

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

“Допущено до захисту ”
Зав. кафедри ЕТС та ЕМ
к.т.н., професор
_____Петро ПЛЄШКОВ

“ ____ ” _____ 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ
ВИЩОЇ ОСВІТИ

на тему:

**«Розробка системи електропостачання ливарного
виробництва нікелевого заводу»**

Виконав здобувач вищої освіти
IV курсу групи ЕЕ-21-ЗСК,
ОПП «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»,
спеціальності 141 Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
_____Владислав ГАЛИЦЬКИХ
« ____ » _____ 2024 р.

Керівник роботи
професор, канд. техн. наук
_____Петро ПЛЄШКОВ
« ____ » _____ 2024 р.

Рецензент _____

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет будівництва, транспорту та енергетики

Кафедра електротехнічних систем та енергетичного менеджменту

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Галузь знань 14 «Електрична інженерія»

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ОПП «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

_____ Петро ПЛЄШКОВ

«_____» _____ 2024 р.

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

Галицьких Владислава Ігоровича

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи (проекту) **Розробка системи електропостачання ливарного
виробництва нікелевого заводу**

Development of a power supply system for the foundry of a nickel plant

2. Керівник роботи (проекту) Плєшков Петро Григорович, к.т.н., професор
(прізвище, ім'я, по-батькові, науковий ступінь, вчене звання)

3. Строк подання студентом роботи до захисту 3.06.2024 р.

4. Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи (проекту) _____
Вступ; Розрахунок електричних навантажень; Побудова картограми
електричних навантажень та вибір місця розташування РП-2; Техніко-
економічне обґрунтування схем зовнішнього та внутрішнього
електропостачання підприємства; Компенсація реактивної потужності; Вибір
кількості, потужності трансформаторів підстанцій підприємства; Розрахунок
струмів коротких замикань, та вибір високовольтного обладнання і
високовольтних мереж; Вибір пріоритетних напрямів енергозбереження
компресорних систем; Висновки

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Вступ</i>	1.05.24	
2	<i>Розрахунок електричних навантажень</i>	5.05.24	
3	<i>Побудова картограми електричних навантажень та вибір місця розташування РП-2</i>	9.05.24	
4	<i>Техніко-економічне обґрунтування схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання підприємства</i>	12.05.24	
5	<i>Компенсація реактивної потужності</i>	15. 05.24	
6	<i>Вибір кількості, потужності трансформаторів підстанцій підприємства</i>	19. 05.24	
7	<i>Розрахунок струмів коротких замикань, та вибір високовольтного обладнання і високовольтних мереж</i>	22. 05.24	
8	<i>Вибір пріоритетних напрямів енергозбереження компресорних систем</i>	25. 05.24	
9	<i>Оформлення пояснювальної записки ВКР</i>	29. 05.24	
10	<i>Оформлення презентаційної частини ВКР</i>	31. 05.24	

Дата видачі завдання

« ____ » _____ 2024р.

Підпис керівника _____

Петро ПЛЄШКОВ

Завдання прийнято до виконання

« ____ » _____ 2024 р.

Підпис здобувача _____

Владислав ГАЛИЦЬКИХ

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: 77 с.; 13 рис.; 17 табл.; 11 джерел

Галицьких В.І. Розробка системи електропостачання ливарного виробництва нікелевого заводу – Рукопис.

Бакалаврська робота за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», ОПП «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». – Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, 2024 рік.

В рамках бакалаврської роботи було проведено розробку електропостачання ливарного виробництва нікелевого заводу. Результати роботи відповідають вимогам економічності та надійності проекту для даного об'єкту. Для досягнення цих цілей були проведені основні техніко-економічні розрахунки, які включають розрахунок електричних навантажень, режимів реактивної потужності та струмів короткого замикання. Також були вибрані оптимальні схеми зовнішнього та внутрішнього електропостачання станції, трансформаторні підстанції, конденсаторні установки, кабельні лінії та високовольтне обладнання.

У спеціальному розділі кваліфікаційної роботи було проведена оцінка енергоефективності компресорних систем. По результатах були запропоновані пріоритетні напрями енергозбереження в компресорних установках. Ці напрямки є важливими для досягнення стратегічної мети енергозбереження в галузі. Реалізація цих пріоритетних напрямів може значно зменшити енергоспоживання та підвищити енергоефективність у виробничих процесах.

Ключові слова: компресорні системи, електричні навантаження, трансформаторна підстанція, енергозбереження, аудит компресорних станцій, енергоефективність

ABSTRACT

Qualification work: 77 p.; Fig. 13; 17 tables; 11 sources

Halytskyi V.I. Development of the power supply system for the foundry production of the nickel plant - 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, 2024.

As part of the bachelor's work, the development of the power supply of the foundry production of the nickel plant was carried out. The results of the work meet the requirements of economy and reliability of the project for this object. To achieve these goals, the main technical and economic calculations were carried out, which include the calculation of electrical loads, reactive power modes and short-circuit currents. Optimal schemes for the external and internal power supply of the station, transformer substations, capacitor units, cable lines and high-voltage equipment were also selected.

In a special section of the qualification work, an assessment of the energy efficiency of compressor systems was carried out. According to the results, priority areas of energy saving in compressor units were proposed. These areas are important for achieving the strategic goal of energy saving in the industry. Implementation of these priority directions can significantly reduce energy consumption and increase energy efficiency in production processes.

Keywords: compressor systems, electrical loads, transformer substation, energy saving, compressor station audit, energy efficiency

ЗМІСТ

	ВСТУП.....	6
1	РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ.....	8
1.1	Розрахунок силового навантаження.....	8
1.2.	Розрахунок освітлювального навантаження.....	9
1.3.	Побудова графіків навантажень.....	11
2	ПОБУДОВА КАРТОГРАМИ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ТА ВИБІР МІСЦЯ РОЗТАШУВАННЯ РП-2...	18
3	ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ СХЕМ ЗОВНІШНЬОГО ТА ВНУТРІШНЬОГО ЕЛЕКТРОПОСТА- ЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВА.....	20
3.1.	Вибір схеми та напруги зовнішнього електропостачання.....	20
3.2.	Вибір схеми та напруги внутрішнього електропостачання.....	20
4	КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ.....	27
4.1.	Розрахунок балансу реактивної потужності та вибір пристроїв для її компенсації.....	27
4.2.	Вибір кількості, потужності та місця розташування пристроїв компенсації реактивної потужності.....	32
5	ВИБІР КІЛЬКОСТІ, ПОТУЖНОСТІ ТРАНСФОРМАТОРІВ ПІДСТАНЦІЙ ПІДПРИЄМСТВА.....	33
5.1.	Вибір кількості та потужності трансформаторів та місця розташування цехових трансформаторних підстанцій.....	33
6	РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКИХ ЗАМИКАНЬ, ТА ВИБІР ВИСОКОВОЛЬТНОГО ОБЛАДНАННЯ І ВИСОКОВОЛЬТНИХ МЕРЕЖ.....	35

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА ЗА ПЕРШИМ БАКАЛАВРСЬКИМ РІВНЕМ ОСВІТИ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат				
Розробив	Галицьких В.І.				Розробка системи електропостачання ливарного виробництва нікелевого заводу	Лім.	Арк.	Аркуші
Перевірів	Плешков П.Г.						3	74
						ЦНТУ, гр.ЕЕ-21-3СК		
Н. контр.	Плешков П.Г.							
Затвердив	Плешков П.Г.							

6.1.	Розрахунок струмів коротких замикань.....	36
6.2.	Вибір високовольтного обладнання.....	41
6.3.	Вибір високовольтних кабелів.....	44
7	ВИБІР ПРІОРИТЕТНИХ НАПРЯМІВ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ КОМПРЕСОРНИХ СИСТЕМ	47
7.1.	Енергетичний аудит. Його мета та основні завдання.....	47
7.2.	Енергетичний аудит компресорних станцій	49
7.3.	Оцінка енергоефективності компресорних систем.....	50
7.4.	Аналіз енергопотоків ї в компресорних системах.....	53
7.5.	Оцінка енергетичного потенціалу компресорних систем.....	58
7.6.	Вибір пріоритетних напрямів енергозбереження.....	62
	ВИСНОВКИ.....	68
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	69
	ДОДАТОК А.....	71

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Проектування електропостачання промислових підприємств вимагає ретельного аналізу, планування та розрахунків для забезпечення надійного і ефективного живлення. Під час проектування електропостачання промислових об'єктів враховується багато факторів.

Перед розробкою системи електропостачання важливо ретельно вивчити потреби підприємства щодо електроенергії. Це включає визначення загальної потужності, типів електрообладнання, режимів роботи та можливих збільшень обсягів споживання в майбутньому. Вибір джерел живлення залежить від ряду факторів, таких як місцеві умови, доступність палива, екологічні аспекти та вартість. Це може бути підключення до мережі електропостачання, використання відновлюваних джерел енергії (сонячна, вітрова), генерація електроенергії на місці (дизельні генератори, когенерація тощо).

