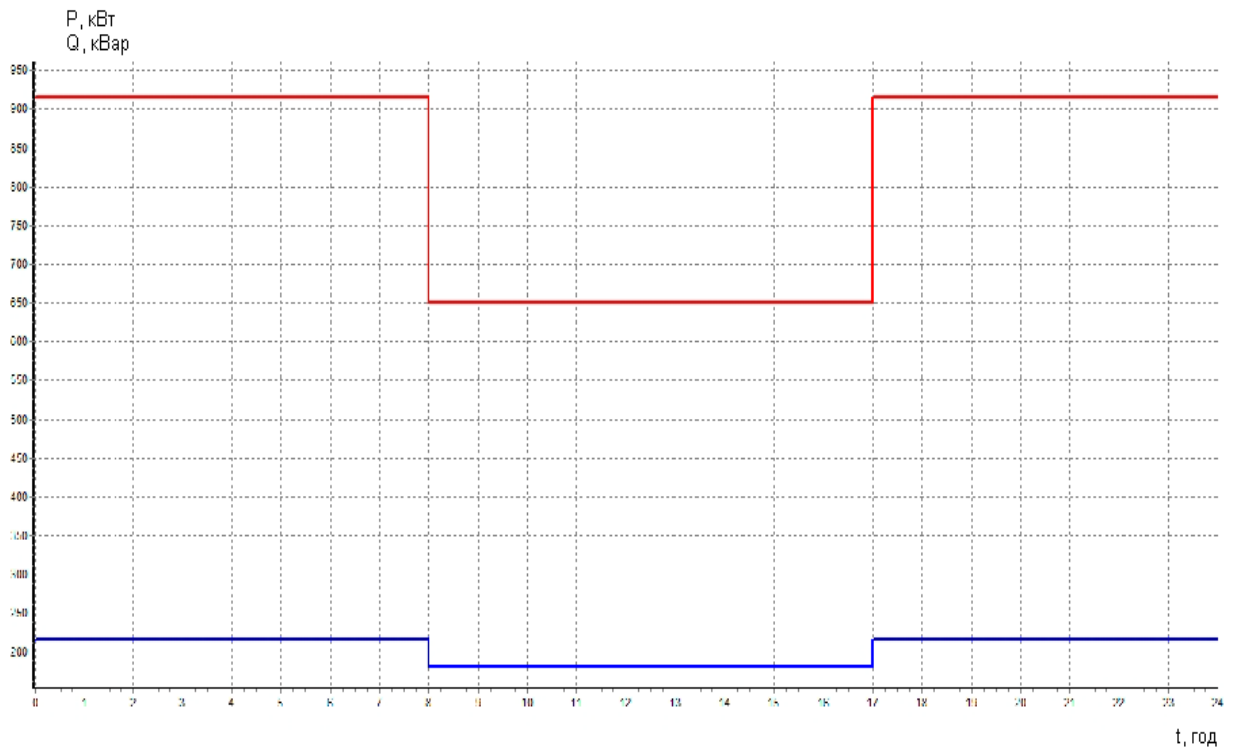


Рисунок 1.4.3. - Добовий графік активного P та реактивного Q навантажень (літні вихідні дні) заводу промислових насосів

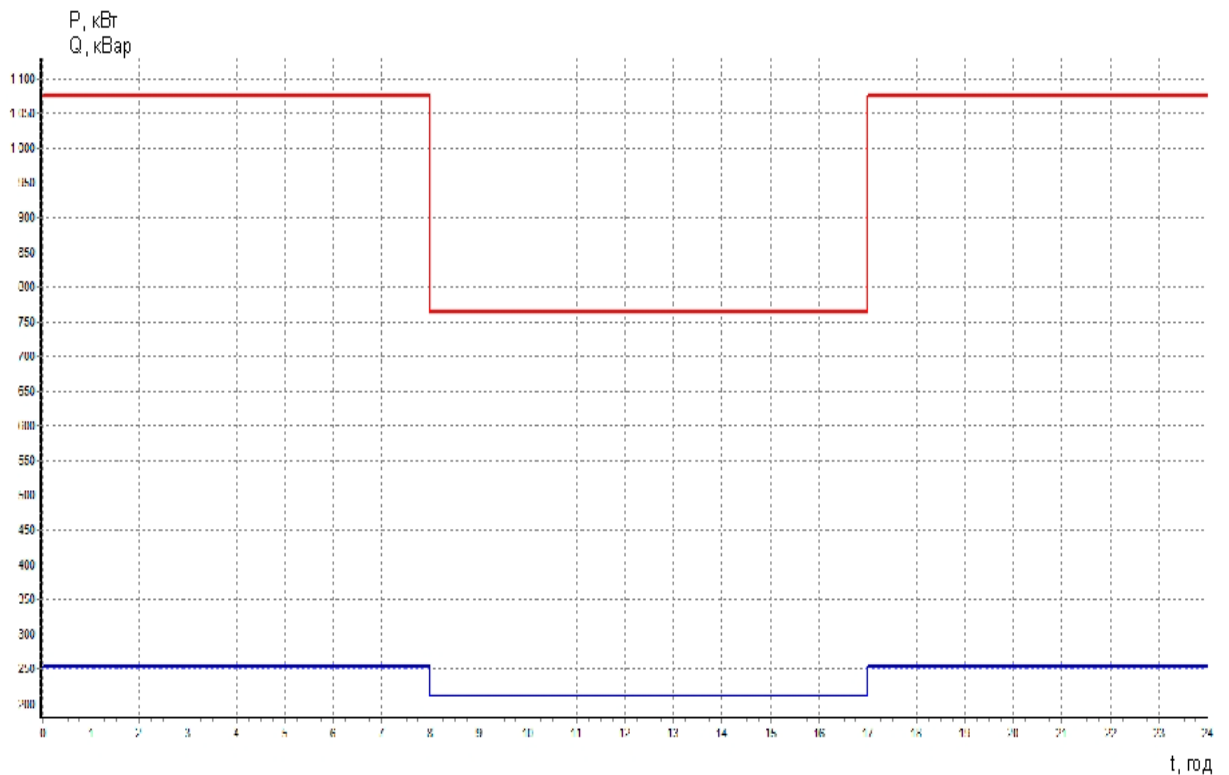


Рисунок 1.4.4. - Добовий графік активного P та реактивного Q навантажень (зимові вихідні дні) заводу промислових насосів

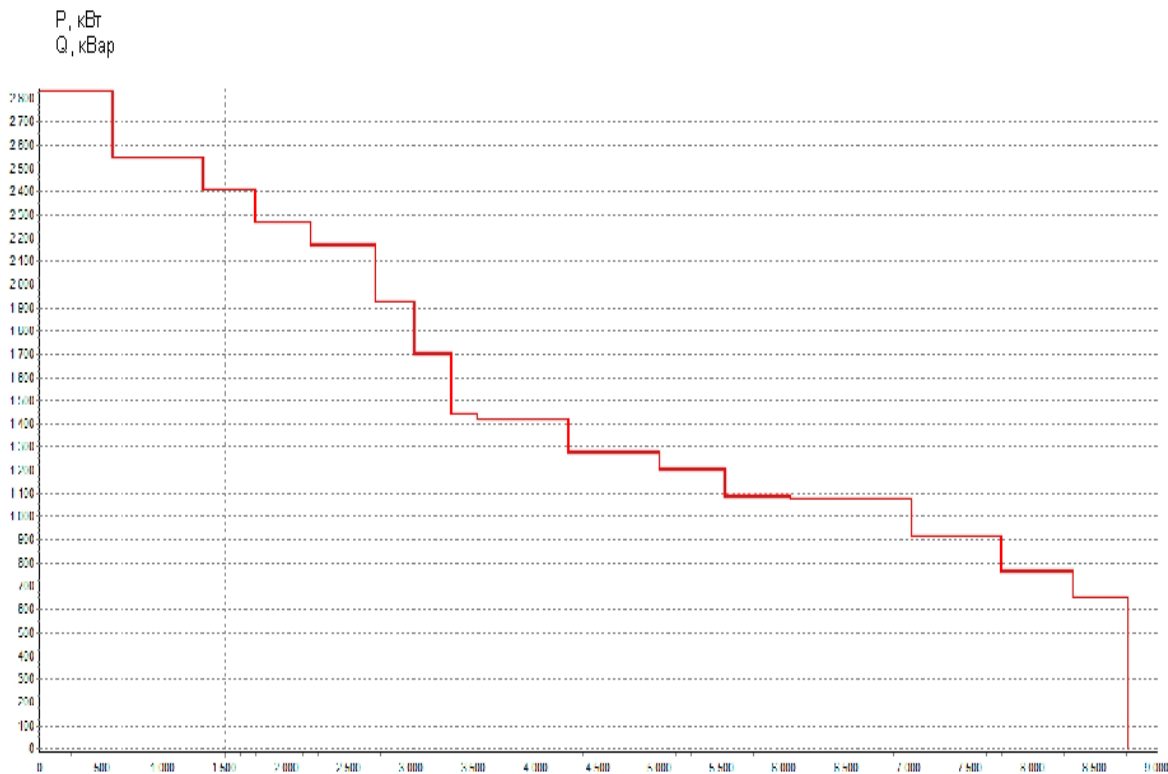


Рисунок 1.4.5. - Річний графік активного Р навантаження за тривалістю для заводу промислових насосів

Розрахункові величини графіків електричного навантаження заводу промислових насосів:

Споживання енергії по заводу промислових насосів

$$S_p = 2863,38 \text{ МВА}$$

Річне споживання для заводу активної енергії заводу промислових насосів

$$W_p = 13708647 \text{ кВт год.}$$

Річне споживання для заводу реактивної енергії заводу промислових насосів

$$V_p = 2077371 \text{ кВар год.}$$

Кількість годин використання максимуму потужності для заводу промислових насосів

$$T_{max} = 4842,233 \text{ год.}$$

Річний час максимальних втрат для заводу промислових насосів

$$\tau = 3240,635 \text{ год}$$

2. Побудова картограми електричних навантажень заводу промислових насосів

Для вибору розміщення централізованого електронагрівального пункту (ЦЕН) та трансформаторних підстанцій (ТП) на генеральному плані промислового підприємства складають картограму електричних навантажень. Ця картограма відображає розподіл і величину електричних навантажень по території підприємства, що дозволяє оптимально планувати розташування обладнання для забезпечення ефективного електропостачання.

Для побудови картограми навантажень цехів і заводу промислових насосів в цілому визначаються для кожного цеху заводу радіуси кіл R_i площа πR_i^2 , котрих у обраному масштабі рівна повному навантаженню цеху P_i , кВА.

$$R_1 = \sqrt{\frac{P_1}{\pi m}} = \sqrt{\frac{P_{\text{р.осв}} + P_{\text{р.сил}}}{\pi m}} = \sqrt{\frac{368,9 + 14,38}{3,14 \cdot 0,1}} = 49,4 \text{ м}$$

Проведення аналогії між масами і електричними навантаженнями цехів P_i , дозволяє визначити координати їх центрів тяжіння (X, Y) для всього підприємства:

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n X_i P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} = \frac{480648,76}{3001,2} = 160,15 \quad Y = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} = \frac{1299470,09}{3001,2} = 432,98$$

На картограму електричних навантажень, окрім силових навантажень цехів, також наносять і освітлювальні навантаження. Вони зображуються у вигляді секторів, кожен з яких має центральний кут α , що пропорційний величині освітлювального навантаження відносно загального навантаження цеху.

Центральний кут α сектора, який зображає освітлювальне навантаження на картограмі електричних навантажень, відповідає такій площі сектора, яка у вибраному масштабі є пропорційною до площі приміщення, що потребує освітлення.

$$\alpha_i = \frac{P_{\text{і.осв}} \cdot 360}{P_i} = \frac{14,38 \cdot 360}{383,34} = 13,1^\circ$$

Для інших цехів розрахунків зводимо до таблиці 2.1.

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

Таблиця 2.1. Дані для побудови картограми електричних навантажень та розрахунку умовного центру електричних навантажень заводу промислових насосів

№ п/п	Найменування	Р _{р.сид.} , 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	Прохідна заводу	7,99	1,78	9,77	0,05	7,89	65,59	15,60	410,30	152,41	4008,63
2	Термічний цех	492,94	3	495,94	0,05	56,19	2,18	105,80	568,70	52470,45	282041,08
3	Ливарний цех	356,86	11,11	367,97	0,05	48,40	10,87	130,90	595,50	48167,27	219126,14
4	Склад металу	45,93	1,84	47,77	0,05	17,44	13,87	233,30	675,30	11144,74	32259,08
5	Адміністративна будівля	62,31	16,46	78,77	0,05	22,39	75,23	194,90	597,40	15352,27	47057,20
6	Склад матеріалів	88,14	2,08	90,22	0,05	23,97	8,30	268,60	589,80	24233,09	53211,76
7	Електроцех	341,73	2,84	344,57	0,05	46,84	2,97	231,10	497,20	79630,13	171320,20
8	Зварювальна дільниця	278,28	13,13	291,41	0,05	43,07	16,22	234,30	387,50	68277,36	112921,38
9	Склад металолома	32,71	0,9	33,61	0,05	14,63	9,64	328,50	361,30	11040,89	12143,29
10	Цех обробки деталей	368,96	14,38	383,34	0,05	49,40	13,50	74,70	342,20	28635,50	131178,95
11	Збиральний цех	405,51	15,32	420,83	0,05	51,76	13,11	148,20	352,00	62367,01	148132,16
12	Випробувальне відділення	200,41	9,36	209,77	0,05	36,54	16,06	238,60	229,50	50051,12	48142,22
13	Модельно-комплектувальний цех	160,91	6,56	167,47	0,05	32,65	14,10	129,20	198,20	21637,12	33192,55
14	Склад готових виробів	54,94	1,42	56,36	0,05	18,94	9,07	119,80	61,90	6751,93	3488,68
	Територія заводу		3,4	3,4	0,05	4,65	360,00	216,90	366,70	737,46	1246,78
	Всього по заводу	2897,62	103,58	3001,20						480648,76	1299470,09

3. Техніко-економічне обґрунтування схем електропостачання заводу промислових насосів

3.1. Вибір напруги та схеми зовнішнього електропостачання заводу промислових насосів

Виходячи з викладених теоретичних положень, виконуємо техніко-економічне порівняння варіантів схем зовнішнього електропостачання для підприємства з виробництва промислових насосів. У процесі порівняння враховується напруга живлення, вартість обладнання та ліній, втрати електроенергії, гнучкість і надійність системи. На рисунку 3.1а представлено варіант підключення до зовнішньої мережі із застосуванням системи електропередачі напругою 10 кВ. На рисунку 3.1б наведено альтернативне рішення – схема живлення заводу з напругою 35 кВ.