На етапі безпосереднього проектування необхідно розробити схему електричних мереж, враховуючи різні вимоги щодо безпеки, надійності та ефективності. Це включає вибір оптимальної конфігурації мережі, розташування трансформаторних підстанцій, розподільчих пунктів тощо.

Для забезпечення надійності електропостачання варто передбачити системи резервного живлення (резервні джерела живлення, UPS), а також заходи для захисту від перенапруг та короткого замикання.

Проектування електропостачання повинно також враховувати можливості зменшення споживання електроенергії шляхом використання енергоефективних технологій та систем управління енергією.

Під час розробки системи електропостачання слід дотримуватися відповідних нормативів, стандартів та правил безпеки, що регулюють електротехнічне обладнання та експлуатацію електромереж.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

В даній кваліфікаційній роботі розглядається проектування системи електропостачання ливарного виробництва нікелевого заводу.

В групі цехів нікелевого заводу виробляється феронікель із вмістом нікелю від 15 до 20 відсотків, а також заліза. Ливарне виробництво нікелю здійснює виробництво 1400 тон цього металу і 7000 тон феронікелю щомісяця. Останній використовується у металургійній галузі для створення сплавів з високою міцністю та корозійною стійкістю, які застосовуються у машинобудуванні та оборонній промисловості.

Електропостачання нікелевого заводу може здійснюватись від підстанції системи 35 кВ, відстань 1,6 км.

Більшість споживачів електроенергії належать до категорій I, II і III. Плавильний цех працює у трьохзмінному режимі, оскільки процес ливарного виробництва потребує постійного технологічного циклу. Район, де розташований цей корпус, відноситься до III-го кліматичного району. Усі будівлі і споруди мають п'ятий ступінь вогнестійкості.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

1 РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Розрахунок електричних навантажень є важливою задачею при проектуванні електричних систем. Існують різні методи розрахунку, які можуть бути застосовані в залежності від конкретної ситуації та вимог проекту. В даній роботі розрахунок електричних навантажень виконується методом впорядкованих діаграм згідно методики, викладеній в [3].

1.1. Розрахунок силового навантаження

Розрахунок силового електронавантаження підприємства включає в себе визначення потреби підприємства у електричній енергії для забезпечення всіх його потреб у силовому споживанні. Основні кроки при цьому розрахунку включають наступне.

1. Спочатку визначаються всі пристрої та системи, які споживають електричну енергію на підприємстві. Це можуть бути машини, обладнання, системи кондиціонування повітря, освітлення та інші пристрої.

2. Для кожного споживача визначається його потужність, яка може бути вказана у ватах (Вт) або кіловатах (кВт). Якщо потужність не вказана, вона може бути розрахована з використанням документації виробника або шляхом вимірювань.

3. Після визначення потужності кожного споживача визначається загальна потужність всіх споживачів (кВА).

4. Крім поточних потреб у силовому споживанні, рекомендується враховувати потенційне зростання виробничих потужностей або додаткове обладнання, яке може бути встановлене у майбутньому.

5. Враховуючи сумарну потужність і тип живлення, проводяться розрахунки щодо необхідного обладнання для електричного

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

приєднання та захисту, такого як трансформатори, розподільчі пристрої, автоматичні вимикачі тощо.

При розрахунку електричних навантажень використовуємо метод впорядкованих діаграм Каялова.

Для цеху плавлення:

$$P_p = K_m \cdot P_{зм} = K_v \cdot K_m \cdot P_n = 1,44 \cdot 560,2 = 805,48 \text{ кВт}$$

де K_m – коефіцієнт максимуму, табличне значення [3]);

$P_{зм}$ – величина середньозмінної потужності, кВт;

P_n – номінальна потужність електроприймача, кВт;

K_v – коефіцієнт використання визначається за (Табл. 24-3[3]).

Реактивні розрахункові навантаження для цеху плавлення:

$$Q_{зм} = P_{зм} \cdot \operatorname{tg} \varphi = 560,2 \cdot 1,08 = 603,73 \text{ кВар}$$

$$Q_p = Q_{зм}, \text{ при } n_e > 10$$

$$Q_p = 1,1 \cdot Q_{зм}, \text{ при } n_e \leq 10$$

де $Q_{зм}$ – величина середньозмінної реактивної потужності, кВт.

Спочатку проводять розрахунок споживаної електроенергії для обладнання з низькою напругою, а також оцінюють навантаження на підстанції. Усі ці розрахунки виконуються у вигляді таблиць, які можна знайти у Додатку А Таблиці А.1, А.3.

1.2. Розрахунок освітлювального навантаження

Розрахунок освітлювальних навантажень — це процес визначення потужності освітлення, необхідного для певного простору або приміщення. Освітлення може бути визначене як загальне, робоче або акцентоване, залежно від функцій приміщення.

Враховуючи призначення приміщення, визначається, який тип освітлення необхідний (загальне, робоче, акцентоване тощо). Визначається площа приміщення.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

Використовуючи формули, що базуються на площі приміщення та необхідному рівні освітленості, визначається потрібна потужність освітлювальних приладів.

Зібравши всі дані, підраховується загальна потужність освітлювальних приладів, необхідних для освітлення приміщення.

Розрахунок освітлювального навантаження здійснюється по питомій щільності освітлювального навантаження на один квадратний метр площі підприємства та адміністративних приміщень P_y . Значення P_y береться в довіднику [3].

Розрахункове освітлювальне навантаження визначаємо через коефіцієнт попиту K_p . Значення K_p знаходимо в табл. [3].

Обчислюємо встановлену потужність освітлювального навантаження для компресорної:

$$P_y = F \cdot P_0 = 1800 \cdot 12 \cdot 10^{-3} = 21,6 \text{ кВт}$$

Розрахункова потужність дорівнює:

$$P_p = K_p \cdot P_y = 0,95 \cdot 21,6 = 20,52 \text{ кВт}$$

Всі розрахунки представлено в Табл. 2.1.

Таблиця 2.1 - Розрахунок освітлювального навантаження групи цехів нікелевого заводу.

№ п/п	Найменування підрозділу	F, м ²	P ₀ , кВт/м ²	P _y , кВт	tg	Q _y , кВар	K _p	P _p , кВт	Q _p , кВар	S _p , кВА
1	Компресорна	1800	12	21,6	0,328	7,099	0,95	20,52	6,74	21,60
2	Цех плавлення	21600	6	129,6	0,328	42,597	0,7	90,72	29,81	95,49
3	Випалювальний цех	11040	11	121,4	0,328	39,915	0,9	109,296	35,92	115,05
4	Насосна	1440	10	14,4	0,328	4,733	0,9	12,96	4,25	13,64
Всього по заводу		35880		287,04		94,345		233,49	76,74	245,78

1.3. Побудова графіків навантажень

При проектуванні та експлуатації електричних мереж зазвичай враховують три основних види навантажень: активну потужність (P), реактивну потужність (Q) та струм (I), або загальну потужність (S). Основою для побудови річних графіків залежно від тривалості є графіки навантажень за добу. Ці графіки практично повністю описують електричне споживання підприємства. Для групи цехів ливарного виробництва використовуємо добові графіки активного та реактивного навантаження.

Під час побудови добового графіка реактивного навантаження дотримуємось вимог по компенсації реактивної потужності режиму максимуму $\text{tg } \varphi = 0,15$.

Обчислимо розрахункове активне навантаження заводу на шинах 10 кВ:

$$P_{p10} = P_{p0,4} + P_{p0} + \Delta P_{\text{мп}} + P_{10},$$

де $P_{p0,4} = 2535,5$ кВт – значення силового навантаження на 0,4 кВ;

$P_{p0} = 233,5$ кВт – значення розрахункового потужності освітлення;

$\Delta P_{\text{мп}}$ = втрати в трансформаторах;

P_{10} = високовольтне навантаження ($P_{10} = 5105$ кВт).

Втрати в трансформаторах (N = 8 шт.) із $k_z = 0,7$, $S_H = 1000$ кВА

$$\Delta P_{\text{мп}} = (\Delta P_{\text{xx}} + \Delta P_{\text{кз}} \cdot K_z^2) \cdot 4 = (2 + 12 \cdot 0,7^2) \cdot 4 = 33,49 \text{ кВт},$$

де $\Delta P_{\text{xx}} = 2$ кВт, $\Delta P_{\text{кз}} = 12$ кВт.

Розрахункове навантаження складає

$$P_{10} = 2535,5 + 233,5 + 33,5 + 5105 = 7907,5 \text{ кВт}.$$

Враховуючи компенсацію ($\text{tg } \varphi = 0,15$) реактивне навантаження на шинах 10 кВ дорівнює:

$$Q_{p10} = P_{p10} \cdot \text{tg } \varphi = 7907,5 \cdot 0,15 = 1009,8 \text{ кВАр}.$$

Відповідні графіки навантаження наведені на Рис. 1.1-1.5.

На основі добових графіків активного і реактивного навантаження будуємо річний графік по тривалості активної і реактивної потужності.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

Інтервал кожної ступені річного графіка можна визначити:

$$\tau = 365 \cdot t_i,$$

де t_i – сумарний час ступеней добового графіка, які мають рівні значення.

Розподіл вихідних і святкових днів протягом року виглядає наступним чином:

число зимових діб – 148

число літніх діб – 106

святкові і вихідні дні – 111.

У вихідні дні навантаження становить 50% від розрахункового.

Таблиця 1.1 - Розрахунки для добового графіку навантажень P, Q, %

№	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

					Арк. 12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Таблиця 1.2 - Розрахунки для річного графіку навантаження

№	Зимові дні						Літні дні					
	Робочі дні			Вихідні дні			Робочі дні			Вихідні дні		
	Р, кВт	Q, кВар	S, кВА	Р, кВт	Q, кВар	S, кВА	Р, кВт	Q, кВар	S, кВА	Р, кВт	Q, кВар	S, кВА
1	3558	424	3583	3005	606	3065	3025	360	3046	2554	515	2605
2	3558	424	3583	3005	606	3065	3025	360	3046	2554	515	2605
3	3558	424	3583	3005	606	3065	3025	360	3046	2554	515	2605
4	3558	424	3583	3005	606	3065	3025	360	3046	2554	515	2605
5	3954	454	3980	3005	606	3065	3361	386	3383	2554	515	2605
6	3954	454	3980	3005	606	3065	3361	386	3383	2554	515	2605
7	6326	656	6360	3005	606	3065	5377	558	5406	2554	515	2605
8	7117	757	7157	3005	606	3065	6049	644	6083	2554	515	2605
9	7908	1010	7972	2135	505	2194	6721	858	6776	1815	429	1865
10	7908	1010	7972	2135	505	2194	6721	858	6776	1815	429	1865
11	7117	757	7157	2135	505	2194	6049	644	6083	1815	429	1865
12	6326	656	6360	2135	505	2194	5377	558	5406	1815	429	1865
13	7117	757	7157	2135	505	2194	6049	644	6083	1815	429	1865
14	7117	757	7157	2135	505	2194	6049	644	6083	1815	429	1865
15	7908	808	7949	2135	505	2194	6721	687	6756	1815	429	1865
16	7908	808	7949	2135	505	2194	6721	687	6756	1815	429	1865
17	7117	757	7157	2135	505	2194	6049	644	6083	1815	429	1865
18	6326	656	6360	3005	606	3065	5377	558	5406	2554	515	2605
19	4744	505	4771	3005	606	3065	4033	429	4056	2554	515	2605
20	4744	505	4771	3005	606	3065	4033	429	4056	2554	515	2605
21	3954	454	3980	3005	606	3065	3361	386	3383	2554	515	2605
22	3954	454	3980	3005	606	3065	3361	386	3383	2554	515	2605
23	3954	454	3980	3005	606	3065	3361	386	3383	2554	515	2605
24	3558	424	3583	3005	606	3065	3025	360	3046	2554	515	2605

Визначимо з річного графіка витрати активної та реактивної енергії

$$W_p = \sum_{i=1} P_i \cdot \tau_i = 38280411 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

$$V_p = \sum_{i=1} Q_i \cdot \tau_i = 4936446 \text{ кВАр} \cdot \text{год}.$$

								Арк.
								13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				

Кількість годин використання максимального навантаження визначимо за виразом

$$T_m = \frac{\sqrt{W_z^2 + V_z^2}}{S_m} = \frac{\sqrt{38280411^2 + 4936446^2}}{7971,7} = 4841,8_{год},$$

де $S_m = \sqrt{P_{p10}^2 + Q_{p10}^2} = \sqrt{7907,5^2 + 1009,8^2} = 7971,7_{кВА}.$

Значення τ_m визначаємо за формулою Кезевича

$$\tau_m = (0,124 + \frac{T_m}{10000})^2 \cdot 8760 = (0,124 + \frac{4842}{10000})^2 \cdot 8760 = 3240_{год}.$$

Розрахункові величини графіка електричних навантажень

$S_p =$	7971,72	МВА
$W_{з.р.} =$	19586721	кВт· год
$V_{з.р.} =$	2173983	кВар· год
$W_{з.в.} =$	4178850	кВт· год
$V_{з.в.} =$	886275	кВар· год
$W_{л.р.} =$	11891880	кВт· год
$V_{л.р.} =$	1320060	кВар· год
$W_{л. в.} =$	2622960	кВт· год
$V_{л. в.} =$	556128	кВар· год
$W_p =$	38280411	кВт· год
$V_p =$	4936446	кВар· год
$T_{max} =$	4841,792	год.
$\tau_m =$	3240,166	год.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