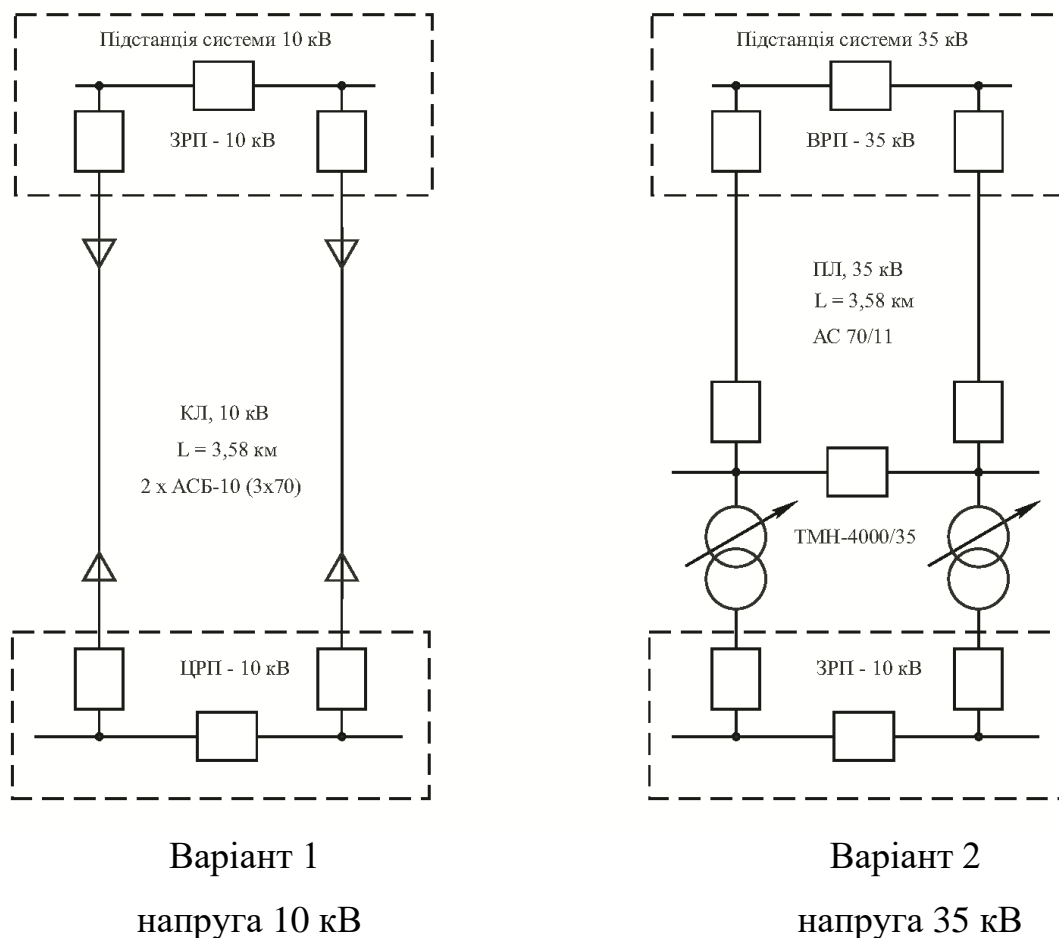


Рисунок 3.1-Схема зовнішнього електропостачання заводу промислових насосів.

Передбачається, що нашій завод насосів може отримувати живлення від ПС 35/10 кВ, розташованої на відстані 3,581 км, за допомогою кабельних ліній КЛ напругою 10 кВ або повітряних ліній напругою 35 кВ. Отже, можна розглянути два варіанти зовнішнього електропостачання заводу: перший - живлення споживачів кабельними лініями 10 кВ (рис. 3.1а), другий - живлення споживачів повітряними лініями 35 кВ з головною знижувальною підстанцією 35/10 кВ (рис. 3.1б).

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

Розрахункове значення струму, А:

$$I_p = \frac{S_p}{2\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{2863,4}{2\sqrt{3} \cdot 10} = 165,32 \text{ А}$$

Обираємо до встановлення 2 КЛ марки АСБ-10(3х70). Паспортні дані обраної кабельної лінії: $K_{КЛ} = 914,17$ тис. грн./км, $I_{доп} = 210$ А, $\Delta P_{1км} = 44$ кВт/км.

Перевірка вибраних КЛ за умовою нагріву в нормальному режимі становить:

$$I_p = 82,66 \text{ А} \leq K_n I_{доп} = 0,92 \cdot 210 = 193,2 \text{ А}$$

Перевірка вибраних КЛ за умовою нагріву в аварійному режимі становить:

$$I_{p.ав} = 2I_p = 2 \cdot 82,66 = 165,32 \text{ А} \leq K_{ан} K_n I_{доп} = 1,25 \cdot 1 \cdot 210 = 262,5 \text{ А}$$

Таким чином, обрана КЛ марки ААШВ-10(3х70) задовольняють умовам перевірки. Коеф. завантаження КЛ становить в нормальному режимі наступне:

$$K_3 = \frac{I_p}{I_{доп}} = \frac{82,66}{210} = 0,39$$

Втрати потужності в обраній нами кабельній лінії:

$$\Delta P_{кл} = \Delta P_{1кл} I_{\Sigma} K_3^2 = 44 \cdot 7,162 \cdot 0,1521 = 47,93 \text{ кВт}$$

Втрати електроенергії в обраній кабельній лінії буде становити:

$$\Delta W_{л} = \Delta P_{л} \tau = 47,93 \cdot 3240,85 = 155333,94 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Вартість втрат електроенергії наступні буде мати наступний вираз:

$$C_{втр} = \Delta W_{\Sigma} C_o = 155333,94 \cdot 8,502 \cdot 0,001 = 1320,65 \text{ тис.грн}$$

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

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

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

№з/п	Назва елемента схеми	Од. виміру	Кількість	Вартість	Всього
1	КЛ 10 кВ	км	7,162	914,17	6547,28
2	Траншея	км	3,581	101,3	362,75
3	Шафи КРП серії КУ-10	шт.	2	304,7	609,4
Всього					7519,44

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

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

№ з/п	Назва елемента схеми	K_j , тис.грн.	P_{aj} , %	C_{aj} , тис.грн.	P_{ej} , %	C_{aj} , тис.грн.	C_j , тис.грн.
1	КЛ 10 кВ	6547,286	5	327,364	5	327,364	654,728
2	Траншея	362,755	5	18,1377	5	18,1377	36,2755
3	Шафи КРП серії КУ-10	609,4	15	91,41	5	30,47	121,88
Всього							812,88

Розрахункова схема одного ланцюга живлення заводу промислових насосів містить вимикач напругою 10 кВ, КЛ сумарною довжиною $l_{кл1} = 3,581$ км. Параметри надійності для даних елементів наступні:

- вимикач має: $K_{п} = 2 \cdot 10^{-3}$, $\lambda_a = 4 \cdot 10^{-3}$ 1/рік, $T_b = 0,45 \cdot 10^{-3}$ рік;
- КЛ має: $T_b = 0,25067 \cdot 10^{-4}$ рік, $\lambda_a = 0,28648$ 1/рік, $K_{п} = 0,3222 \cdot 10^{-5}$.

Параметр потоку відмов ланцюга становитиме:

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i = 0,004 + 0,28648 = 0,29048 \text{ 1/рік}$$

Середній час відновлення одного ланцюга складає:

$$T_{\epsilon} = \frac{\sum \lambda_i T_{\epsilon i}}{\lambda} = \frac{(0,004 \cdot 0,00045 + 0,28648 \cdot 0,00025067)}{0,29048} = 0,00025341 \text{ рік}$$

Коефіцієнт планового простою одного ланцюга визначаємо таким чином:

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

Коефіцієнт аварійного простою одного ланцюга становитиме наступне:

$$K_a = \lambda T_{\epsilon} = 0,29048 \cdot 0,00025341 = 0,0000736$$

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

Коеф. планового простою обладнання характеризує частку часу, протягом якого обладнання недоступне для експлуатації через регламентовані або аварійні зупинки.

$$K_{an} = 0.5\lambda K_n^2 = 0,5 \cdot 0,29048 \cdot 0,00000576 = 0,000000836$$

Коеф аварійного простою обох ланцюгів, що одночасно вийдуть з ладу:

$$K_a^{(2)} = K_a^2 + 2K_{an} = 0,00000000541 + 2 \cdot 0,000000836 = 0,00000167$$

Середньорічний час аварійного простою (тривалість простою обладнання):

$$T_a = K_a^{(2)} \cdot 8760 = 0,00000167 \cdot 8760 = 0,0147$$

Середньорічне активне навантаження нашого заводу промислових насосів:

$$P_{cp} = \frac{P_p T_{max}}{8760} = \frac{2831,7 \cdot 4842,43}{8760} = 1,57 \cdot 10^3 \text{ кВт}$$

Очікуваний збиток від аварійного недовідпуску заводу промислових насосів:

$$Y = Y_0 P_{cp} T_a = 378 \cdot 1,57 \cdot 0,0147 = 8,72$$

Зведені витрати для варіанту №1 для заводу промислових насосів:

$$Z_i = E_n K_i + C_i + C_{втр.i} + Y_i = 0.12 \cdot 7519,44 + 812,88 + 1320,65 + 8,72 = 3044,59$$

Зведені витрати для варіанту електроживлення №1, що передбачає подачу електроенергії на напрузі 35 кВ через розраховуються за аналогічною методикою. Результати техніко-економічного порівняння для заводу насосів, варіантів живлення схем № 1 і № 2 зовнішнього електропостачання наведені в табл. 3.3.

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

Показники	Варіанти	
	1	2
	10 кВ	35 кВ
Капітальні вкладення	7519,44	5491,58
Поточні витрати	812,88	1059,91
Вартість втрат електроенергії	1320,65	1212,26
Збиток	8,72	14,39
Зведені витрати	3044,59	2945,55

З таблиці 3.3 видно, що приведені витрати на варіанти схем зовнішнього електропостачання №1 та № 2 різняться за невеликим значенням. Тому, я як проектувальник за своїм вибором приймаю до подальшим розрахунком варіант №1.

3.2. Вибір напруг та схем внутрішнього електропостачання заводу промислових насосів

Для внутрішніх розподільчих мереж використовуємо напругу 10 кВ.

В цехових розподільчих мережах для живлення силових і освітлювальних електроприймачів використовуємо напругу 380/220 В.

Розподілення електроенергії на заводі промислових насосів виконується за радіальною, магістральною чи змішаною схемою в залежності від територіального розміщення навантажень, споживаємої потужності, надійності електропостачання. Трансформаторні підстанції розташовані навколо місця розташування РП.

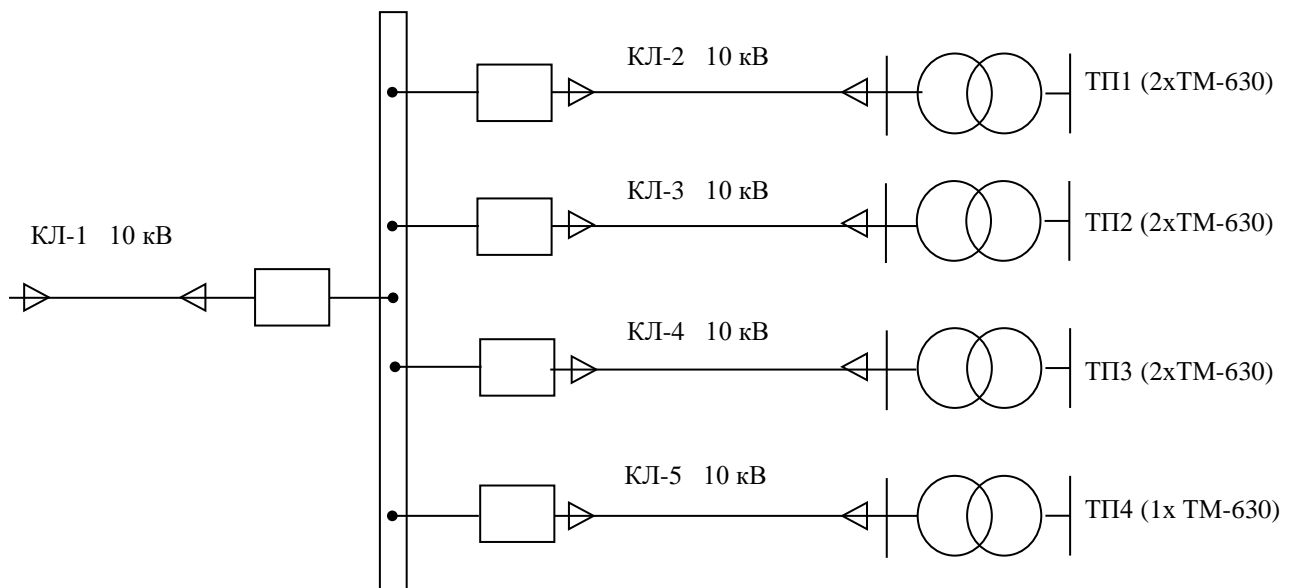


Рисунок 3.2. – Схема внутрішнього електропостачання заводу промислових насосів.

Аналіз варіантів порівняння виявив, що варіант магістральної схеми за економічними показниками вигідніший, але з боку надійності варіант радіальної схеми більш надійніший.

Тому, для подальшого проектування приймаю радіальну схему розподілення енергії (рис 3.2) для заводу промислових насосів.

4. Режими реактивної потужності системи електропостачання заводу промислових насосів

4.1 Розрахунок балансу реактивної потужності на заводі промислових насосів.

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

Сумарне низьковольтне електричне навантаження заводу становить:

$$P_n = \sum P_{ТП} = 2845,3 \text{ кВт}$$

$$Q_n = \sum Q_{ТП} = 1934,5 \text{ кВАр}$$

Сумарні втрати в цехових чи корпусних КТП заводу промислових насосів:

$$\Delta P_m = \sum \Delta P_{ТП} = 33,9 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_m = \sum \Delta Q_{ТП} = 260,5 \text{ кВАр}$$

Сумарне високовольтне навантаження заводу промислових насосів приймаємо:

$$P_e = \sum P_{ВН} = 0 \text{ кВт} \quad Q_e = \sum Q_{ВН} = 0 \text{ кВАр}$$

Сумарне споживання активної потужності заводу насосів має значення:

$$P_p = P_n + \Delta P_m + P_e = 2845,3 + 33,9 + 0 = 2879,3 \text{ кВт},$$

Сумарне споживання реактивної потужності заводу насосів має значення:

$$Q_p = Q_n + \Delta Q_m + Q_e = 1934,5 + 260,5 + 0 = 2195,1 \text{ кВАр}$$

Реактивна потужність, що споживається від системи має значення:

$$Q_e = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi_c = 2879,3 \cdot 0,15 = 431,9 \text{ кВАр}$$

Потужність компенсуючих пристроїв заводу насосів становить:

$$Q_{КП} = Q_p - Q_e = 2195,1 - 431,9 = 1763,16 \text{ кВАр}$$

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		30

Мінімальна кількість трансформаторів заводу промислових насосів має кількість:

$$N_0 = \frac{P_n}{\beta \cdot S_{ном}} = \frac{2845,4}{0,7 \cdot 630} = 6,5 \approx 7 \text{ шт.}$$

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

Варіант 1.

Кількість заводських комплектних трансформаторів $N = N_0 = 7$ шт.