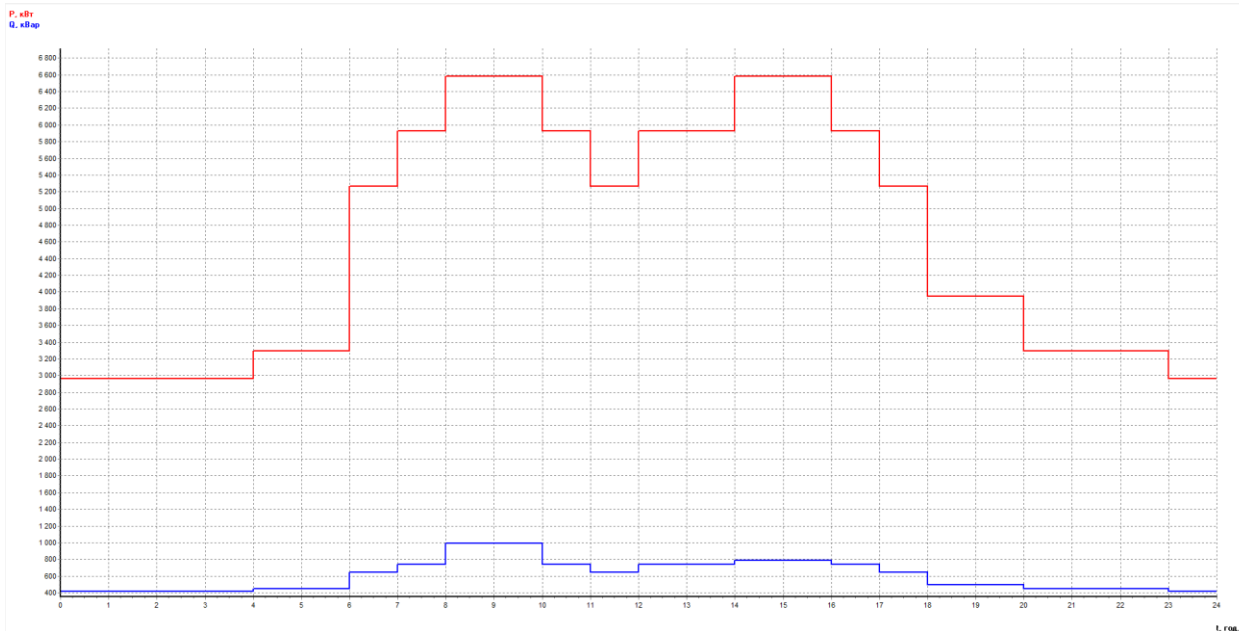


Рисунок 1.1 - Навантаження літнього робочого дня

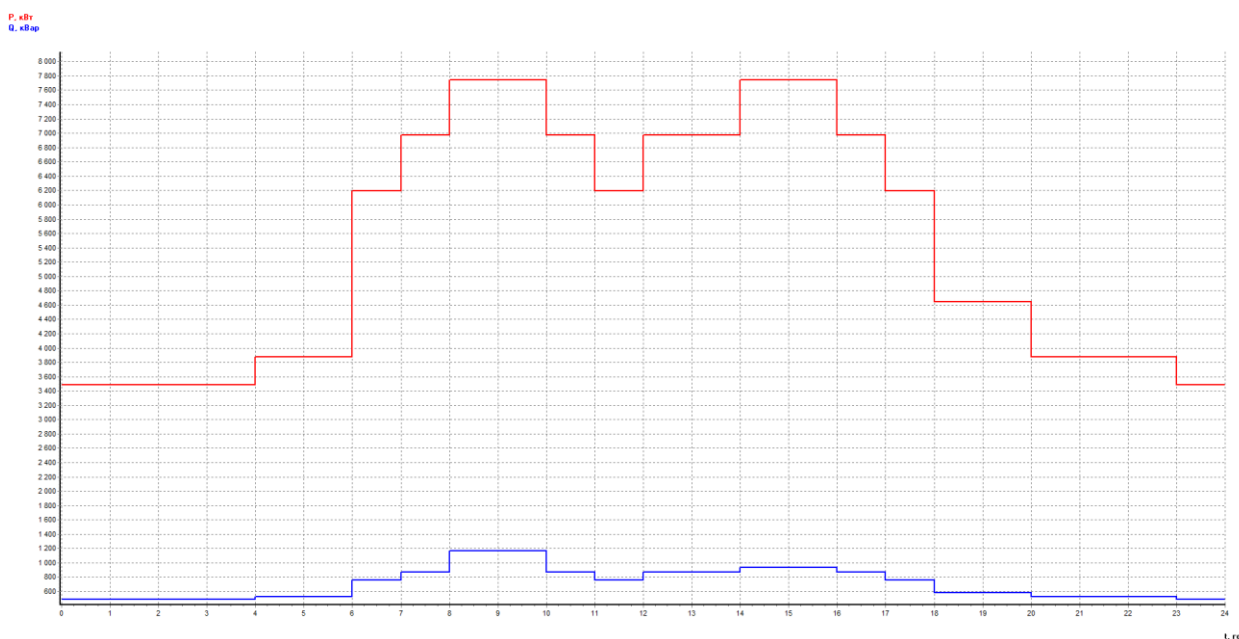


Рисунок 1.2 - Навантаження зимового робочого дня

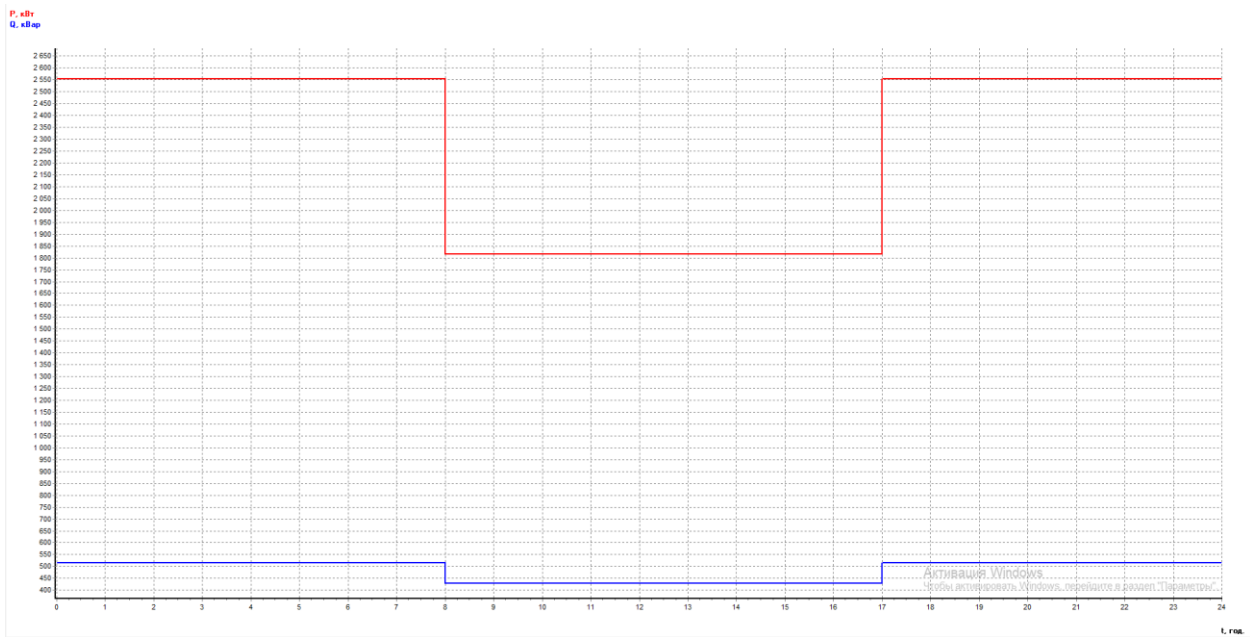


Рисунок 1.3 - Навантаження літнього вихідного дня

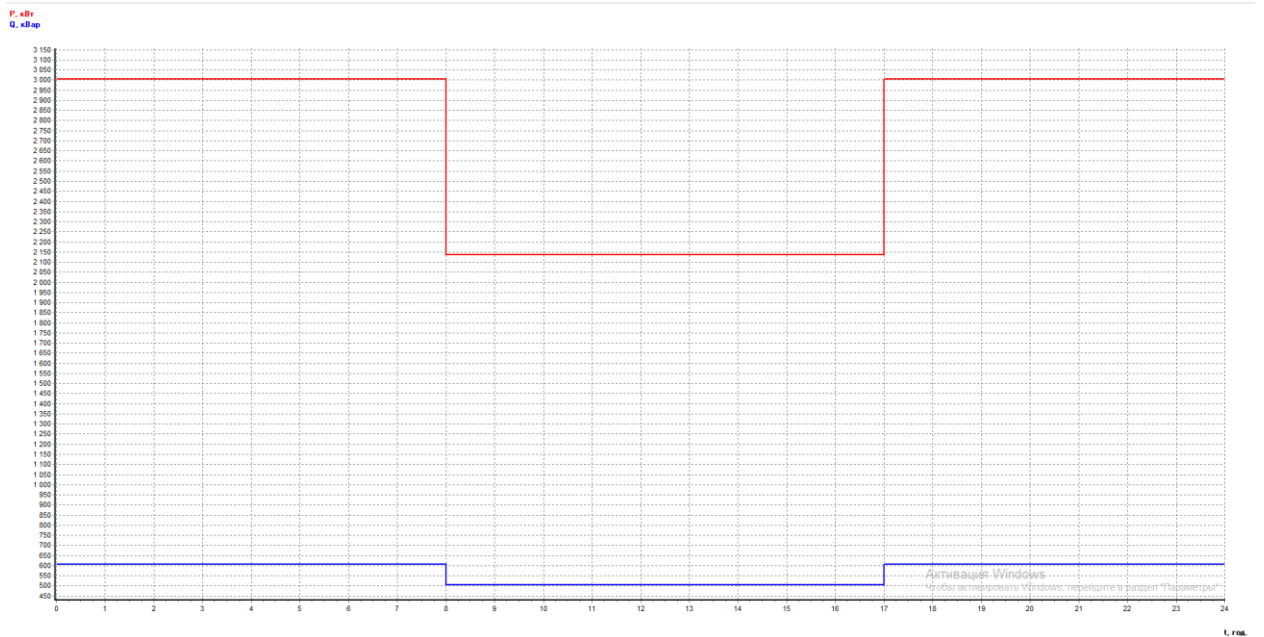


Рисунок 1.4 - Навантаження зимового вихідного дня

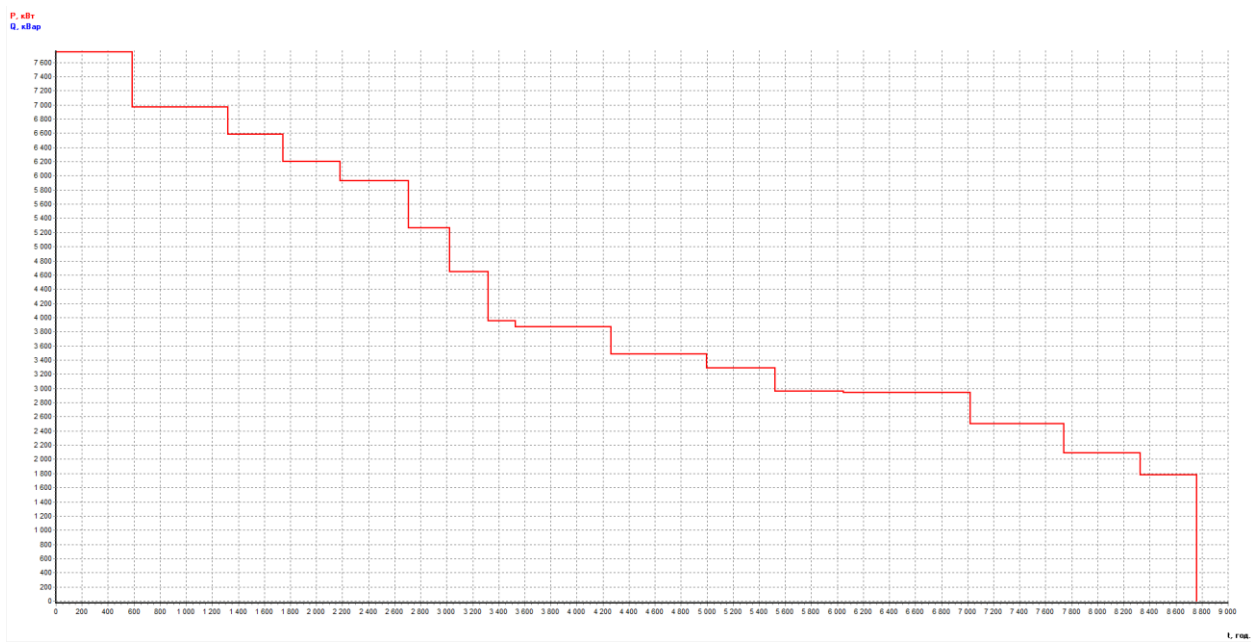


Рисунок 1.5 - Річний графік навантаження

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

2 ПОБУДОВА КАРТОГРАМИ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ТА ВИБІР МІСЦЯ РОЗТАШУВАННЯ РП-2

Картограма електричних навантажень - це візуальне зображення розподілу електричних навантажень на певній території, будівлі або системі. Зазвичай це графічна діаграма, яка показує різні зони або точки споживання електроенергії та їхні навантаження.