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

$$Q_1 = \sqrt{(N \cdot \beta \cdot S_{ном})^2 - (P_n + \Delta P_m)^2} = \\ = \sqrt{(7 \cdot 0,7 \cdot 630)^2 - 2879,28^2} = 1113,25 \text{ кВАр}$$

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

$$Q_{кн} = (Q_n + \Delta Q_m) - Q_1 = 2195,05 - 1113,25 = 1081,8 \text{ кВАр}$$

Потужність КП, що встановлюються в заводській мережі 10 кВ:

$$Q_{кв} = Q_{кп} - Q_{кн} = 1763,16 - 1081,8 = 681,8 \text{ кВАр}$$

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

Таблиця 4.1.1 Результати розрахунку потужності компенсуючих пристроїв для заводу промислових насосів

№ варіанту	Кількість тр-торів	Q_1 , квар	$Q_{кн}$, кВАр	$Q_{кв}$, квар
1	7	1113,25	1081,8	681,36
2	8	2038,76	0	1763,16
3	9	2731,8	0	1763,16

Надалі у проєкті будуть розглядатися варіанти компенсації реактивної потужності залежно від кількості трансформаторів, встановлених на підприємстві.

Зокрема, аналізуватиметься: $N = N_0$, $N = N_0 + 1$, $N = N_0 + 2$.

Варіант 1. $N = N_0$ для 7 шт.

$$Q_1 = \sqrt{(N \cdot \beta \cdot S_{ном})^2 - (P_n + \Delta P_m)^2} = \sqrt{(7 \cdot 0,7 \cdot 630)^2 - 2879,28^2} = 1113,25 \text{ кВАр}$$

Потужність компенсуючих пристроїв (КП), які встановлюються в мережі напругою до 1000 В, $Q_{кн}$ визначається з умови балансу реактивної потужності на шинах трансформаторної підстанції (ТП). Це дозволяє зменшити перетоки реактивної потужності через трансформатор і покращити коефіцієнт потужності системи.

$$Q_{кн} = (Q_n + \Delta Q_m) - Q_1 = 2195,05 - 1113,25 = 1081,8 \text{ кВАр}$$

Потужність компенсуючих пристроїв (КП), які встановлюються в мережі напругою 10 кВ, позначається як $Q_{кв}$, і визначається з умови балансу реактивної потужності на шинах 10 кВ трансформаторної підстанції або головного розподільчого пункту (ГРП).

$$Q_{кв} = Q_{кп} - Q_{кн} = 1763,16 - 1081,8 = 681,36 \text{ кВАр}$$

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

Результати розрахунку зведено в таблицю 4.1.1.

Таблиця 4.1.2. Розрахунок потужності компенсуючих пристроїв

№ варіанту	Кількість трторів	Q_1 , кВАр	$Q_{кн}$, кВ Ар	$Q_{кв}$, кВАр
1	7	1113,25	1081,8	681,36
2	8	2038,76	0	1763,16
3	9	2731,8	0	1763,16

4.2. Вибір кількості, потужності та місця розташування компенсуючих пристроїв на заводі промислових насосів

Вибір кількості, потужності та місця розташування компенсуючих пристроїв проводиться на підставі економічного порівняння варіантів. Критерієм економічності є мінімум приведених витрат.

Необхідно зазначити, що в таблицях 4.2.1-4.2.4. потужність КП наведена, враховуючи кількість і номінальну потужність попередньо обраних стандартних батарей конденсаторів. Тому весь подальший розрахунок проводиться на основі врахування цього факту. Тобто надалі величина реактивної потужності, що генерується КП береться реальна, а не розрахункова.

Таблиця 4.2.1 Вибір типу та потужності БК при кількості заводських комплектних трансформаторів $N_T = N_0 = 7$

№ КТП	К-сть т-рів	$P_p, \text{кВт}$	$Q_p, \text{кВАр}$	$Q_{np}, \text{кВАр}$	$Q_{кп}, \text{кВАр}$	Кількість та потужність БК, шт.·кВАр	Сума $Q_{БК}, \text{кВАр}$	$Q_{кп} - Q_{бк}, \text{кВАр}$	K_3	$S_p, \text{кВА}$
ТП 1	2	854,5	416,3	218,53	197,77	2·100;	200	-2,23	0,7	881,451
ТП 2	2	795,5	737,5	380,92	356,58	2·166;	332	24,58	0,71	892,889
ТП 3	2	822,4	667,1	318,72	348,38	2·166;	332	16,38	0,7	888,051
ТП 4	1	406,8	374,1	170,28	203,82	1·200;	200	3,82	0,7	442,49

Сумарна потужність БК на стороні 0,4 кВ $Q_{кн} = 1064$ квар.

Кількість та потужність БК на стороні 10 кВ $Q_{кв} = 750$ квар.

Таблиця 4.2.2 Вибір типу та потужності БК при кількості заводських трансформаторів $N_T = N_0 + 1 = 8$

№ КТП	К-сть т-рів	$P_p, \text{кВт}$	$Q_p, \text{кВАр}$	$Q_{np}, \text{кВАр}$	$Q_{кп}, \text{кВАр}$	Кількість та потужність БК, шт.·кВАр	Сума $Q_{БК}, \text{кВАр}$	$Q_{кп} - Q_{бк}, \text{кВАр}$	K_3	$S_p, \text{кВА}$
ТП 1	3	854,5	416,3	1010,03	0		0	0	0,5	950,514
ТП 2	2	795,5	737,5	380,92	356,58	2·166;	332	24,58	0,71	892,889
ТП 3	2	822,4	667,1	318,72	348,38	2·166;	332	16,38	0,7	888,051
ТП 4	1	406,8	374,1	170,28	203,82	1·200;	200	3,82	0,7	442,49

Сумарна потужність заводських БК на стороні 0,4 кВ становить $Q_{кн} = 864$ квар. Кількість та потужність заводських БК на стороні 10 кВ $Q_{кв} = 900$ квар.

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

№ КТП	К-сть т-рів	P_p , кВт	Q_p , кВАр	Q_{np} , кВАр	$Q_{кп}$, кВАр	Кількість та потужність БК, шт.·кВАр	Сума $Q_{БК}$, кВАр	$Q_{кп-}$, $Q_{бк}$, кВАр	K_3	S_p , кВА
ТП 1	3	854,5	416,3	1010,03	0		0	0	0,5	950,514
ТП 2	2	795,5	737,5	380,92	356,58	2·166;	332	24,58	0,71	892,889
ТП 3	3	822,4	667,1	1036,33	0		0	0	0,56	1058,94
ТП 4	1	406,8	374,1	170,28	203,82	1·200;	200	3,82	0,7	442,49

Сумарна потужність заводських БК на стороні 0,4 кВ будуть $Q_{кн} = 532$ квар. Кількість та потужність заводських БК на стороні 10 кВ матимуть $Q_{кв} = 1350$ квар.

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

Втрати активної потужності в низьковольтних заводських КП матимуть:

$$\Delta P_{кн} = P_{ПИТ}^{кн} \cdot Q_{кн} = 0,0045 \cdot 1064 = 4,79 \text{ кВт}$$

Втрати активної потужності в високовольтних заводських КП матимуть:

$$\Delta P_{кв} = P_{ПИТ}^{кв} \cdot Q_{кв} = 0,003 \cdot 750 = 2,25 \text{ кВт}$$

Втрати активної потужності в комплектних ТП, що викликані передачею реактивної потужності загальним виразом становитиме:

$$\Delta P_{ТП} = \frac{P_{нн}^2 + Q_1^2}{U_H^2} R_T \cdot 10^{-3} = \frac{2845,35^2 + 1113,2^2}{10^2} \cdot 0,23 \cdot 0,001 = 21,47 \text{ кВт}$$

$$R_{екв} = \frac{\Delta P_K \cdot U_{ном}^2}{N \cdot S_{ном}^2} \cdot 10^3 = \frac{6,5 \cdot 10^2}{7 \cdot 630^2} \cdot 1000 = 0,23 \text{ Ом}$$

Вартість заводських КП на стороні 0,4 кВ матимуть значення:

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

$$K_{KH} = \sum_{i=1}^n N_{KH_i} \cdot K_{KH_i} = 2 \cdot 43,758 + 4 \cdot 60,521 + 1 \cdot 82,971 = 412,57 \text{ тис.грн.}$$

Вартість заводських КП на високовольтній стороні 10 кВ матимуть значення:

$$K_{KB} = \sum_{i=1}^n N_{KB_i} \cdot K_{KB_i} = 1 \cdot 90,311 + 1 \cdot 75,294 = 165,61 \text{ тис.грн.}$$

Вартість заводських комплектних КТП транс-рів, матимуть значення:

$$K_{КТП} = N_{КТП(2)} \cdot K_{КТП(2)} + N_{КТП(1)} \cdot K_{КТП(1)} = 3 \cdot 1637,37 + 1 \cdot 955,74 = 5867,86 \text{ тис.грн.}$$

Приведені витрати по заводу промислових насосів на компенсацію реактивної потужності:

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

$$= 0,12 \cdot (412,57 + 165,61 + 5867,86) + 8,502 \cdot 3406,82 \cdot (4,79 + 2,25 + 21,47) \cdot 10^{-3} = 1559,02 \text{ тис.грн.}$$

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

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

№ вар.	Q_{KH} , квар	ΔP_{KH} , кВт	Q_{KB} , квар	ΔP_{KB} , кВт	N_{TP} , шт.	$R_{екв}$, Ом	$S_{пр}$, кВА	$\Delta P_{ТП}$, кВт	K_{KH} , тис. грн.	K_{KB} , тис. грн.	$K_{ТП}$, тис. грн.	Z , тис. грн.
1	1064	4,79	750	2,25	7	0,23	3055,38	21,47	412,57	165,61	5867,9	1559,0
2	864	3,89	900	2,7	8	0,2	3500,37	24,51	325,05	180,62	6823,6	1736,4
3	532	2,39	1350	4,05	9	0,18	3944,46	28,01	204,01	197,06	7779,3	1931,8

Розрахунок електричних навантажень на заводі промислових насосів в мережі вище 1000 В з урахуванням компенсації представлені в «Додаток А.» пояснювальної записки.

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

5. Вибір кількості, потужності, місця розташування трансформаторів на заводі промислових насосів

Під час визначення кількості трансформаторів, їх номінальної потужності, типу конструкції та оптимального розміщення на території підприємства необхідно враховувати цілу низку техніко-економічних і експлуатаційних чинників. Серед основних: обчислене навантаження споживачів, допустима перевантажувальна здатність трансформаторів, категорія електроспоживачів за ступенем надійності електропостачання, характеристики навколишнього середовища (температурний режим, вологість, агресивність середовища), рівень питомої електричної густини навантаження на площу, наявність систем компенсації реактивної потужності, а також архітектурно-планувальні особливості будівель і споруд.

Згідно з вимогами державного стандарту ГОСТ 14209-85 "Трансформаторы силовые масляные. Допустимые перегрузки", при проектуванні трансформаторних підстанцій необхідно враховувати кліматичні умови місцевості. Для умов міста Кропивницький приймається еквівалентна річна температура охолоджуючого середовища ($\Theta_{\text{охол}}$) на рівні 10 °С. У випадку роботи підприємства в двозмінному режимі експлуатації вводиться поправковий коефіцієнт $K_1 = 1,08$, який дозволяє врахувати тривалість добового завантаження. Крім того, для аварійних ситуацій, коли допускається перевантаження трансформаторів протягом 8–24 годин, застосовується коефіцієнт допустимого перевантаження $K_2 = 1,4$, що дозволяє тимчасово підвищити рівень навантаження без шкоди для трансформатора.

Для спрощення і наочності, вибір буде проводитись у вигляді таблиці 5.

Таблиця 5. Вибір кількості потужності трансформаторів та місця розташування цехових (ТП) на заводі промислових насосів.

№ ТП	К-сть	$S_{\text{роз}}$, кВА	Марка	K_3	$S_{\text{ном}} > S_p/K_1$	$S_{\text{ном}} > S_p/K_2$	Тип КТП
ТП-1	2	881,45	ТМ-630-10/0,4	0,70	816	630	Вбудована
ТП-2	2	892,89	ТМ-630-10/0,5	0,71	827	638	Вбудована
ТП-3	2	888,05	ТМ-630-10/0,6	0,70	822	634	Вбудована
ТП-4	1	442,49	ТМ-630-10/0,7	0,70	410	316	Вбудована

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

6. Розрахунок струмів короткого замикання та вибір високовольтного електрообладнання заводу промислових насосів

6.1. Розрахунок струмів коротких замикань в електричній системі заводу промислових насосів

Для проведення розрахунку струмів короткого замикання (КЗ) попередньо формується однолінійна схема електропостачальної системи, яка відображає всі ключові елементи мережі. У таку структурну схему включаються усі джерела живлення, що можуть брати участь у формуванні струму в точці виникнення КЗ, а також усі проміжні елементи, що з'єднують ці джерела з місцем аварії. До таких елементів належать силові трансформатори, кабельні та повітряні лінії електропередачі, обмежувальні реактори та інші компоненти мережі.

На базі побудованої однолінійної схеми створюється схема заміщення, в якій усі активні елементи системи представляються у вигляді комплексних опорів (імпедансів), приведених до однакових базисних умов (часто обирається базова потужність 100 МВА і відповідна базисна напруга для кожного рівня мережі). Це дозволяє стандартизувати параметри та спростити подальші розрахунки.

Після приведення елементів до єдиного базису, схема заміщення піддається спрощенню – послідовні та паралельні вітки об'єднуються, а розгалуження перетворюються у більш зручні для аналізу еквівалентні схеми. Це дає змогу отримати еквівалентне електричне представлення всієї системи від джерела живлення до точки короткого замикання.

Розрахунок струмів КЗ для мереж з номінальною напругою 10 кВ виконується відповідно до діючих норм і методик, зокрема згідно з положеннями, викладеними у [1], а також відповідно до ДСТУ EN 60909-0:2017, що регламентує визначення струмів короткого замикання в трифазних системах змінного струму.

Перш ніж приступити до визначення струмів КЗ, формується розрахункова однолінійна схема (рис. 6.1.1), на якій візуально позначаються всі вузли мережі, де необхідно провести розрахунок струмів КЗ. На наступному етапі, на основі побудованої однолінійної схеми, розробляється схема заміщення (рис. 6.1.2),

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		37

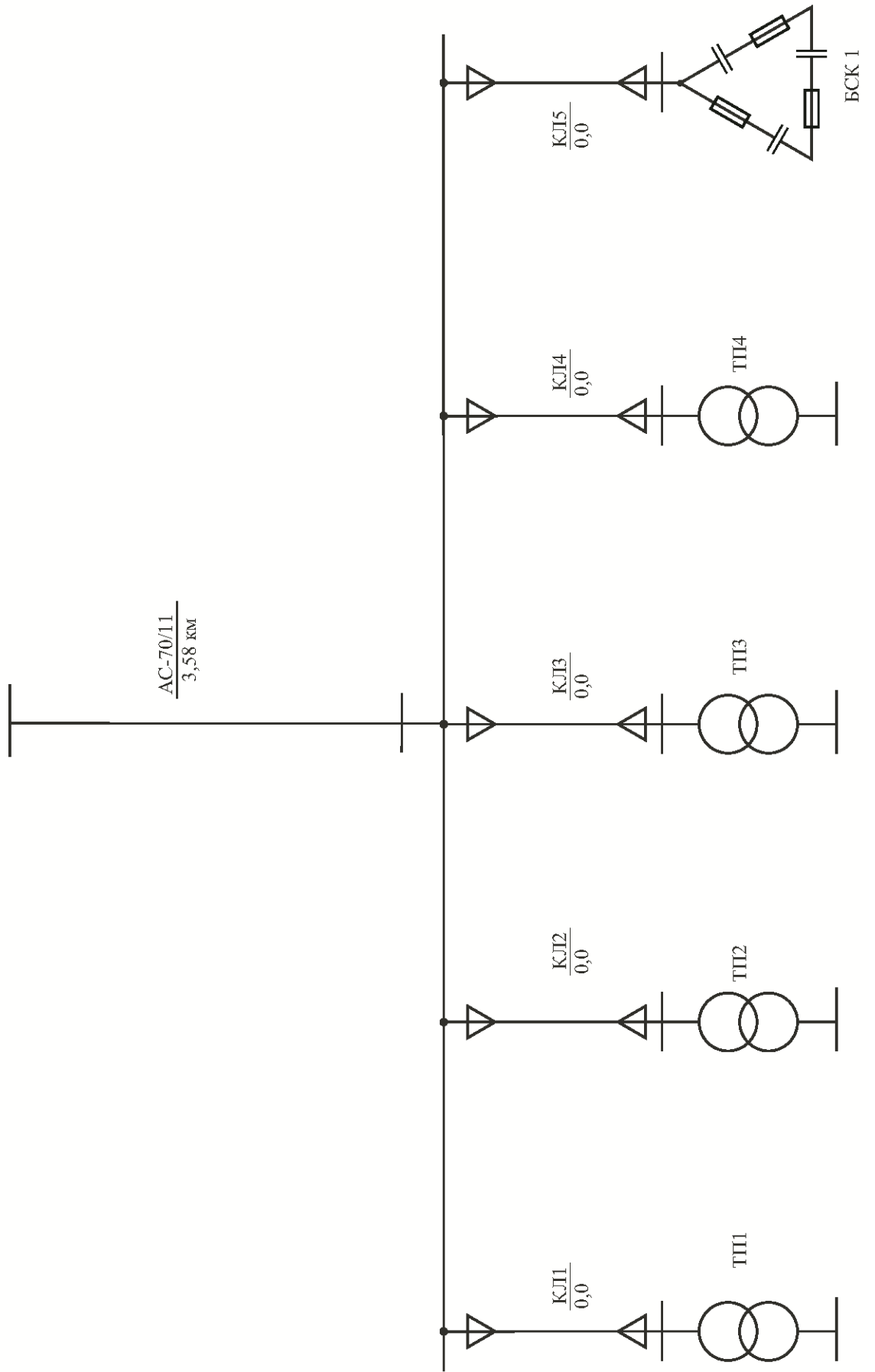


Рисунок 6.1.1 - Розрахункова схема для розрахунку струмів короткого замикання.

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

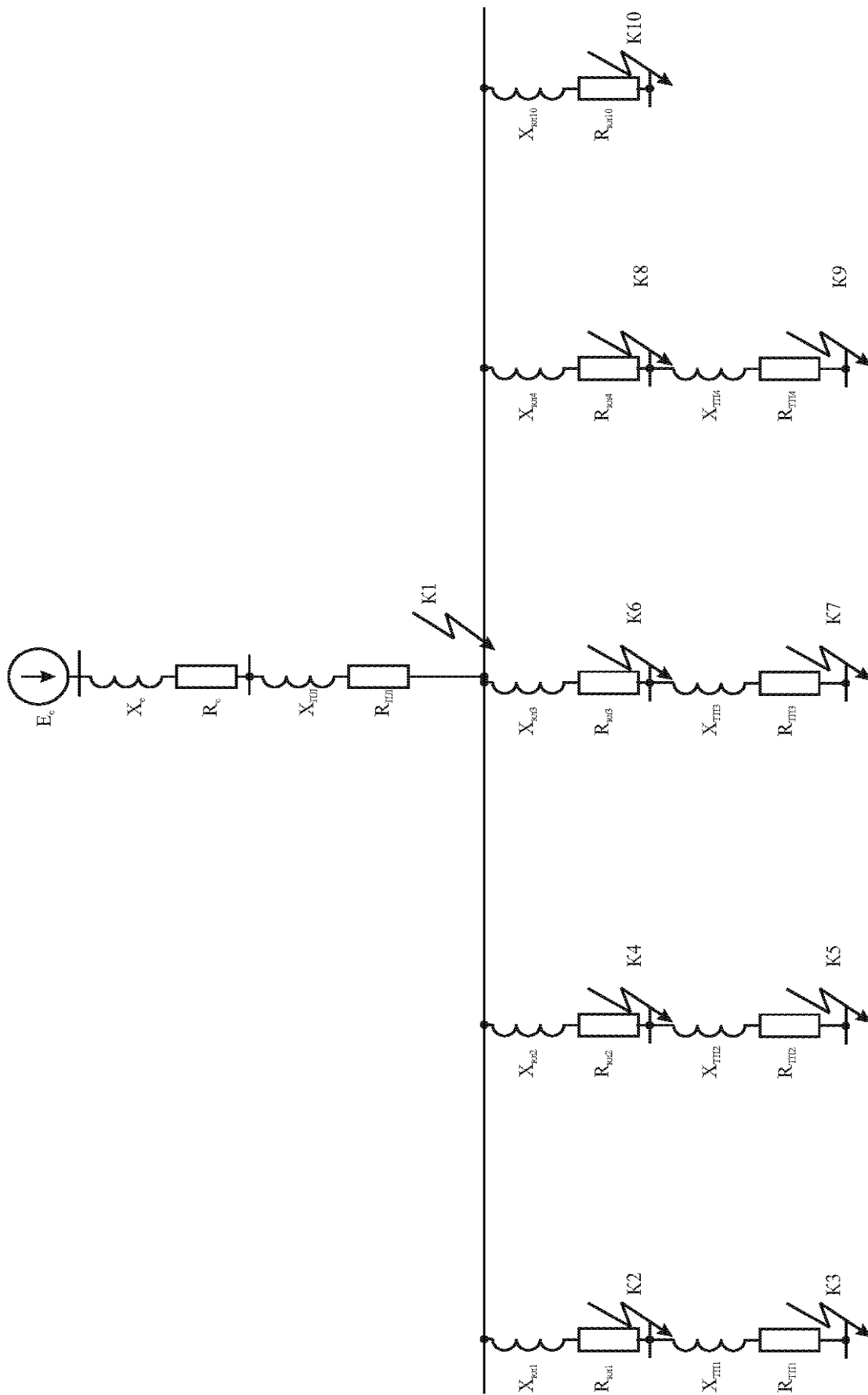


Рисунок 6.1.2 - Схема заміщення мережі заводу промислових насосів для розрахунку струмів короткого замикання.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		39

Виконаємо обчислення активної та реактивної складових опорів основних компонентів системи електропостачання.

Активний та індуктивний опори елементів системи електропостачання відіграють ключову роль у визначенні параметрів електричних режимів мережі:

$$X_c = \frac{U_c^2}{S_{к.з.}} = \frac{10,5^2}{46,95} = 2,348 \text{ Ом}$$

$$R_c = 25 = \frac{2,348}{25} = 0,094 \text{ Ом}$$

Детальний розрахунок активного та індуктивного опорів для повітряної лінії (ПЛ) 10 кВ заводу з заводським кабелем марки АСБ (3×95) довжиною 3,580 км:

Результуючі активний $X_{к1}$, індуктивний $R_{к1}$ та повний опір $Z_{к1}$ до точки кз К1

$$R_{к1} = \frac{r_0 \cdot l}{n_{к1}} = \frac{0,443 \cdot 3,58}{1} = 1,5859 \text{ Ом}$$

$$X_{к1} = \frac{x_0 \cdot l}{n_{к1}} = \frac{0,086 \cdot 3,580}{2} = 0,31 \text{ Ом}$$

Результуючі активний $X_{к1}$, індуктивний $R_{к1}$ та повний опір $Z_{к1}$ до точки кз К1

$$X_{к1} = X_c + X_{к1} = 2,348 + 0,31 = 2,658 \text{ Ом}$$

$$R_{к1} = R_c + R_{к1} = 0,094 + 1,5859 = 1,680 \text{ Ом}$$

$$Z_{к1} = \sqrt{R_{к1}^2 + X_{к1}^2} = \sqrt{1,68^2 + 2,658^2} = 3,144 \text{ Ом}$$

Надперехідний струм короткого замикання в точці К1 від енергосистеми:

$$I_{к1(c)}'' = \frac{U_{ср.ном.}}{\sqrt{3}Z_{к1}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 3,144} = 1,93 \text{ кА}$$

Для визначення сталої часу у точці короткого замикання К1 застосовується:

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		40

$$T_{a1} = \frac{X_{K1}}{\omega R_{K1}} = \frac{2,331}{314 \cdot 0,134} = 0,0554 \text{ с}$$

Ударний коефіцієнт ($k_{y\partial 1}$) в точці короткого замикання К1 визначається:

$$k_{y\partial 1} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{a1}}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,0554}} = 1,835$$

знайдемо розрахунковий струм кабельної лінії КЛ1 на напругу 10 кВ:

$$I_p = \frac{S_p}{n\sqrt{3}U_{cp.ном}} = \frac{881,451}{2 \cdot 1,73 \cdot 10,5} = 24,23 \text{ А}$$

Площа поперечного перерізу каб. лінії залежить від вибраної марки кабелю:

$$F_{ек} = \frac{I_p}{j_{ек}} = \frac{24,23}{1,4} = 17,31 \text{ мм}^2$$

Тепловий імпульс від струму кор. замикання (к.з.) визначає кількість енергії:

$$B_k = I_{K1}^2 (t_{p.z.min} + T_a) = 1,93^2 (1,365 + 0,005) = 5,1 \text{ кА}^2\text{с}$$

Мінімальний переріз каб. лінії (КЛ) при забезпеченні термічної стійкості:

$$F_{min} = \frac{1}{C} \sqrt{B_k} = \frac{1}{94} \sqrt{5,1 \cdot 10^3} = 24,02 \text{ мм}^2$$

Вибираємо необхідний кабель для встановлення, а саме ААШВ-10(3х35), що має наступні характеристики: $r_0 = 0,89 \text{ Ом/км}$, $x_0 = 0,095 \text{ Ом/км}$, $I_{доп кл} = 115 \text{ А}$.

Для визначення активного та індуктивного опорів обраної каб.лінії (КЛ) потрібно

Опори обраної КЛ активний та індуктивний становлять:

$$R_{кл} = r_0 \cdot l_{кл} = 0,89 \cdot 0,037 = 0,033 \text{ Ом}$$

$$X_{кл} = x_0 \cdot l_{кл} = 0,095 \cdot 0,037 = 0,004 \text{ Ом}$$

Розрахункові параметри інших заводських КЛ на $U=10 \text{ кВ}$ зведено в табл.6.1.1.

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

Таблиця 6.1.1. Параметри КЛ 10 кВ для заводу промислових насосів

№ КЛ	l , км	r_0 , Ом/км	x_0 , Ом/км	R , Ом	X , Ом
1	3,580	0,443	0,086	1,586	0,308
2,3	0,037	0,890	0,095	0,033	0,004
4,5	0,028	0,890	0,095	0,025	0,003
6,7	0,023	0,890	0,095	0,020	0,002
8	0,092	0,890	0,095	0,082	0,009
9	0,007	0,620	0,090	0,004	0,001

Для визнач результуючих опорів (акт. R_{K2} , інд. X_{K2} та повного) до точки К2:

$$X_{K2} = X_{K1} + X_{кл} = 2,658 + 0,004 = 2,662 \text{ Ом}$$

$$R_{K2} = R_{K1} + R_{кл} = 1,68 + 0,033 = 1,713 \text{ Ом}$$

$$Z_{K2} = \sqrt{R_{K2}^2 + X_{K2}^2} = \sqrt{1,713^2 + 2,662^2} = 3,166 \text{ Ом}$$

значення надперехідного струму к.з. ($I''_{к2}$) у вузлі К2, виконують спеціальний електротехнічний розрахунок, що враховує параметри мережі та режим її роботи.

$$I''_{K2} = \frac{U_{ср.ном.}}{\sqrt{3}Z_{K2}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 3,166} = 1,91 \text{ кА}$$

Часова стала (T_{a2}) у вузлі К2 визначається наступним чином:

$$T_{a2} = \frac{X_{K2}}{\omega R_{K2}} = \frac{2,662}{314 \cdot 1,713} = 0,0049 \text{ с}$$

Ударний коефіцієнт ($k_{y\partial 2}$) у точці К2 розраховується на основі формули:

$$k_{y\partial 2} = 1 + e^{\frac{-0.01}{T_{a2}}} = 1 + e^{\frac{-0.01}{0,0049}} = 1,13$$

Максимальне значення ударного струму ($i_{y\partial 2}$) у вузлі К2 визначається:

$$i_{y\partial 2} = \sqrt{2}k_{y\partial}I''_{K2} = \sqrt{2} \cdot 1,13 \cdot 1,91 = 3,05 \text{ кА}$$

Активний ($R_{y\partial 2}$) та індуктивний ($X_{y\partial 2}$) опори трансформатора ТМ-630/10 (ТП1):

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

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

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

Сумарні (результуючі) значення акт. (R_{K3}), інд. (X_{K3}) та повного (Z_{K3}) до вузла К3:

$$X_{K3} = (X_{K2} + X_{mp}) \left(\frac{U_{нн}}{U_{вн}} \right)^2 = (2,662 + 9,625) \left(\frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 0,0178 \text{ Ом}$$

$$R_{K3} = (R_{K2} + R_{mp}) \left(\frac{U_{нн}}{U_{вн}} \right)^2 = (1,713 + 1,806) \left(\frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 0,0051 \text{ Ом}$$

$$Z_{K3} = \sqrt{R_{K3}^2 + X_{K3}^2} = \sqrt{0,0051^2 + 0,0178^2} = 0,0185 \text{ Ом}$$

Значення надперехідного струму кор. замикання I''_{K3} у точці К3 визначається:

$$I''_{K3} = \frac{U_{cp.ном.}}{\sqrt{3} Z_{K3}} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 0,0185} = 12,48 \text{ кА}$$

Часова стала (T_{a3}) у вузлі К3 визначається наступним чином:

$$T_{a3} = \frac{X_{K3}}{\omega R_{K3}} = \frac{0,0178}{314 \cdot 0,0051} = 0,0111 \text{ с}$$

Ударний коефіцієнт ($k_{y\partial 3}$) у точці К3 розраховується на основі формули:

$$k_{y\partial 3} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{a3}}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,0111}} = 1,406 \text{ с}$$

Максимальне значення ударного струму ($i_{y\partial 3}$) у вузлі К3 визначається:

$$i_{y\partial 3} = \sqrt{2} k_{y\partial} I''_{K3} = \sqrt{2} \cdot 1,406 \cdot 12,48 = 24,82 \text{ кА}$$

Струми к. з. для інших точок системи електропостачання нашого заводу насосів розраховуються аналогічно. Їхні результати наведено в табл. 6.1.2.