На картограмі електричних навантажень можуть бути відображені такі дані:

1. Різні зони або приміщення, що споживають електроенергію, можуть бути позначені на карті.
2. Потужність навантаження.
3. Типи навантажень.
4. Тривалість навантажень.

Картограма навантажень електричної системи використовується для встановлення місць розташування РП-2 та цехових ТП на генеральному плані промислового підприємства. При побудові цієї карти для кожного цеху визначається радіус кола, площа якого в масштабі відповідає розрахунковому навантаженню цеху. Карта навантажень демонструє розподіл навантажень на території підприємства. Координати центру цих навантажень визначаються як центр тяжіння плоских фігур.

Розрахунок картограми виконаний відповідно методики, викладеній у [3] та наведений у вигляді таблиці 2.1.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

Таблиця 2.1 - Розрахунок картограми навантажень

№п/п	Назва підрозділу	<i>m</i>	<i>P_{p осв}</i>	<i>P_{p сил і вв}</i>	<i>P_{p сил +P_{p осв}}</i>	<i>R</i>	<i>α</i>	<i>X_i</i>	<i>Y_i</i>	<i>P_i*X_i</i>	<i>P_i*Y_i</i>
1	Компресорна	0,5	20,5	2766,0	2786,5	42,1	1,3	27,2	11,4	75793,3	31766,3
2	Цех плавлення	0,5	90,7	3705,0	3795,7	49,2	4,3	4,2	23,5	15942,0	89199,4
3	Випалювальний цех	0,5	109,3	339,2	448,5	16,9	43,9	27,2	2,7	12199,2	1211,0
4	Насосна	0,5	13,0	118,5	131,4	9,1	17,8	15,2	3,2	1997,6	420,5
7162										105932	122597

Центр електричних навантажень:

$$X_0 = 14,79 \text{ см}$$

$$Y_0 = 17,12 \text{ см}$$

Отже, визначивши значення X та Y і встановивши центр електричних навантажень промислового підприємства, визначаємо місце для розташування РП-2. Зазвичай РП-2 розміщують у центрі електричних навантажень, але при будівництві її на підприємстві здійснюють зміщення від центра у напрямку джерела живлення.

Такий підхід максимально наближає високу напругу до центру споживання електроенергії, а розподільчі мережі мають мінімальну довжину. Проте, якщо з якихось причин (технологічних, архітектурних) неможливо розмістити джерело живлення у центрі електричних навантажень, зміщення його призводить до збільшення річних витрат на систему електропостачання.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

3 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ СХЕМ ЗОВНІШНЬОГО ТА ВНУТРІШНЬОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВА

3.1. Вибір схеми та напруги зовнішнього електропостачання

Вирішення питання щодо напруги понад 1000 В пов'язане з загальною схемою електропостачання нікелевого заводу. Так, оскільки на цьому підприємстві використовується напруга 10 кВ, ми встановлюємо напругу для живлення цехових трансформаторних підстанцій на рівні 10 кВ.

3.2. Вибір схеми та напруги внутрішнього електропостачання

Під час вибору схеми електропостачання ливарного корпусу розглядаються два можливих варіанти. Перший - будівництво РП, яке живить всі цехові КТП. У цьому випадку економія досягається за рахунок скорочення загальної довжини кабелів (див. Рис. 3.1). Другий варіант - безпосереднє живлення КТП від ГПП, що знаходиться на відстані 400 метрів від цехів промислового майданчика. Ця схема має менше комірок з вимикачами і менший розріз кабелів (без вводу кабелів до РП).

Критерієм економічності схеми електропостачання вважається мінімум приведених витрат.

$$Z_{\text{прив}} = E_n \cdot K_i + C_i + C_{\text{пот } i} + Y_i,$$

де C_i , K_i – поточні витрати пов'язані з передачею та розподілом електроенергії та загальні капіталовкладення у розглядаємий варіант;

$C_{\text{втр}}$ – вартість втрат енергії;

E_n – нормативний коефіцієнт ефективності.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

Варіант 1. Живлення електроенергією здійснюється від ГПП зі спорудженням РП-2.

Розрахуємо струм в лінії $S_p = 7971,7$ кВА

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = \frac{7971,7}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 438,8 \text{ А.}$$

Перетин визначається по економічній щільності струму, $j_e = 1,2$ якщо $T_m > 5000$ год. [3].

$$F_{ек} = \frac{I_p}{4 \cdot j_{ек}} = \frac{438,8}{2 \cdot 1,2} = 183 \text{ мм}^2.$$

Приймаємо для прокладки 4-х кабельні лінії перерізом 185 мм^2 , марки ААШВ (3×185), тривало припустимий струмом нагріву якого $I_{д.пр} = 310$ А [3].

При виході з роботи одного ланцюга лінії, той ланцюг, що залишився в роботі здійснює живлення навантаження.

$$I = I_{д.пр} \cdot K_{ап} = 2 \cdot 310 \cdot 1,3 = 806 \text{ А,}$$

де $K_{ап}$ – припустимий коефіцієнт аварійного перевантаження.

Для живлення цехових КТП (2×1000 кВА) приймаємо кабель ААШВ-70 мм^2 , враховуючи термічну стійкість.

Вартість втрат електроенергії визначається по тарифу для 1-го класу напруги:

$$C_{втр} = C_0 \cdot \Delta E$$

$$C_0 = 3,9 \text{ грн/кВт} \cdot \text{год. для 1-го класу (для напруги 35 кВ).}$$

Втрати електроенергії обчислюються наступним чином:

$$\Delta E = \Delta P_m \cdot \tau_m$$

$$\Delta P_m = 3 \cdot I^2 \cdot R_0 \cdot l \cdot 10^{-3}, \text{ кВт,}$$

де l – довжина кабелю $l = 1,6$ км ААШВ (3×185).

$$R_0 = 0,167 \text{ Ом/км} \text{ – питомий опір кабелю з перетином } 185 \text{ мм}^2.$$

$$\text{Питомий опір для кабелю } 70 \text{ мм}^2 \text{ } R_0 = 0,44 \text{ Ом/км.}$$

$$\text{Відповідно розрахункам розділу 2, } T_m = 4841,8 \text{ год., } \tau_m = 3240,2 \text{ год.}$$

Обчислюємо втрати:

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

$$\Delta P_{m1} = 3 \cdot (438,8/2)^2 \cdot 0,167 \cdot 1,6 \cdot 10^{-3} = 24,1 \text{ кВт}$$

де I_p для радіальної лінії КТП-1,2 (2×1000) = 38 А

$$\Delta P_{m2} = 3 \cdot (38)^2 \cdot 0,44 \cdot 2 \cdot 0,28 \cdot 10^{-3} = 1,06 \text{ кВт}$$

$$\text{де } I_p = \frac{0,7 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 10} = 38 \text{ А}, \quad l = 0,28 \text{ км.},$$

приймаємо до прокладання кабель ААШВ-70 мм².

$$\Delta P_{m3} = 3 \cdot (65)^2 \cdot 0,44 \cdot 2 \cdot 0,32 \cdot 10^{-3} = 1,78 \text{ кВт}$$

де для синхронних та асинхронних двигунів ($P_n = 1000 \text{ кВт}$):

$$I_p = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 0,9} = 65 \text{ А}, \quad l = 0,32 \text{ км.},$$

приймаємо до прокладання кабель ААШВ-70 мм².

$$\Delta P_{m4} = 3 \cdot (40)^2 \cdot 0,44 \cdot 2 \cdot 0,18 \cdot 10^{-3} = 0,38 \text{ кВт}$$

де для асинхронного двигуна ($P_n = 630 \text{ кВт}$):

$$I_p = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 0,9} = 40 \text{ А}, \quad l = 0,18 \text{ км.},$$

приймаємо до прокладання кабель ААШВ-70 мм².

$$\Delta P_{m5} = 3 \cdot (26)^2 \cdot 0,44 \cdot 2 \cdot 0,12 \cdot 10^{-3} = 0,21 \text{ кВт}$$

де для асинхронного двигуна ($P_n = 400 \text{ кВт}$):

$$I_p = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 0,9} = 26 \text{ А},$$

приймаємо до прокладання кабель ААШВ-70 мм², $l = 0,12 \text{ км.}$

$$\Delta P = 24,1 + 1,06 + 1,78 + 0,38 + 0,21 = 27,53 \text{ кВт}$$

$$\Delta E = 27,53 \cdot 3240,2 = 89202 \text{ кВт}$$

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

$$C_{\text{втр1}} = C_0 \cdot \Delta P_{\text{м}} \cdot \tau_{\text{м}} = 3,9 \cdot 27,53 \cdot 3240,2 = 347890 \text{ грн.}$$

Варіант 2. Живлення групи цехів здійснюється від ГПП до заводу.

Проводимо розрахунок вартості втрат електроенергії.