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

Таблиця 6.1.2. Результати значення струмів к. з. системи електропостачання заводу промислових насосів

№ точки к.з.	$R, \text{ Ом}$	$X, \text{ Ом}$	$I_k'', \text{ кА}$	$T_a, \text{ с}$	$k_{y\delta}$	$i_{y\delta}, \text{ кА}$
1	1,6800	2,6580	1,93	0,0050	1,135	3,10
2	1,7130	2,6620	1,92	0,0049	1,130	3,07
3	0,0051	0,0178	12,48	0,0111	1,406	24,82
4	1,7050	2,6610	1,92	0,0050	1,135	3,08
5	0,0051	0,0178	12,48	0,0111	1,406	24,82
6	1,7000	1,6820	2,53	0,0032	1,044	3,74
7	0,0051	0,0164	13,43	0,0102	1,375	26,12
8	1,7820	1,6910	2,47	0,0030	1,036	3,62
9	0,0052	0,0164	13,43	0,0100	1,368	25,98
10	1,6840	2,6590	1,93	0,0050	1,135	3,10

6.2. Вибір високовольтних кабелів для заводу промислових насосів

Згідно з чинними вимогами Правил улаштування електроустановок (ПУЕ), переріз струмопровідних жил для мереж із напругою понад 1000 В слід обирати на основі тривало допустимого струму, з обов'язковим урахуванням перспективного зростання навантаження в майбутньому.

Розрахунковий струм для даної кабельної лінії КЛ1 заводу промислових насосів становитиме:

$$I_p = \frac{S_p}{n\sqrt{3}U_{\text{ср.ном}}} = \frac{881,45}{2 \cdot 1,72 \cdot 10,5} = 24,23 \text{ кА}$$

Для КЛ-1 матимемо (при $T_{\text{max}}=4842,23$ год., $j_{\text{ек}}=1,4$ А/мм²). Для забезпечення живлення кабельної лінії КЛ1 прийнято рішення про встановлення кабелю марки 2хААШв-10 із трижильними мідними жилами перерізом 3×35 мм, а також $r_{\text{окл1}} = 0,89$ Ом/км, $x_{\text{окл1}} = 0,095$ Ом/км, $I_{\text{дон кл}} = 115$ А.

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

Перевірка КЛ-1 на відповідність допустимому I_p струмовому навантаженню:

$$I_p = 24,23 \text{ A} \leq K_n \cdot I_p = 0,9 \cdot 115 = 103,5 \text{ A}$$

Оцінка придатності КЛ при підборі за критерієм дії в умовах аварійного режиму:

$$I_{ав} = 48,46 \text{ A} \leq K_{ан} \cdot K'_n \cdot I_p = 1,35 \cdot 1 \cdot 115 = 155,25 \text{ A}$$

Тепловий імпульс спричинений потенційним струмом короткого замикання:

$$B_{\kappa} = I_{K1}^2 (t_{p.з.мин} + T_a) = 1,93^2 (1,365 + 0,005) = 5,1 \text{ кА}^2\text{с}$$

Найменший допустимий переріз кабельної лінії заводського виготовлення, визначений на основі критерію термічної стійкості, становить:

$$F_{min} = \frac{1}{C} \sqrt{B_{\kappa}} = \frac{1}{94} \sqrt{5,1 \cdot 10^3} = 24,02 \text{ кА}^2\text{с}$$

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

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

№ КЛ	n, шт	S _p , МВА	I _p , А	I _{p.ав.} , А	F _{ек} , мм ²	B _κ , кА ² с	F _{min} , мм ²	Марка кабеля	I _{доп} , А	K _n	K _n I _{доп} , А	K _{ан}	K' _n	K _{ан} K' _n I _{доп} , А
1	2	2863,0	78,71	157,42	56,22	5,1	24,02	2 х ААШВ-10(3х70)	165	0,9	148,5	1,35	1	222,75
2,3	2	881,45	24,23	48,46	17,31	5,1	24,02	2 х ААШВ-10(3х35)	115	0,9	103,5	1,35	1	155,25
4,5	2	892,89	24,55	49,1	17,54	5,1	24,02	2 х ААШВ-10(3х35)	115	0,9	103,5	1,35	1	155,25
6,7	2	888,05	24,42	48,84	17,44	5,1	24,02	2 х ААШВ-10(3х35)	115	0,9	103,5	1,35	1	155,25
8	1	442,49	24,33	-	17,38	5,1	24,02	1 х ААШВ-10(3х35)	115	1	115	-	-	-
9	1	300	16,5	-	11,79	5,1	24,02	1 х ААШВ-10(3х50)	140	1	140	-	-	-
10	1	450	24,74	-	17,67	5,1	24,02	1 х ААШВ-10(3х50)	140	1	140	-	-	-

6.3 Вибір електричних апаратів високої напруги заводу промислових насосів

У цьому підрозділі було здійснено технічний вибір та відповідні розрахунки високовольтного електрообладнання на номінальну напругу 10 кВ. Зокрема, розглянуто підбір таких апаратів, як вимикачі високої напруги, роз'єднувачі, розрядники та обмежувачі перенапруги (ОПН). Розрахункові дії виконувались згідно з методичними рекомендаціями, наведеними у джерелі [1].

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

Таблиця 6.3.1. Результати вибору ввідного вимикача напругою 10 кВ

Умови вибору вимикача	Параметр вимикача	Розрахунок вимикача
$U_{уст} \leq U_{ном}$	Параметр обраного апарата	$10 \leq 10$
$I_{роб.форс.} \leq I_{ном}$	Номінальна напруга апарата, В	$165,3 \leq 630$
	Номінальний довготривалий струм апарата, А	
$I_{КО}'' \leq I_{дин.ст}$	Відключаюча здатність апарата:	$1,93 \leq 20$
$i_{ат} \leq \sqrt{2}\beta_n I_{відкл.ном}$	- симетричний струм, А	$0 \leq 11,31$
$\sqrt{2}I_{пт} + i_{ат} \leq \sqrt{2}I_{ном.відкл} (1 + \beta_n)$	- асиметрична складова, А	$1,41 \cdot 1,93 + 0 < 1,41 \cdot 20 \cdot (1 + 0,4)$ $2,73 \leq 39,6$
$I_{пт} \leq I_{дин.ст.}$	Динамічна стійкість апарата: - симетричний струм, А	$1,93 \leq 52$
$i_{уд} \leq 1,8\sqrt{2}I_{дин.ст.}$	- ударний струм, А	$3,1 \leq 132,37$
$B_k \leq I_{ТН}^2 t_{ТН}$	Термічна стійкість апарата	$3,9 \leq 1200$

Мінімальний інтервал часу, що проходить від моменту виникнення короткого замикання до початку розмикання контактів вимикача, становитиме:

$$\tau = t_{рз.мін} + t_{с.в} = 1 + 0,042 = 1,042 \text{ с}$$

Значення аперіодичної (неперіодичної) складової струму короткого замикання на момент розмикання контактів вимикача становитиме:

$$i_{ат} = \sqrt{2} I'' e^{\frac{-\tau}{T_a}} = 1,41 \cdot 1,93 \cdot e^{\frac{-1,042}{0,005}} = 0 \text{ кА}^2\text{с}$$

Величина теплового імпульсу, зумовленого дією струму корот. замикання:

$$B_{\kappa} = I''^2 (t_{c.в.} + t_{пз.маx} + T_a) = 1,93^2 \cdot (0,042 + 1,4 + 0,005) = 3,9 \text{ кА}^2\text{с}$$

На основі цього обираємо для встановлення вакуумний вимикач типу ВР1-10-20/630 У2.

Аналогічно виконаємо вибір для встановлення секційного вимикача напругою 10 кВ на основі розрахунків обираємо до встановлення вакуумний вимикач типу ВР1-10-20/630У2.

Аналогічно виконаємо вибір для заводських відхідних КЛ до ТП напругою 10 кВ на основі розрахунків обираємо до встановлення вакуумний вимикач типу ВР1-10-20/630У2..

Проводимо розрахунки та обираємо до встановлення вимикач навантаження згідно джерела [1] та обираємо до встановлення вимикач навантаження типу ВНР-10/400-10зУ3.

Потім проведемо вибір плавких запобіжників для захисту ТП від струмів к.з. згідно джерела [1] та обираємо до встановлення запобіжник типу ПКТ103-10-100-12,5У3

Результати розрахунку електричного навантаження ТВП (ЦРП) по заводу наведено в табл. 6.3.2.

Таблиця 6.3.2 Результати розрахунку електричного навантаження ТВП

№ з/п	Вибрані поживачі	n, шт.	P _{ном} , кВт	P _{сум} , кВт	cosφ	tgφ	Q _{уст} , квар	P _{уст} , кВт
1	Пристрої підігріву комірок КРП	18	0,6	10,8	0,97	0,25	3	10,8
2	Опалення та освітлення приміщення оперативного персоналу	3	6	18	0,97	0,25	5	18
3	Зовнішнє освітлення	4	4,5	18	0,97	0,25	5	18
4	Споживання оперативними колами	4	4,5	18	0,97	0,25	5	18
<i>Всього</i>								64,8

Розраховане значення повної встановленої потужності споживачів у межах ТВП (трансформатор власних проблем) становить:

$$S_{уст} = \sqrt{P_{уст}^2 + Q_{уст}^2} = \sqrt{64,8^2 + 18^2} = 67,25 \text{ кВА}$$

Значення розрахункової електричної потужності для ТВП становитиме:

$$S_p = K_c S_{уст} = 0,8 \cdot 67,25 = 53,8 \text{ кВА}$$

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

Значення коефіцієнта завантаження обладнання ТВП визначається як відношення розрахункової потужності до сумарної встановленої:

$$K_3 = \frac{S_p}{n \cdot S_{ном}} = \frac{53,8}{2 \cdot 40} = 0,67$$

6.4. Вибір трансформаторів струму та напруги для заводу промислових насосів

У таблиці 6.4.1 подано результати розрахунку основних параметрів трансформаторів струму заводського виконання, що встановлюються на вводах 10 кВ та призначені для підключення пристроїв релейного захисту і засобів комерційного обліку електроенергії.

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

Умова вибору	Параметр ТС	Розрахунок ТС
$U_{уст} \leq U_{ном}$	Номінальна напруга ТС	$10 \leq 10$
$I_{роб.форс} \leq I_{ном}$	Довготривалий номінальний струм ТС	$165,3 \leq 75$
$i_{уд} \leq i_{дин} = \sqrt{2} k_{ед} I_{1ном}$	Динамічна стійкість ТС	$3,1 \leq 52$
$B_k \leq I_{тер}^2 t_{тер}$	Термічна стійкість ТС	$3,9 \leq 300$
Вторинне навантаження ТС	Вторинне навантаження ТС	$0,3 \leq 0,4$

Обираємо до встановлення в комірках трансформатор струму ТЛК-10/300 У1.

					Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата	48

Результати проведених розрахунків вторинного навантаження ТС на вводах 10 кВ заводської мережі промислових насосів наведено в табл. 6.4.2.

Таблиця 6.4.2. Результати розрахунку та вибору вторинного навантаження ТС

Назва вибраного обладнання	Тип обладнання	$S_{\text{прил}}, \text{ВА}$		
		Фаза А	Фаза В	Фаза С
Амперметр	EA0302/1У	0,1		0,1
Прилад обліку	NIK-2303-ART	0,1	0,1	0,1
Всього на вводі		0,2	0,1	0,2

Вибираємо трансформатори напруги по умовам зазначеним в [1]. Результати вибору вторинного навантаження для трансформатора напруги зведені у таблицю 6.4.3.

Таблиця 6.4.3. Результати вибору вторинного навантаження для трансформатора напруги

Прилад	$S, \text{ВА}$	К-сть прил.	К-сть обмоток	$S_{2\Sigma}, \text{ВА}$	Тип приладу
Функціональний лічильник (активної енергії)	7,5	1	22,5	2	Ф68700В
Функціональний лічильник (реактивної енергії)	7,5	2	90	12	ЦЭ6811
Вольтметр	1	1	1	2	Е 377
Ватметр	1,5	1	1,5	3,6	Д-335
Варметр	2	1	2	1,5	Д-304
Всього				33,1	

Для встановлення в комірку заводської електромережі передбачається застосування 2-х трансформаторів напруги НАМИ-10-66-У3.

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

Розділ 7. Спеціальний розділ.

Ефективне використання та збереження електроенергії в індукційних тигельних печах

Індукційні тигельні печі є важливими елементами в ливарному виробництві, забезпечуючи швидке, рівномірне й локалізоване нагрівання металів. Однак через високі навантаження на електромережу та значні витрати електроенергії питання її раціонального використання і збереження в такому обладнанні є надзвичайно актуальним.

7.1 Галузі використання та класифікація установок індукційного нагрівання

Галузі застосування індукційного нагрівання

Індукційне нагрівання є сучасним, ефективним та екологічно чистим методом теплової обробки металів та інших матеріалів. Завдяки високій енергоефективності, точності керування температурою та можливості автоматизації, індукційні установки широко використовуються у багатьох галузях промисловості: Металургія - плавлення чорних та кольорових металів (мідь, алюміній, сталь). Нагрівання заготовок перед прокаткою або куванням. Енергетика - Виплавлення електротехнічної сталі. Термообробка деталей турбін, генераторів та трансформаторів. Ливарне виробництво - Плавлення металів у тигельних індукційних печах. Підтримання температури рідкого металу в проміжних ємностях. Електроніка та прецизійне виробництво - Індукційне припаювання мікродеталей. Безконтактне нагрівання елементів у вакуумному середовищі. Ювелірна промисловість - плавлення золота, срібла та інших дорогоцінних металів у мініпечах. Лиття ювелірних виробів з високою точністю температурного контролю. Харчова та хімічна промисловість - стерилізація тари, нагрів трубопроводів. Теплова обробка ємностей без відкритого полум'я.

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

контейнер, у який завантажуються метал. Каркас — теплоізоляційний корпус, що утримує конструкцію. Система керування — забезпечує регулювання температури та процесу нагріву.

Типи індукційних тигельних печей. З нерухомим тиглем — для тривалого нагріву та підтримки температури. З нахиленим тиглем — для зручного зливу розплаву. Вакуумні — для плавлення активних металів, які окислюються на повітрі.

Переваги. Висока швидкість плавлення. Точне регулювання температури. Мінімальні втрати металу. Високий коефіцієнт корисної дії (до 90%). Екологічна чистота — відсутність відкритого полум'я. Недоліки. Висока вартість обладнання. Необхідність водяного охолодження. Обмеження щодо об'єму плавки.

Застосування. Плавлення сталі, чавуну, кольорових металів. Виробництво сплавів із заданим хімічним складом. Ливарне виробництво. Точне лиття в ювелірній галузі.

7.3 Джерела живлення установок індукційного нагрівання

Індукційні установки потребують спеціалізованих джерел живлення, які забезпечують перетворення енергії змінного струму промислової частоти в струм необхідної частоти та потужності для ефективного індукційного нагрівання. Надійність, ККД, керованість і стабільність роботи установки значною мірою залежать від типу й характеристик живлення.

1. Джерела промислової частоти (50 Гц). Це найпростіший тип живлення, який застосовується в низькочастотних індукційних печах (наприклад, каналного або деяких тигельних типів) великої потужності. Переваги: простота конструкції; невисока вартість обладнання. Недоліки: великі габарити індуктора та трансформатора; обмежена глибина регулювання потужності; відносно низький ККД (особливо при малих об'ємах розплаву).

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

Типові технології: IGBT- або MOSFET-інвертори. Переваги: висока точність і швидкість нагріву; ідеально підходять для тонких, дрібних або складної форми деталей; компактні й енергоефективні. Недоліки: вища вартість; вимоги до захисту від електромагнітних завад.

4. Резонансні джерела живлення. У таких схемах індукційний контур працює в резонансі (серійному або паралельному). Це дозволяє мінімізувати реактивну потужність і досягти максимальної ефективності. Переваги: стабільна робота при змінному навантаженні; висока енергетична ефективність. Недоліки: чутливість до налаштувань резонансного режиму; потреба у стабільному охолодженні та фіксованій частоті.

5. Джерела з цифровим управлінням (АСУ ТП). У сучасних системах індукційного нагрівання все частіше застосовуються джерела з мікропроцесорним управлінням, які дозволяють: програмувати температурні профілі; вимірювати параметри у реальному часі; передавати дані на SCADA або у хмарні сервіси.

7.4 Установки індукційного нагрівання як приймачі електричної енергії.

Індукційні установки - це складні енергоємні приймачі електричної енергії, що складаються з перетворювального агрегату (інвертора) та індукційної печі. Вони перетворюють мережеву електроенергію (380/660 В, 50 Гц) у високочастотну для індукційного нагрівання металу.

Основні типи установок. Плавальні печі (100 кВт - 20 МВт) - для плавлення металів. Нагрівальні установки (10 кВт - 5 МВт) - для термообробки та загартування. Спеціальні установки (1 кВт - 1 МВт) - для високоточних процесів.

Електричні характеристики. Споживана потужність: від 50 кВт до 50 МВт. Робоча частота: від 50 Гц до 1 МГц. ККД: 60-95% (залежно від типу). Коефіцієнт потужності: 0.1-0.7 (без компенсації), 0.85-0.95 (з компенсацією).

Проблеми для електромережі. Споживання великої реактивної потужності. Генерація вищих гармонік (ТНД до 50%). Коливання напруги та несиметрія фаз.

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

Радіоперешкоди. Необхідні заходи: компенсація: конденсатори, LC-фільтри, активні фільтри; вимоги до мережі: потужність $K3 > 20 \times P_{\text{навант.}}$, стабільність $\pm 5\%$; економія: правильна компенсація знижує витрати до 20%, окупність 1-3 роки

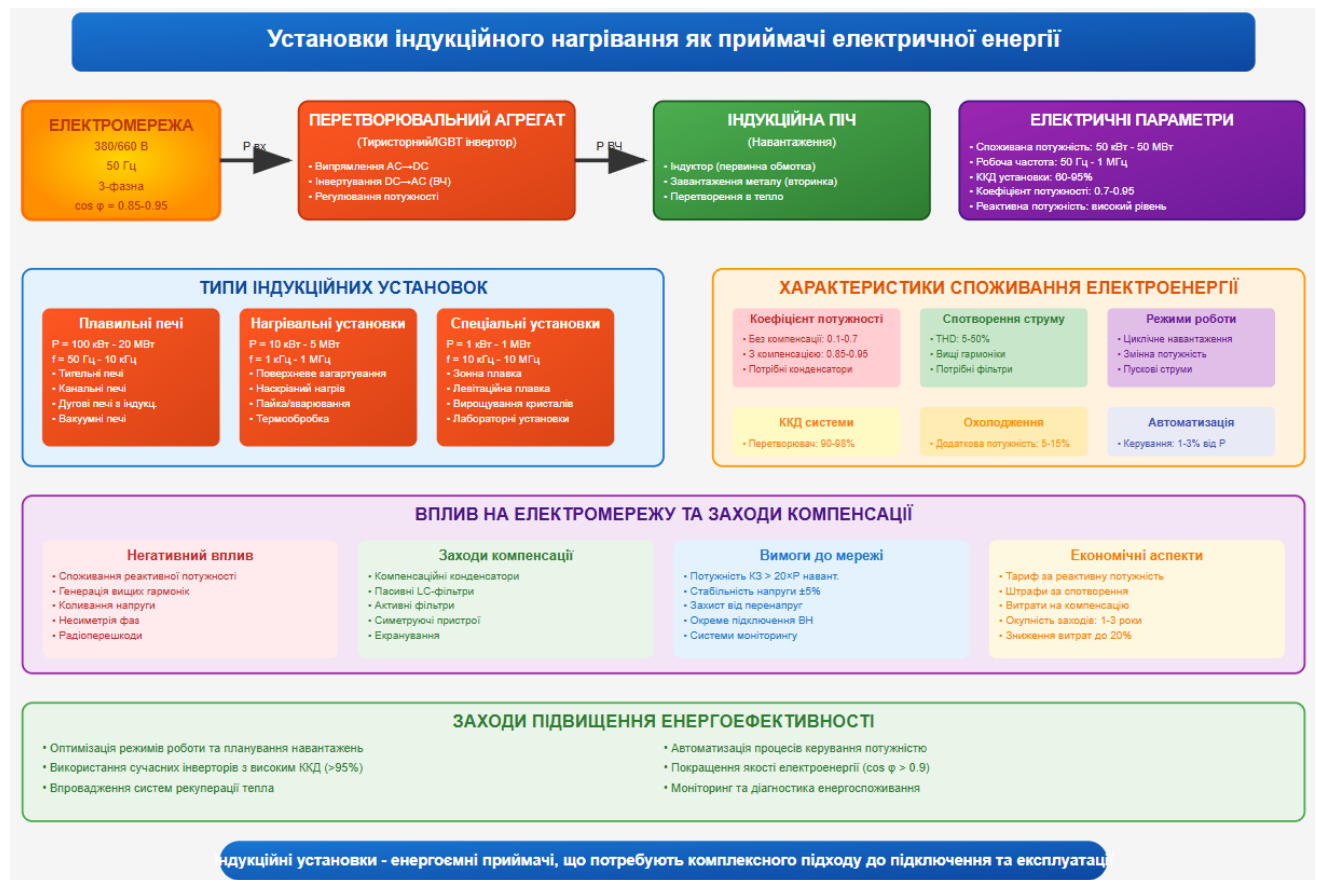


Рисунок 7.5 – Установки індукційного нагрівання як приймачі електричної енергії.

Індукційні установки потребують комплексного підходу до підключення, включаючи заходи компенсації та забезпечення якості електроенергії.

7.5 Шляхи підвищення енергоефективності індукційних печей

Оптимізація режимів плавлення. Раціональне керування технологічним циклом - одним із ключових факторів. Своєчасне відключення нагріву, скорочення холостих простоїв і дотримання температурних графіків дозволяють знизити втрати.

Використання частотних перетворювачів та тиристорних інверторів. Сучасні індукційні системи працюють на середніх або високих частотах, де застосовуються інвертори з високим ККД. Новітні моделі забезпечують зниження витрат енергії до 10–20% у порівнянні з традиційними схемами.



Рисунок 7.6 – Шляхи підвищення енергоефективності індукційних печей

Автоматизоване регулювання потужності. Впровадження АСУ ТП з адаптивним керуванням плавленням дає змогу підтримувати необхідну потужність у реальному часі без надлишків, що суттєво скорочує перевитрати енергії.

Зменшення теплових втрат через футеровку тигля. Застосування високоякісної вогнетривкої футеровки з низькою теплопровідністю зменшує розсіювання тепла в навколишнє середовище.

Використання залишкового тепла. Тепло від охолодження котушок, інверторів та димових газів може бути використано повторно для нагріву технічної води або повітря у вентиляційній системі.

Контроль рівня завантаження та розміру порцій. Надлишкове або неповне завантаження тигля призводить до зниження ККД установки. Використання систем вагового контролю дозволяє автоматизувати й оптимізувати подачу матеріалу.

7.6 Розрахунок і вибір індукційної тигельної печі ІТПЕ.

Вихідні технологічні параметри: Добова потреба в металі: 200-600 кг/добу; Місткість печі: $G = 30$ кг; Матеріал: вуглецева сталь; Середній розмір шматків: $d_{ш} = 0,04$ м; Питомий електричний опір шихти: $\rho_{ш} = 100 \cdot 10^{-8}$ Ом·м; Питомий опір розплаву: $\rho_2 = 137 \cdot 10^{-8}$ Ом·м; Густина розплаву: $\gamma_2 = 7200$ кг/м³; Кінцева температура металу: $t_k = 1600^\circ\text{C}$; Тривалість плавлення: $\tau_{пл} = 0,66$ год; Тривалість допоміжних операцій: $\tau_{доп} = 0,14$ год.

1. Визначення необхідної кількості плавки на добу.

Розрахунок для мінімальної потреби (200 кг/добу):

$$n_{min} = Q_{доб.мин} / G = 200 / 30 = 6,67 \approx 7 \text{ плавки/добу}$$

Розрахунок для максимальної потреби (600 кг/добу):

$$n_{max} = Q_{доб.мах} / G = 600 / 30 = 20 \text{ плавки/добу}$$

2. Визначення часу циклу плавки.

Загальний час циклу:

$$\tau_{цикл} = \tau_{пл} + \tau_{доп} = 0,66 + 0,14 = 0,8 \text{ год}$$

Максимальна кількість плавки за зміну (8 год):

$$n_{зміна} = 8 / 0,8 = 10 \text{ плавки/зміну}$$

Максимальна кількість плавки за добу (3 зміни):

$$n_{доб.мах} = 10 \cdot 3 = 30 \text{ плавки/добу}$$

Піч з місткістю 30 кг може забезпечити максимальну добову потребу.

3. Геометричні розміри тигля

Об'єм металу в тиглі:

$$V_{мет} = G / \gamma_2 = 30 / 7200 = 0,00417 \text{ м}^3 = 4,17 \text{ л}$$

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

З урахуванням коефіцієнта заповнення (0,7):

$$V_{\text{тигля}} = V_{\text{мет}} / 0,7 = 0,00417 / 0,7 = 0,00595 \text{ м}^3 = 5,95 \text{ л}$$

Розміри циліндричного тигля ($H/D = 1,5$):

$$D_{\text{тигля}} = \sqrt[3]{4V_{\text{тигля}} / 1,5\pi} = \sqrt[3]{4 \times 0,00595 / 4,712} = 0,134 \text{ м}$$

$$H_{\text{тигля}} = 1,5 \times D_{\text{тигля}} = 1,5 \times 0,134 = 0,201 \text{ м}$$

4. Електричні розрахунки.

4.1 Теплові втрати.

Втрати через стінки тигля:

$$Q_{\text{стінки}} = k \cdot S \cdot \Delta T \cdot \tau = 0,8 \cdot 0,085 \cdot 1580 \cdot 0,66 = 71,2 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

де: $k = 0,8 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ - коефіцієнт теплопередачі;

$$S = \pi \cdot D \cdot H = 3,14 \cdot 0,134 \cdot 0,201 = 0,085 \text{ м}^2;$$

$$\Delta T = 1600 - 20 = 1580 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Втрати на нагрівання футерівки:

$$Q_{\text{футер}} = m_{\text{футер}} \cdot c_{\text{футер}} \cdot \Delta T = 15 \cdot 1,05 \cdot 1580 = 24,9 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

4.2 Корисні витрати енергії

Нагрівання металу до температури плавлення:

$$Q_{\text{нагрів}} = G \cdot c_{\text{тв}} \cdot (t_{\text{пл}} - t_{\text{ноч}}) = 30 \cdot 0,46 \times (1540 - 20) = 21,0 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Плавлення металу:

$$Q_{\text{плавл}} = G \cdot \lambda_{\text{пл}} = 30 \cdot 272 / 3600 = 2,27 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Перегрівання розплаву:

$$Q_{\text{перегр}} = G \cdot c_{\text{рідк}} \cdot (t_{\text{к}} - t_{\text{пл}}) = 30 \cdot 0,75 \cdot (1600 - 1540) = 1,35 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

4.3 Загальні енергетичні витрати

$$Q_{\text{заг}} = Q_{\text{нагрів}} + Q_{\text{плавл}} + Q_{\text{перегр}} + Q_{\text{стінки}} + Q_{\text{футер}}$$

$$Q_{\text{заг}} = 21,0 + 2,27 + 1,35 + 71,2 + 24,9 = 120,7 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

4.4 Необхідна потужність печі

$$P_{\text{необх}} = Q_{\text{заг}} / (\tau_{\text{пл}} \times \eta) = 120,7 / (0,66 \times 0,75) = 244 \text{ кВт}$$

де $\eta = 0,75$ - ККД індукційної печі

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

5. Вибір індукційної печі ІТПЕ. Рекомендована модель: ІТПЕ-0,03/0,05 ТГ1 (м. Мелітополь). Технічні характеристики: Місткість тигля: 30 кг; Потужність: 250 кВт; Частота: 1000 Гц; Напруга живлення: 380 В; ККД: 75-80%; Час плавки: 35-40 хв; Габарити: 1200×800×1500 мм; Маса: 850 кг.

6. Графіки та залежності

Рівняння: $P = 8 \times G$ (кВт), де G - місткість в кг

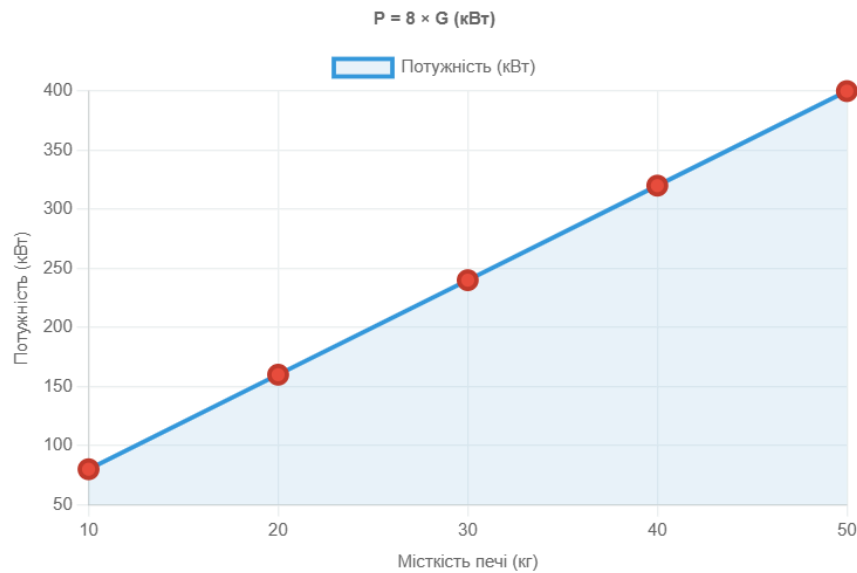


Рисунок 7.7 - Залежність потужності від місткості печі.