Відстань до ГПП збільшується на 400 м, 2 кабелі – це 800 м.

Довжина кабелю, по якому проходить струм $I_p = 38$: $l = 0,28 + 2 \cdot 0,4 = 1,08$ км (одна секція).

Довжина кабелю, по якому проходить струм $I_p = 65$ А:

$$l = 0,32 + 2 \cdot 0,4 = 1,12 \text{ км.}$$

Довжина кабелю, по якому проходить струм $I_p = 40$ А:

$$l = 0,18 + 2 \cdot 0,4 = 0,98 \text{ км.}$$

Довжина кабелю, по якому проходить струм $I_p = 26$ А:

$$l = 0,12 + 2 \cdot 0,4 = 0,92 \text{ км.}$$

Обчислюємо втрати потужності:

$$P_{\text{м}} = 3 \cdot 38^2 \cdot 0,44 \cdot 2 \cdot 1,08 \cdot 10^{-3} + 3 \cdot 65^2 \cdot 0,44 \cdot 2 \cdot 1,12 \cdot 10^{-3} + 3 \cdot 40^2 \cdot 0,44 \cdot 2 \cdot 0,98 \cdot 10^{-3} + 3 \cdot 26^2 \cdot 0,44 \cdot 2 \cdot 0,92 \cdot 10^{-3} = 22,4 \text{ кВт}$$

$$C_{\text{втр2}} = 3,9 \cdot 22,4 \cdot 3240,2 = 283063 \text{ грн.}$$

Розрахунок капітальних вкладень та поточних витрат по варіантах представлений в табл. 3.1-3.3.

Таблиця 3.1 - Розрахунок капітальних вкладень

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

варіант	Елементи схеми	Кількість довжина	Вартість, од.тис.грн.	Вартість всього тис.грн.	Джерело даних
1	Шкаф серії КРУ, з вимикачем 10кВ на РП-2	17	88	1496	інтернет
	Кабель ААШВ- 185 ,км	1,6	2016	3225,6	інтернет
	Траншея,км	0,4	10	4	інтернет
	Кабель ААШВ- 70 ,км	1,8	1005	1809	інтернет
	Траншея,км	0,9	10	9	інтернет
	Всього			6543,6	
2	Шкаф з вимикачем ВР-1-10.кВ на ГПП	14	88	1232	інтернет
	Кабель ААШВ- 70 ,км	7,4	1005	7437	інтернет
	Траншея,км	3,7	10	37	інтернет
	Всього			8706	

Таблиця 3.2 - Розрахунок поточних витрат

варіант	Елементи схеми	K _j , тис.грн.	P _a , %	C _{aj} , тис.грн.	P _э , тис.грн.	C _{эj} , тис.грн.	C _j , тис.грн.
1	Шкаф серії КРУ, на РП-2	1496	15	224,4	5	74,8	299,2
	Кабельна лінія з урахуванням траншеї	5047	5	252,4	5	252,4	504,7
	Всього						803,9
2	Шкаф серії КРУ, з вимикачем на ГПП	1232	15	184,8	5	61,6	246,4
	Кабельна лінія з урахуванням траншеї	7474	5	373,7	5	373,7	747,4
	Всього						993,8

Таблиця 3.3 - Техніко-економічні показники варіантів

Показники	Варіант	
	1	2
Капітальні вкладення, тис. грн.	6543,6	8706
Поточні витрати, тис. грн.	803,9	993,8
Вартість втрат електроенергії, тис. грн.	347,8	283
Приведені витрати	7695,3	9982,8

По результатам техніко-економічного порівняння варіантів виявився економічнішим варіант 1, тобто виконується спорудження на території заводу РП-2, від якого здійснюється живлення нікелевого заводу.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

4 КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ

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

Компенсація реактивної потужності має значний вплив на ефективність та економічність енергоспоживання, а також на стабільність електромережі.

Реактивна потужність в електромережі може мати кілька негативних впливів. Реактивна потужність спричиняє втрати енергії в електричних лініях та обладнанні через виникнення реактивних струмів, які не приносять корисної роботи.

Значна реактивна потужність може викликати падіння напруги в мережі, особливо на віддалених від джерела живлення ділянках, перевантажувати обладнання, таке як трансформатори, конденсатори тощо, що може призводити до їх перегріву та збоїв.

Збільшення реактивної потужності знижує ефективність електромережі, оскільки збільшує загальні втрати енергії, це може призводити до нестабільності роботи електромережі, зокрема до коливань напруги та струму.

Загалом, надлишок реактивної потужності може призводити до проблем із ефективністю, надійністю та стабільністю електромережі, тому вирішення цієї проблеми є важливим для оптимального функціонування системи. Компенсація реактивної потужності включає встановлення місцевих джерел реактивної потужності, що підвищує пропускну здатність мереж і трансформаторів і зменшує втрати енергії.

Для вибору кількості, потужності та місця розташування пристроїв компенсації реактивної потужності необхідно враховувати кілька факторів.

Потрібно визначити обсяг реактивної потужності, який необхідно

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

компенсувати, а також визначити його характеристики (індуктивний або ємнісний).

Важливо врахувати характеристики навантаження, такі як його змінність і динаміка, щоб правильно підібрати тип та потужність компенсуючих пристроїв.

Потужність необхідних для встановлення компенсуючих пристроїв визначається за виразом:

$$Q_{\text{кy}} = Q_{\phi} - Q_e,$$

де Q_{ϕ} – значення фактичного реактивного навантаження в максимальному режимі;

Q_e – значення реактивної потужності, що відповідає умовам енергосистеми.

На шинах 10 кВ РП-2 вимагається підтримка $\text{tg } \varphi = 0,15$.

Реактивне навантаження на шинах 10 кВ без врахування компенсації:

$$Q_{0,4} = Q_{p0,4} + Q_{po} = 1759,3 + 76,75 = 1836 \text{ кВар}$$

$$Q_{10} = Q_{0,4} + \Delta Q_{\text{mp}} + Q_{p10} = 1836 + 188 + 1609,8 = 3633,8 \text{ кВар}$$

Реактивні втрати в трансформаторах ΔQ_{mp} визначаються по формулі:

$$\Delta Q_{\text{mp}} = \left(\frac{U_{\kappa\%}}{100} \cdot \frac{S^2}{S_n} + \frac{I_{xx\%}}{100} \cdot S_n \right) n = \left(\frac{5,5}{100} \cdot 0,7^2 \cdot 1000 + \frac{2}{100} \cdot 1000 \right) \cdot 4 = 188 \text{ кВар}$$

Тоді потужність компенсації:

$$Q_{\text{кy}} = 3633,8 - 7907,5 \cdot 0,15 = 2448 \text{ кВар}$$

Збільшення реактивної потужності, що надходить в мережу з напругою 10 кВ із 1000 В, може спричинити зростання загальної кількості встановлених трансформаторів без зміни їхніх потужностей.

Зазвичай оптимальною є мінімально можливе число трансформаторів, що визначається за допомогою формули:

$$N_0 = \frac{P}{\beta \cdot S_n}$$

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

де P – сумарна активна потужність в мережі до 1000 В ($P_{0,4} = 2769$ кВт).

β – значення коефіцієнту завантаження трансформаторів;

S_n – номінальна потужність трансформатора, мВА.

Отримане значення числа трансформаторів повинно бути округлене до цілого значення.

Максимальну реактивну потужність (мВар), що може передаватися з мережі 10 кВ в мережу до 1000 В без збільшення числа трансформаторів, можна обчислити за формулою:

$$Q_1 = \sqrt{(N \cdot \beta \cdot S_n)^2 - P^2}$$

Отже, для вирішення цієї задачі необхідно порівняти розрахункові витрати для трьох варіантів: перший - з мінімальною кількістю трансформаторів, другий - з кількістю трансформаторів, збільшеною на 1, і третій - з кількістю трансформаторів, збільшеною на 2.

В багатьох випадках достатньо порівняти розрахункові витрати в кожному із варіантів, які визначаються за формулою:

$$Z = Q_{KH} \cdot Z_{1H} + Q_{KE} \cdot Z_{1E} + E \cdot K_{mp} + \Delta P_{TP} \cdot C_0,$$

де Z_{1H}, Z_{1E} – затрати на генерацію реактивної потужності батареї конденсаторів відповідно до 1000 В і 10 кВ, тис.грн./мВар;

Q_{KH}, Q_{KE} – потужності конденсаторних батарей низької і високої напруги.