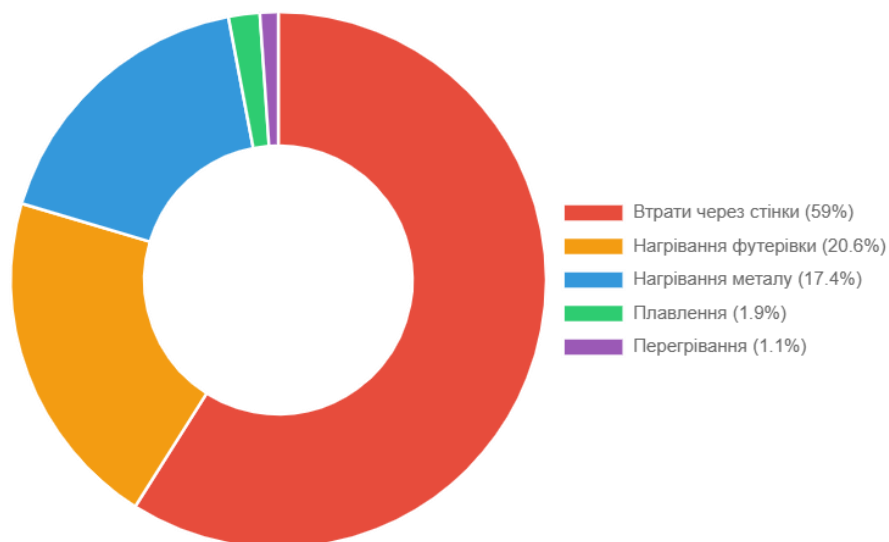


Рисунок 7.8 - Розподіл енергетичних витрат

Рівняння: $\tau = 1,3 \times G^{0,8}$ хв

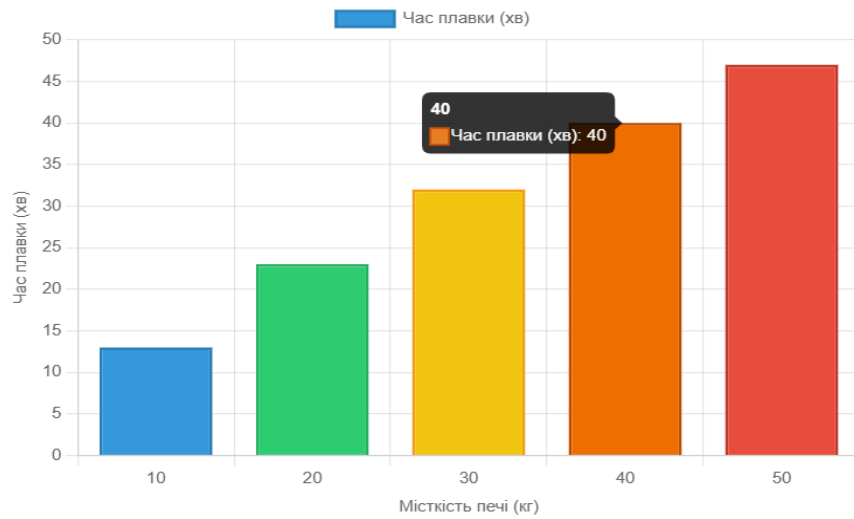


Рисунок 7.9 – Залежність часу плавки від місткості

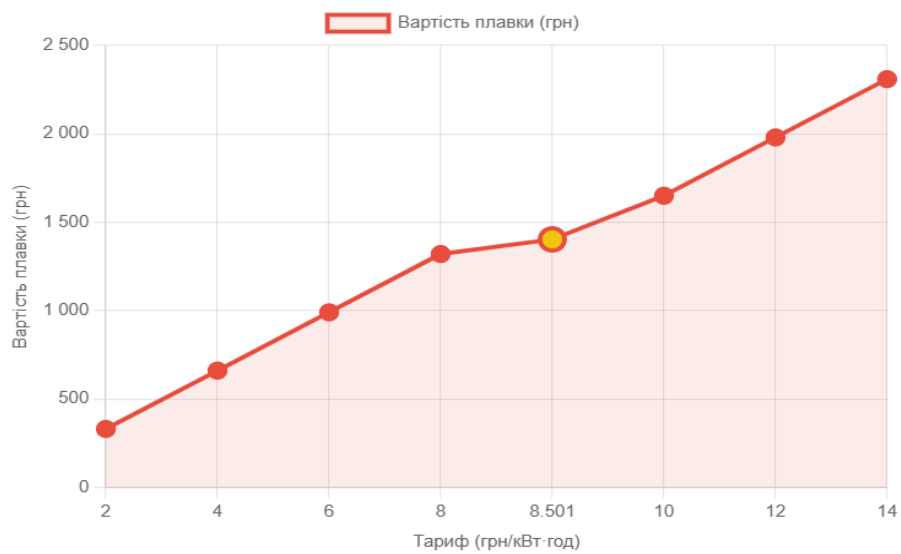


Рисунок 7.9 – Економічна ефективність при різних цінах на електроенергію

7. Детальні ескізи та схеми

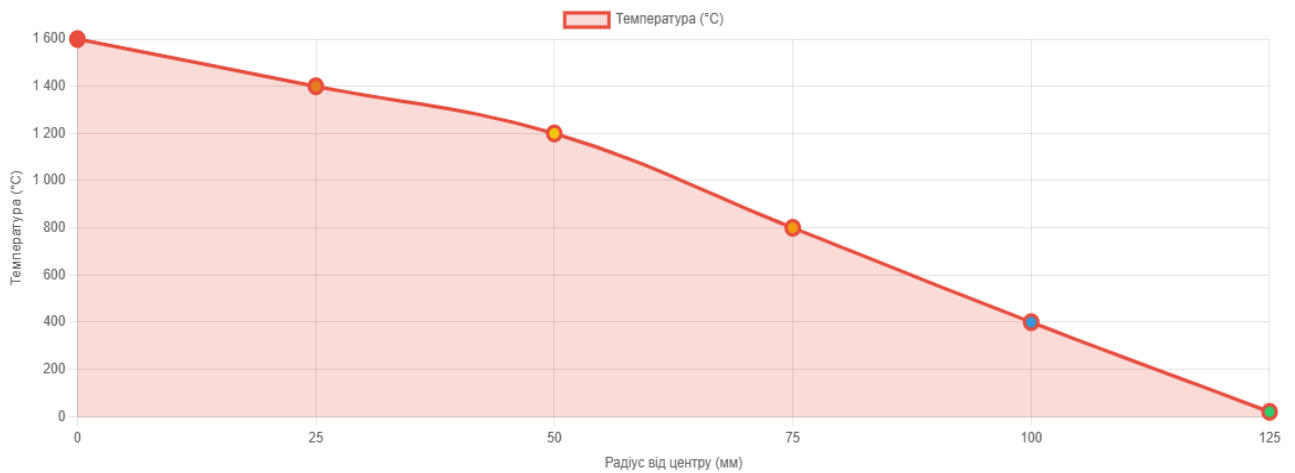


Рисунок 7.10 – Температурний профіль в печі

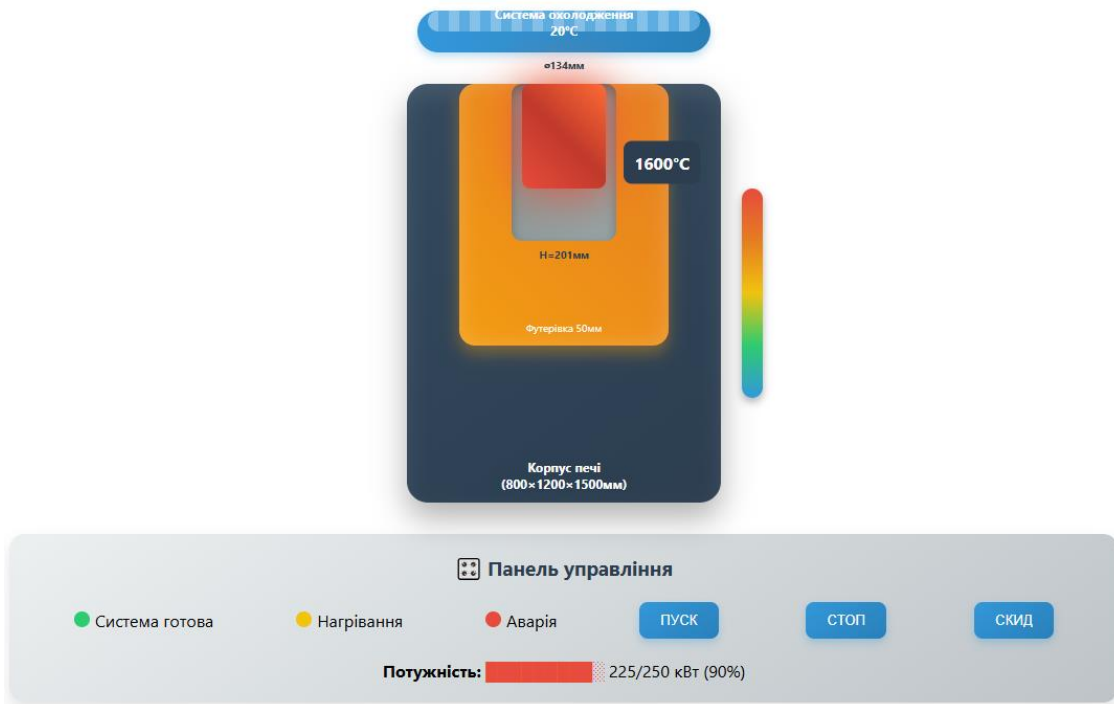


Рисунок 7.11 – Схема індукційної печі ІТПЕ-0,03

8. Перевірочні розрахунки

8.1 Перевірка продуктивності.

При мінімальній потребі (200 кг/добу): Необхідно плавок: 7 плавок/добу; час роботи: $7 \cdot 0,8 = 5,6$ год/добу; коефіцієнт завантаження: $5,6/24 = 0,23$ (23%).
 При максимальній потребі (600 кг/добу): Необхідно плавок: 20 плавок/добу; Час роботи: $20 \cdot 0,8 = 16$ год/добу; Коефіцієнт завантаження: $16/24 = 0,67$ (67%)

8.2 Економічні показники

Споживання електроенергії на 1 кг металу:

$$W_{\text{нито́ме}} = P_{\text{ном}} \cdot \tau_{\text{пл}} / G = 250 \times 0,66 / 30 = 5,5 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{кг}$$

Вартість електроенергії на плавку (при тарифі 8,501 грн/кВт·год):

$$\text{Вартість} = 250 \cdot 0,66 \cdot 8,501 = 1402,7 \text{ грн/плавку}$$

9. Висновки та рекомендації

1. Вибрана піч ІТПЕ-0,03/0,05 ТГ1 повністю задовольняє технологічним вимогам виробництва.
2. Резерв продуктивності печі дозволяє збільшити випуск до 900 кг/добу при необхідності.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		62

- Енергоефективність печі відповідає сучасним вимогам з питомими витратами 5,5 кВт·год/кг. Рекомендації з експлуатації: використання якісної футерівки для зменшення теплових втрат; регулярне технічне обслуговування індуктора; контроль температури охолоджуючої води; оптимізація завантаження шихти для підвищення ККД

- Терміни окупності: При середньому завантаженні 50% піч окупиться за 3-4 роки експлуатації з урахуванням поточних тарифів на електроенергію. Додаткові економічні розрахунки при тарифі 8,501 грн/кВт·год: добові витрати при мінімальній потребі (200 кг): $7 \cdot 1402,7 = 9\ 819$ грн; Добові витрати при максимальній потребі (600 кг): $20 \cdot 1402,7 = 28\ 054$ грн; річні витрати на електроенергію (при середньому завантаженні): ~7,3 млн грн

10. Схема підключення та контрольно-вимірювальні прилади

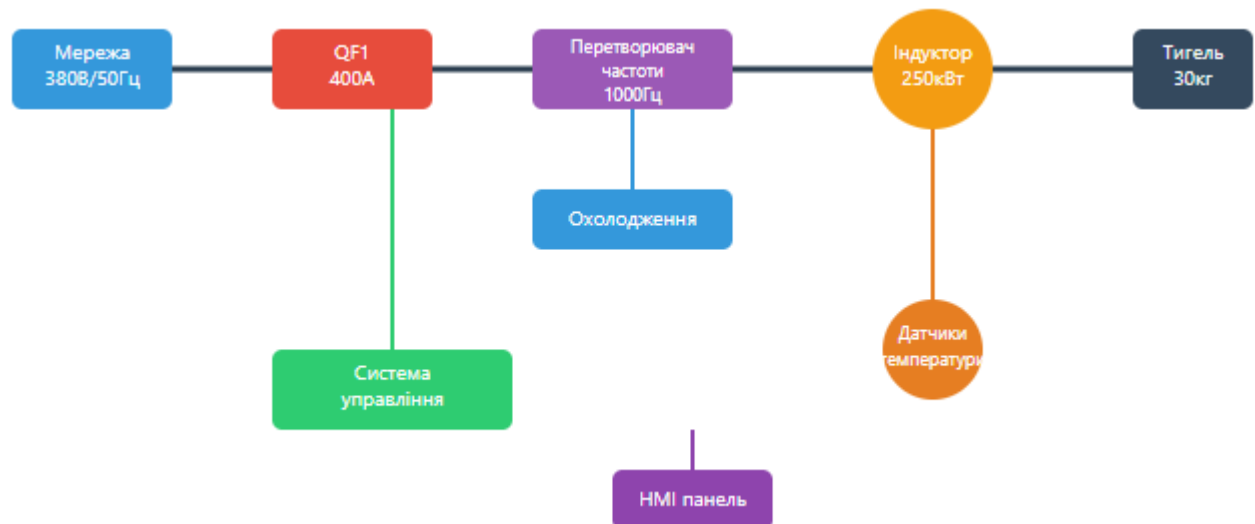


Рисунок 7.12 – Схема підключення

7.7 Заходи енергоефективності та економії електроенергії для індукційної тигельної печі ІТПЕ-0,03/0,05 ТГ1

1. Оптимізація режимів плавлення (25% економії): використання оптимальних частот індукторів для різних типів металів; програмування профілів нагріву з урахуванням характеристик шихти; мінімізація часу витримки розплаву при робочій температурі; застосування ступінчатого нагріву замість безперервного.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		63

2. Теплоізоляція та футеровка (20% економії): модернізація вогнетривкої футеровки з використанням сучасних матеріалів; встановлення додаткової теплоізоляції корпусу печі; герметизація швів та з'єднань для зменшення тепловтрат; використання теплоізоляційних кришок для тиглів.

3. Система охолодження та рекуперації тепла (15% економії): встановлення теплообмінників для утилізації відхідного тепла; оптимізація системи водяного охолодження індукторів; використання замкнутих контурів охолодження з рециркуляцією; попередній підігрів шихти відхідним теплом.

4. Електронне управління та автоматизація (20% економії): впровадження систем автоматичного регулювання потужності; використання частотних перетворювачів з високим ККД; програмні алгоритми оптимізації енергоспоживання; моніторинг та контроль енергетичних параметрів в реальному часі.

5. Підготовка шихти та технологічні заходи (12% економії): попереднє сушіння та підігрів шихтових матеріалів; оптимізація складу шихти для зменшення енерговитрат; використання металобрухту оптимальних розмірів; видалення вологи та забруднень з шихти.

6. Планування та організація виробництва (8% економії): групування плавок за типами сплавів; мінімізація простоїв обладнання; планування роботи в години з мінімальними тарифами; оптимізація завантаження печі.

Представлені заходи енергоефективності можуть забезпечити значну економію електроенергії для індукційної тигельної печі ІТПЕ-0,03/0,05 ТГ1. Найбільший потенціал економії мають оптимізація режимів плавлення та впровадження сучасних систем управління.

Ключові рекомендації для впровадження:

1. Почніть з найефективніших заходів - оптимізації режимів плавлення та автоматизації, які дають найбільшу віддачу.

2. Комплексний підхід - поєднання декількох заходів дасть синергетичний ефект.

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

3. Поетапне впровадження - розподіліть інвестиції на декілька етапів для зменшення фінансового навантаження.

4. Моніторинг результатів - встановіть системи обліку для контролю ефективності заходів.

Загальна економія електроенергії може досягти 30-50% від поточного споживання при комплексному впровадженні всіх заходів.