Величини Z_{1H} і Z_{1E} обчислюються за формулами:

$$Z_{1E} = E \cdot K_{KE} \left(\frac{U_{*EK}}{U_*} \right)^2 + C_0 \cdot \Delta P_{KE},$$

$$Z_{1H} = E \cdot K_{KH} \left(\frac{U_{*EK}}{U_*} \right)^2 + C_0 \cdot \Delta P_{KH},$$

Де E – річний відсоток відрхувань від ціни конденсаторів

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

$$E = 0,12 + 0,15 + 0,05 = 0,32;$$

$K_{кв}$, $K_{кн}$ – ціна конденсаторів, що встановлюються відповідно на високій та низькій напругах:

$$K_{кв} = 21 \text{ тис.грн./мВар};$$

$$K_{кн} = 35 \text{ тис.грн./мВар};$$

$$\Delta P_{кв}, \Delta P_{кн} \text{ – питомі втрати в КБ відповідно } 2,5 \text{ і } 4,5 \text{ кВт/мВар};$$

$$C_o \text{ – питома вартість втрат активного навантаження, грн./кВт};$$

$$K_{тр} \text{ – ціна додатково встановлених трансформаторів, тис. грн.}$$

Визначаємо питому вартість втрат:

$$C_o = C'_o \cdot \tau_m = 3,9 \cdot 3240,2 = 12636 \text{ грн.}$$

Визначимо затрати на генерацію реактивної потужності $3_{Iн}$ і $3_{Iв}$ з урахуванням $U_{*бк} = 1,05$ (10 кВ), $U_{*бк} = 1$ (0,4 кВ), $U_* = 1$, $C_o = 3,9$ грн./кВт

$$3_{Iв} = 0,32 \cdot 21 \left(\frac{1,05}{1} \right)^2 + 3,9 \cdot 2,5 = 17,15 \text{ тис.грн./кВар}$$

$$3_{Iн} = 0,32 \cdot 35 \left(\frac{1}{1} \right)^2 + 3,9 \cdot 4,5 = 28,75 \text{ тис.грн./кВар}$$

Втрати активної потужності в трансформаторах обчислюються за наступними виразами:

$$\Delta P_{III} = \frac{Q_1^2}{U_{ном}^2} \cdot R_{тр\Sigma}$$

$$\text{де } R_{тр\Sigma} = \frac{\Delta P_{кз} \cdot U_{ном}^2}{N \cdot S_{ном}^2} = \frac{12,2 \cdot 10^2}{N \cdot 1000^2} = \frac{12,2}{N} \cdot 10^{-4}$$

Визначаємо мінімально можливе число трансформаторів:

$$N_0 = \frac{2769}{0,7 \cdot 1000} = 3,95 \approx 4 \text{ шт.}$$

Варіант I.

Встановлюються трансформатори потужністю $S_n = 1000$ кВА з коефіцієнтом завантаження 0,7, тоді отримуємо:

$$Q_1 = \sqrt{(4 \cdot 0,7 \cdot 1,0)^2 - 2,769^2} = 0,4 \text{ мВар}$$

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	30

КІЛЬКІСТЬ		Q ₁	Q _{кн}	Q _{кв} , мВар		K _т	ΔP _{тп}	З
тр-рів								
шт.		мВар	мВар	Q _{БК}	Q _{СД}	тис.грн.	кВт	тис.грн.
4		0,4	1,4	0,596	1,2800	-	12,2	77,01
5		2,347	0,000	1,516	1,280	120,000	33,859	368,496
6		3,301	0,000	1,516	1,280	210,000	55,829	584,305
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				

Обираємо перший варіант з кількістю трансформаторфв $N = 4$,
 $Q_{кн} = 1400$ кВар, $Q_{сд} = 1276$ кВар, $Q_{кв.БК} = 600$ кВар.

4.2. Вибір кількості, потужності та місця розташування пристроїв компенсації реактивної потужності

Для максимальної ефективності процес розміщення компенсуючих пристроїв повинен бути оптимізований. Це може включати встановлення їх ближче до джерела навантаження або на місці, де реактивна потужність виникає найбільше.

Далі порівнюється вартість різних варіантів компенсації та їх ефективність для вибору оптимального рішення з економічної точки зору.

Обрання правильних параметрів компенсації реактивної потужності допоможе покращити ефективність та стабільність електричної мережі, а також зменшить витрати на електроенергію.

На РП-2 у відповідності з виконаним розрахунком встановлюємо прилади компенсації 2х300кВар типу УК-10-300/1У, $Q_{сд} = 1276$ кВар.

Для компенсації на низькій стороні обираємо комплектні конденсаторні прилади тип УК-0,38-300Н, 4 штуки.

Потужність КП на 0,4 кВ складає:

$$Q_{кн} = 4 \cdot 300 = 1200 \text{ кВар}; \quad Q_{кв.БК} = 600 \text{ кВар}; \quad Q_{сд} = 1276 \text{ кВар}$$

Таблиця 4.2 - Вибір кількості і місця розташування компенсуючих прстроїв на 0,4 кВ

ТП	Число тр-рів	$S_{н.тр}$, кВА	$Q_{ку}$, кВА	Місце розташування
КТП-1	2	1000	2 х 230	Шини 0,4 кВ ТП
КТП-2	2	1000	2 х 230	Шини 0,4 кВ ТП

5 ВИБІР КІЛЬКОСТІ, ПОТУЖНОСТІ ТРАНСФОРМАТОРІВ ПІДСТАНЦІЙ ПІДПРИЄМСТВА

При виборі кількості та потужності трансформаторів для підстанцій підприємства необхідно визначити загальну потужність електричних споживачів на підприємстві, щоб правильно розрахувати потрібну потужність трансформаторів, при цьому потрібно врахувати можливе зростання потужності споживачів у майбутньому для запобігання нестачі потужності.

Важливо обрати трансформатори, які забезпечують стабільність напруги в мережі під час змін навантаження. Враховується вартість та ефективність трансформаторів, зокрема їх енергоефективність та витрати на обслуговування, для забезпечення оптимального балансу між витратами та якістю.

Обрання правильних параметрів трансформаторів допоможе забезпечити надійне та ефективне електропостачання підприємства, а також уникнути можливих проблем зі стабільністю напруги та перевантаженням мережі.

5.1. Вибір кількості та потужності трансформаторів та місця розташування цехових трансформаторних підстанцій

Кількість трансформаторів у цехових трансформаторних підстанціях визначається потребою у надійному електропостачанні. З цієї точки зору, оптимальним варіантом є встановлення двох трансформаторів, які забезпечують майже безперебійне електропостачання цеху.

Одиночна потужність трансформаторів ТП визначається відповідно до питомої щільності навантаження підприємства:

$$S_{y\partial} = \frac{S_p}{F} = \frac{2769}{35880} \langle 0,2$$

						Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При густині навантаження до 0,2 кВт/м² використовуються трансформатори потужністю 1000 кВА. При проектуванні системи електропостачання на генеральному плані використовується картограма навантажень для визначення місцеположення КТП. Цехові КТП встановлюються, якщо можливо, ближче до центру електричних навантажень цеху. Потужність трансформаторів вибирається в залежності від загальної потужності навантаження з урахуванням категорії споживача.

Перевіряємо трансформатори на аварійне перевантаження по виразу:

$$S_{\text{доп}} = 1,4 \cdot S_{\text{н.тр}} \geq S_{\text{ав}}$$

Вибір потужності, кількості і розміщення трансформаторів приводимо в Табл.5.1

Таблиця 5.1 - Вибір потужності, кількості і місця розташування трансформаторних підстанцій

Номер п/ст	S _р , кВ А	S _{н.тр} , кВ А	Категорія беспереб.	тип тр-рів	K _з норм. реж.	K _з авар. реж.	п, кіль- кість	місце розташування
КТП-1	1473,5	1000	2,3	ТМЗ- 1000/10	0,76	1,52	2	Цех плавлення
КТП-2	1444,8	1000	2,3	ТМЗ- 1000/10	0,72	1,44	2	Компресорна
Пічні тр-ри:								
ТП-1	19000	20000	1	ЕОЦН- 20000/35	0,96	-	1	Цех плавлення
ТП-2	19000	20000	1	ЕОЦН- 20000/35	0,96	-	1	Цех плавлення

Примітка: у аварійному режимі 3 категорія споживачів відключається.

6 РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКИХ ЗАМИКАНЬ, ТА ВИБІР ВИСОКОВОЛЬТНОГО ОБЛАДНАННЯ І ВИСОКОВОЛЬТНИХ МЕРЕЖ

Розрахунок струмів короткого замикання важливий для безпечної експлуатації електрообладнання. Коротке замикання відбувається, коли ізоляція між фазами або між фазою та землею зламається, що призводить до прямого контакту і низького опору. Це може призвести до великих струмів, які можуть пошкодити електрообладнання, викликати пожежу або навіть призвести до травм людей.

Розрахунок струму короткого замикання дозволяє визначити максимальний струм, який може протікати в системі в разі короткого замикання. Ця інформація використовується для вибору відповідного захисту, такого як автоматичні вимикачі або запобіжники, які відключають живлення в разі виникнення короткого замикання. Такий захист допомагає запобігти пошкодженню обладнання, пожежам та травмам.