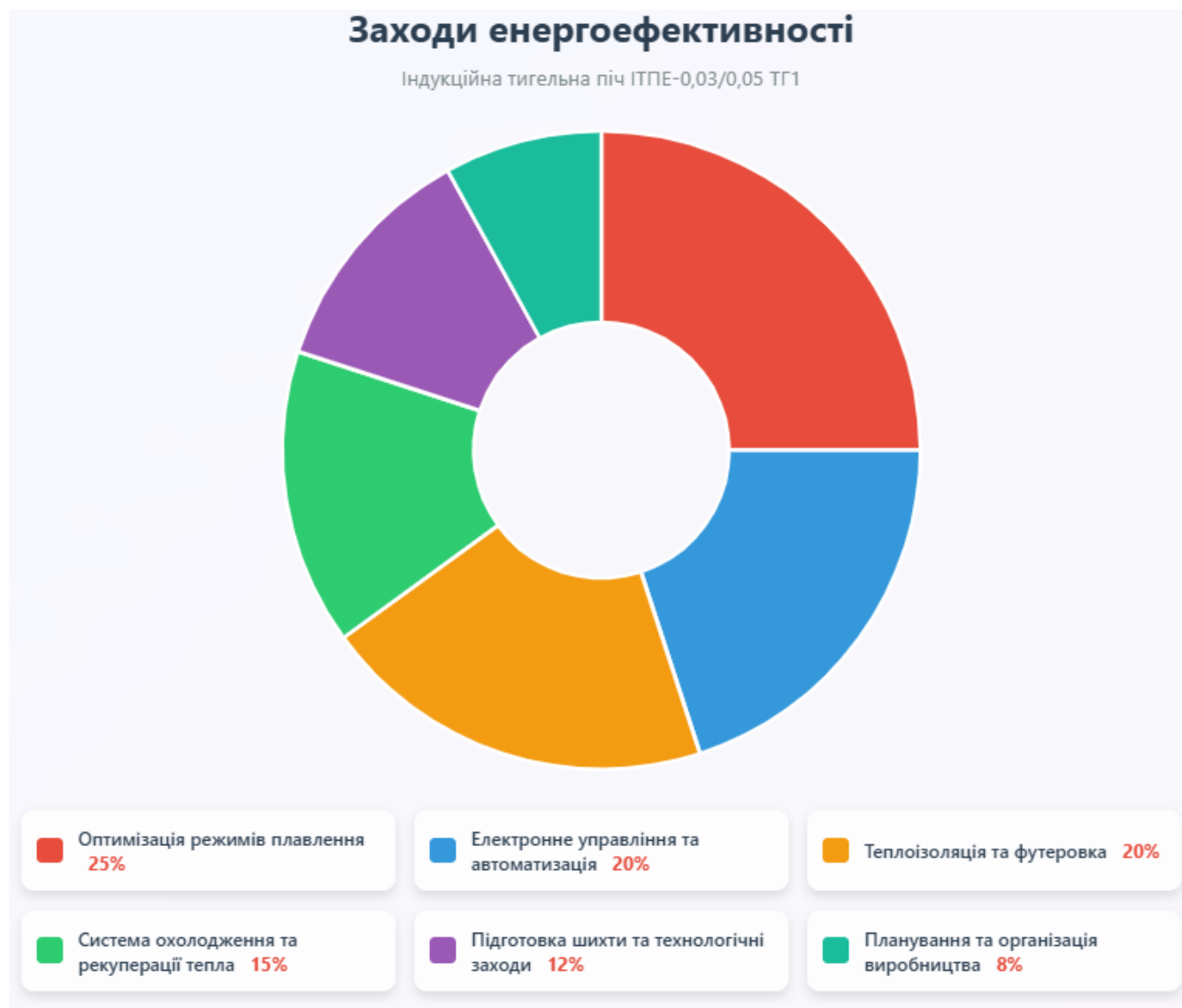


Рисунок 7.12 – Заходи енергоефективності для індукційної тигельної печі ІТПЕ-0,03/0,05 ТГ1.

Висновки

У результаті проведеної роботи розроблена система електропостачання заводу з виробництва та обслуговування промислових насосів, яка повністю відповідає сучасним вимогам щодо постачання електроенергії, ефективності та надійності системи. Створена система електропостачання забезпечує необхідний обсяг та якість електричної енергії для безперервного функціонування всіх технологічних процесів виробництва та обслуговування промислових насосів різних типів та потужностей. Розроблені технічні рішення враховують специфіку промислового виробництва насосного обладнання, включаючи потреби механообробного, складального та випробувального виробництв. Проведені розрахунки техніко-економічних показників підтверджують економічну доцільність та технічну адекватність обраного рішення для промислового підприємства даного профілю. Запропонована система електропостачання може бути рекомендована для впровадження на аналогічних підприємствах машинобудівної галузі.

У результаті проведеного дослідження спеціального розділу здійснено комплексний аналіз ефективного використання та збереження електроенергії в індукційних тигельних печах. Систематизовано галузі використання та класифікацію установок індукційного нагрівання, проаналізовано джерела живлення та характеристики як приймачів електричної енергії. Визначено основні шляхи підвищення енергоефективності індукційних печей, включаючи оптимізацію режимів роботи, вдосконалення систем управління та покращення теплоізоляції. Проведено розрахунок і вибір індукційної тигельної печі ІТПЕ, розроблено конкретні заходи енергоефективності для печі ІТПЕ-0,03/0,05 ТГ1. Запропоновані технічні рішення забезпечують можливість економії електроенергії до 30-50% від поточного споживання при комплексному впровадженні. Результати мають практичну цінність для промислових підприємств при модернізації обладнання та проектуванні нових енергоефективних установок індукційного нагрівання.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		66

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. Електротехнічні системи електроспоживання: [навч. посіб.] / П. Г. Плешков, В. В. Зінзура, Н. Ю. Гарасьова [та ін.]; за заг. ред. П. Г. Плешкова. - Кропивницький: ЦНТУ, 2021. – 208 с.
4. Методичні вказівки до виконання дипломного проекту електропостачання промислових підприємств. Кіровоград: КНТУ, 2004.
5. Козирський В.В. Електропостачання промислового комплексу: підруч./ Козирський В.В., Каплун В.В., Волошин С.М.- К.: Аграрна освіта, 2011. – 488с.
6. Коваленко О.І. Основи електропостачання сільського господарства : Навчальний посібник / О.І. Коваленко, Л.Р. Коваленко, В.О. Мунтян, І.П. Радько. – Мелітополь : ТОВ «Видавничий будинок ММД», 2011. – 462с.
7. 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. – Кіровоград : КНТУ, 2015.-316 с.
8. 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.

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

ДОДАТКИ

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

Додаток А. Розрахунок електричних навантажень на заводі промислових насосів

Таблиця А. Розрахунок електричних навантажень на заводі промислових насосів в мережі вище 1000 В з урахуванням компенсації

№	Назва групи споживачів	Кількість		Р одного		Р сумар на	m	K _л	cosφ	tgφ	Середнє		K _м	Розр. навантаження			
		кільк. ЕС	мін	макс	Р _{ср} , кВт						Q _{ср} , квар	Р _р , кВт		Q _р , квар	S _р , кВА		
1	ТП1																
	ТП 1																
	Термічний цех																
	силове:	9	3	250	538	83,3	0,6	0,9	0,48	322,8	156,34	4	1,53	492,94	171,97	522,08	
	освітлювальне:									2,78				3	1,45		
	Всього:									325,58	156,34			495,94	173,42	525,39	
	Ливарний цех																
	силове:	27	0,55	40	547,5	72,7	0,55	0,9	0,48	301,12	145,84	27	1,19	356,86	145,84	385,51	
	освітлювальне:									10,29				11,1	5,38		
	Всього:									311,41	145,84			367,96	151,22	397,82	
	Всього по ТП 1:																
	силове:	36	0,55	250	1085,5	454,5	0,57	0,9	0,48	623,92	302,18	9	1,33	830,21	332,4	894,28	
	освітлювальне:									13,07				14,1	6,83		
	БК 0,4 кВ										-200				-200		
	Всього на шинях 0.4 кВ ТП 1:									636,99	102,18			844,31	139,23	855,71	
	Втрати в трансформаторах:													10,37	78,09		
	Кількість трансформаторів: 2																
	Номінальна потужність, кВА: 630																
	Коефіцієнт завантаження: Kз = 0,68																
	Всього на шинях 10 кВ ТП 1:													854,68	217,32	881,88	
2	ТП 2																
	Прохідна заводу																
	силове:	3	3	5	11	1,7	0,3	0,8	0,75	3,3	2,48	3	2,42	7,99	2,73	8,44	

продовження таблиці А.

Назва групи споживачів	Кількість ЕС	Р одного		Р сумарна	m	K _л	cosφ	tgφ	Середнє		K _м	Розр. навантаження	
		min	max						Р _{ср} , кВт	Q _{ср} , квар		Р _р , кВт	Q _р , квар
освітлювальне:									1,85			1,78	0,86
Всього:									5,15	2,48		9,77	3,59
Цех обробки деталей													
силове:	31	7,7	40	528,2	18,2	0,6	0,75	0,88	316,92	279,5	1,16	368,96	279,5
освітлювальне:									14,1			14,38	6,96
Всього:									331,02	279,5		383,34	286,46
Збиральний цех													
силове:	43	0,35	30	645,5	85,7	0,55	0,7	1,02	355,03	362,2	1,14	405,51	362,2
освітлювальне:									15,02			15,32	7,41
Всього:									370,05	362,2		420,83	369,61
Територія заводу													
освітлювальне:									3,04			3,4	5,89
Всього:									3,04	0		3,4	5,89
Всього по ТП 2:													
силове:	77	0,35	40	1184,7	114,3	0,57	0,72	0,95	675,25	644,18	1,11	751,37	644,18
освітлювальне:									34,01			34,88	21,12
БК 0,4 кВ										-332			-332
Всього на шинях 0,4 кВ ТП 2:									709,26	312,18		786,25	333,3
Втрати в трансформаторах:												10,34	77,94
Кількість трансформаторів: 2													
Номінальна потужність, кВА: 630													
Коефіцієнт завантаження: Kз = 0,68													
Всього на шинях 10 кВ ТП 2:												796,59	411,24
3 ТПЗ													896,48
Склад металу													

продовження таблиці А.

Назва групи споживачів	Кількість ЕС	Р одного		Р сумарна	m	K _л	cosφ	tgφ	Середнє		K _м	Розр. навантаження		
		min	max						Р _{ср} , кВт	Q _{ср} , квар		Р _р , кВт	Q _р , квар	S _р , кВА
силове:	14	7	10	70,2	4,5	0,5	0,8	0,75	35,1	26,33	1,31	45,93	26,33	52,94
освітлювальне:									2,56			1,84	0,89	
Всього:									37,66	26,33		47,77	27,22	54,98
Адміністративна будівля														
силове:	19	1,1	5,5	74,1	5	0,7	0,85	0,62	51,87	32,15	1,14	59	32,15	67,19
освітлювальне:									17,15			16,46	7,97	
Всього:									69,02	32,15		75,46	40,12	85,46
Склад матеріалів														
силове:	21	5,5	11	151	2	0,46	0,85	0,62	69,46	43,05	1,27	88,14	43,05	98,09
освітлювальне:									2,89			2,08	1,01	
Всього:									72,35	43,05		90,22	44,06	100,4
Електроцех														
силове:	31	1,1	40	486	36,4	0,6	0,8	0,75	291,6	218,7	1,17	341,73	218,7	405,72
освітлювальне:									2,78			2,84	1,37	
Всього:									294,38	218,7		344,57	220,07	408,85
Зварювальна дільниця														
силове:	34	1,1	40	452,1	36,4	0,5	0,7	1,02	226,05	230,62	1,23	278,28	230,62	361,42
освітлювальне:									12,87			13,13	6,35	
Всього:									238,92	230,62		291,41	236,97	375,6
Склад металолома														
силове:	7	3	10	51	3,3	0,4	0,65	1,17	20,4	23,85	1,6	32,71	26,24	41,93
освітлювальне:									1,25			0,9	0,44	
Всього:									21,65	23,85		33,61	26,68	42,91
Всього по ТП 3:														

продовження таблиці А.

Назва групи споживачів	Кількість ЕС	Р одного		Р сумар на	m	K _и	cosφ	tgφ	Середне		K _м	Розр. навантаження		
		min	max						Р _{см} , кВт	Q _{см} , квар		Р _р , кВт	Q _р , квар	S _р , кВА
силове:	126	1,1	40	1284,4	36,4	0,54	0,77	0,83	694,48	574,7	1,12	775,48	574,7	965,22
освітлювальне:									39,5			37,25	18,03	
БК 0,4 кВ										-332			-332	
Всього на шинах 0,4 кВ ТП 3:									733,98	242,7		812,73	260,73	853,53
Втрати в трансформаторах:												10,33	77,9	
Кількість трансформаторів: 2														
Номінальна потужність, кВА: 630														
Коефіцієнт завантаження: Kз = 0,68														
Всього на шинах 10 кВ ТП 3:												823,06	338,63	890
4 ТП4														
Виробувальне відділення														
силове:	28	1,1	40	268,1	36,4	0,6	0,8	0,75	160,86	120,65	1,25	200,41	120,65	233,92
освітлювальне:									9,18			9,36	4,53	
Всього:									170,04	120,65		209,77	125,18	244,28
Модельно-комплектувальний цех														
силове:	49	1,1	30	217,1	27,3	0,6	0,6	1,33	130,26	173,68	1,24	160,91	173,68	236,76
освітлювальне:									6,43			6,56	3,18	
Всього:									136,69	173,68		167,47	176,86	243,57
Склад готових виробів														
силове:	11	3	15	87	5	0,45	0,75	0,88	39,15	34,53	1,4	54,94	34,53	64,89
освітлювальне:									1,97			1,42	0,69	
Всього:									41,12	34,53		56,36	35,22	66,46
Всього по ТП 4:														
силове:	88	1,1	40	572,2	36,4	0,58	0,71	1	330,27	328,86	1,16	384,72	328,86	506,12

продовження таблиці А.

Назва групи споживачів	Кількість ЕС	Р одного		Р сумар на	m	K _л	cosφ	tgφ	Середне		K _М	Розр. навантаження	
		min	max						Р _{ср} , кВт	Q _{ср} , квар		Р _р , кВт	Q _р , квар
освітлювальне:									17,58			17,34	8,4
БК 0.4 кВ										-200			-200
Всього на шинах 0.4 кВ ТП 4:									347,85	128,86		402,06	137,26
Втрати в трансформаторах:												5.14	38,78
Кількість трансформаторів: 1													
Номінальна потужність, кВА: 630													
Коефіцієнт завантаження: Kз = 0.67													
Всього на шинах 10 кВ ТП 4:												407,2	176.04
Всього по об'єкту													
силове:	327	0.35	250	4126,8	714,3	0,56	0,95	0,34	2323,92	785,92	33	1,16	2694,21
освітлювальне:									104.16				54,38
Всього:									2428.08	785,92			2797.78
Потужність КП 0.4 кВ:										-1064			-1064
Втрати в трансформаторах:												36.18	272,72
Всього по об'єкту:												2833.96	1113,02
Всього по об'єкту 10 кВ:												2833.96	1113,02
КПОкВ:													-750
Всього 10 кВ з КП:												2833.96	363.02
tg φ= 0,1499													