Вибір високовольтного обладнання включає ряд важливих вимог, які потрібно враховувати для забезпечення безпеки, надійності і ефективності електричних систем:

- Обладнання повинно відповідати напрузі і потужності системи, в якій воно буде використовуватися;
- Повинні виконуватися вимоги національних і міжнародних стандартів безпеки для електричних систем;
- Обладнання повинно бути надійним і міцним, щоб забезпечити безперебійну роботу системи і уникнути аварій;
- Потрібне відповідне обладнання для управління та захисту електричних мереж від перенапруг і перевантажень;
- Високовольтне обладнання має бути ефективним з точки зору споживання енергії і експлуатаційних витрат;

						Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Легкість установки, обслуговування та заміни, а також можливість інтеграції з існуючими системами;
- Здатність обладнання працювати безперервно протягом тривалого часу та доступність запасних частин і сервісного обслуговування;
- Обладнання повинно бути доступним з точки зору вартості встановлення, експлуатації та обслуговування.

Ці вимоги допомагають забезпечити вибір оптимального високовольтного обладнання для конкретних потреб і умов використання.

6.1. Розрахунок струмів коротких замикань

Розрахунок струмів короткого замикання в електричних системах включає кілька кроків:

1. Збір необхідних даних про електричну систему, таких як напруга системи, тип та потужність джерела живлення, характеристики трансформаторів та іншого обладнання.
2. Визначення точки або точки короткого замикання в системі, де може виникнути коротке замикання.
3. Розрахунок опору місця короткого замикання. Це може включати врахування опору проводів, трансформаторів та іншого обладнання.
4. Використовуючи дані про напругу та опір, провести розрахунок величини струму короткого замикання в кожній точці.
5. Перевірити, чи може встановлений захист (автоматичні вимикачі, запобіжники тощо) відключити електричну систему в разі короткого замикання.
6. При необхідності скоригувати параметри системи або встановлення захисту для оптимізації роботи системи під час короткого замикання.

Для вибору високовольтного обладнання і кабельних ліній потрібно обчислити струми короткого замикання (КЗ). Цей необхідний для перевірки

						Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

обраного обладнання на умови динамічної та термічної стійкості струмам КЗ та для перевірки комутаційного обладнання на умови вимикаючої здатності.

Розрахунок струмів КЗ здійснюється для однієї секції шин. Схема для розрахунку струмів КЗ представлена на Рис. 6.1.

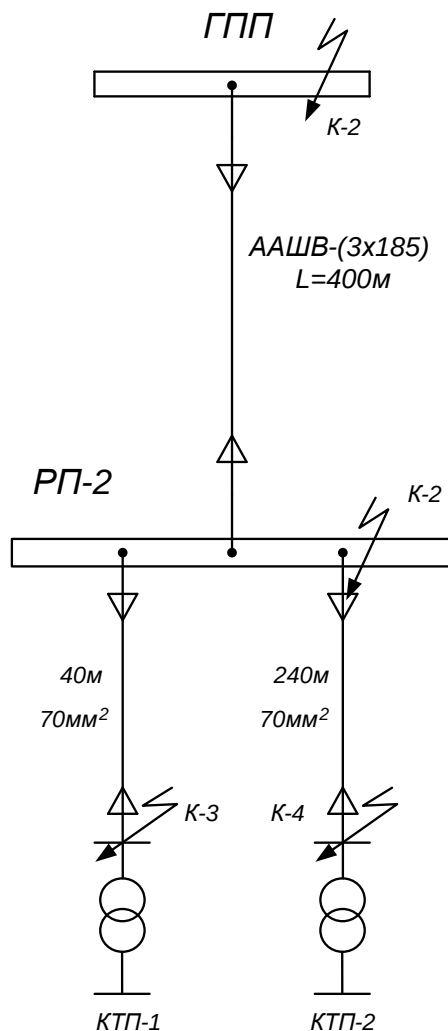


Рис.6.1 Вихідна схема до розрахунку струмів КЗ

Для забезпечення живлення підстанцій КТП-1,2 обираємо кабель ААШВ-70 мм² з проведенням перевірки на термічну стійкість (приблизно $I_{кз}$ на шинах 10 кВ РП-2 дорівнює 7 кА).

Розрахунок струмів КЗ виконується за допомогою програми розрахунку струмів кз TKZ_RS.

Вихідна схема для розрахунку з позначенням кабелів та їх довжини представлена на Рис. 6.1

						Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Результати виконаних за допомогою програми розрахунків представлені в Табл. 6.1 – 6.3.

Таблиця 6.1 - Розрахунок струмів кз ГПП

Назва ЦП Режим -	R тр.ЦП [Ом]	Опір системи		Rc (до НН ЦП)		Xc (до НН ЦП)	
		Х тр.ЦП	НН	MAX	MIN	MAX	MIN
		MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN
ГПП	.021	.432	.497	.347	.302	.613	.684

Таблиця 6.2 - Розрахунок струмів кз РП-2

N п/п -	Початок -	Кінець -	Струми КЗ у максимальному режимі			
			Z лінії (к Ун Вн) [Ом]	I кз 3-фазн. [кА]	I кз удар. [кА]	
1	00	ГПП	.372	1.073	5.2621	9.9526
2	ГПП	РП-2	.438	1.105	4.9425	9.0002
3	РП-2	КТП-1	.456	1.107	4.8706	8.7789
	НН	КТП-1	.003	.008	22.9503	47.0564
4	РП-2	КТП-2	.545	1.124	4.5395	7.8229
	НН	КТП-2	.003	.009	22.6715	45.9574

Таблиця 6.3 - Розрахунок струмів кз

N п/п -	Початок -	Кінець -	Струми КЗ в мінімальному режимі			
			Z трассы (к Ун Вн) [Ом]	I кз 3-фазн. [кА]	I кз 2-фазн. [кА]	
1	00	ГПП	.323	1.145	4.7511	4.1142
2	ГПП	РП-2	.387	1.176	4.4771	3.8772
3	РП-2	КТП-1	.405	1.179	4.4141	3.8227
	НН	КТП-1	.003	.008	21.5395	18.6537
4	РП-2	КТП-2	.496	1.196	4.1241	3.5714
	НН	КТП-2	.003	.009	21.2797	18.4288

Необхідно визначити струм підживлення від високовольтих двигунів, для цього передбачений увімкнений секційний вимикач на РП-2.

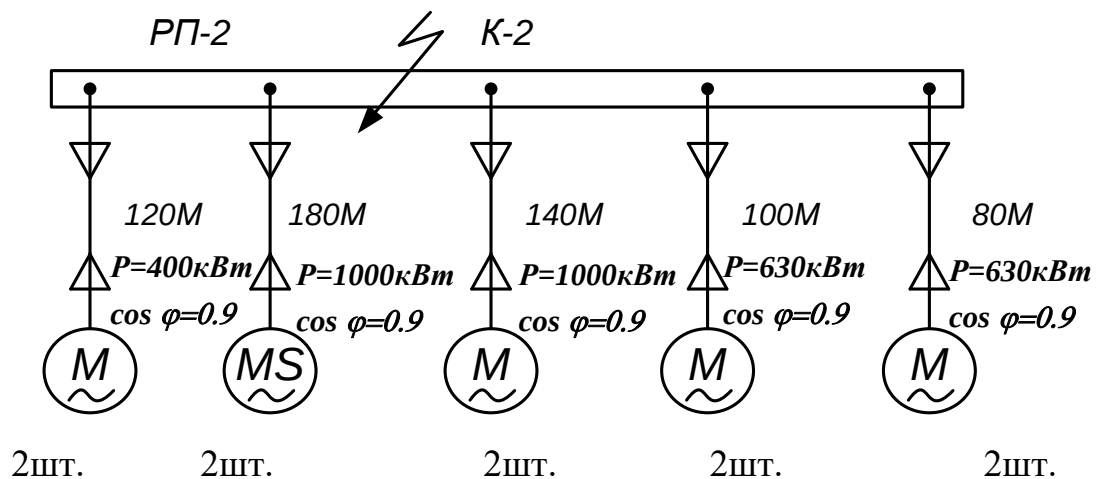


Рисунок 6.2 - Розрахункова схема для обчислення струму підживлення.

Розрахунок виконується у відносних базових одиницях.

Приймаємо базисну напругу $U_6 = 10 \text{ кВ}$

$$S_6 = \frac{P_n}{\cos \varphi} = \frac{0.63}{0.91} = 0.7 \text{ МВА}$$

Оскільки $Z_{кл} \gg X_d$ для кабелів, довжиною менше 300 м, опір $Z_{кл}$ можна ігнорувати.

Проводимо розрахунок параметрів схеми заміщення Рис. 8.3

Розраховуємо опір асинхронного двигуна номінальною потужністю $P_n = 630 \text{ кВт}$

$$X_{d*} = X_{d*n} \frac{S_6}{S_n} = 0,2 \frac{0.7}{0.7} = 0,2 \text{ Ом}$$

Асинхронний двигун номінальною потужністю $P_n = 1000 \text{ кВт}$

$$X_{d*} = 0,2 \frac{0.7 \cdot 0.9}{1} = 0,13 \text{ Ом},$$

Асинхронний двигун номінальною потужністю

$$P_n = 400 \text{ кВт} \quad X_{d*} = 0,2 \frac{0.7 \cdot 0.9}{0.4} = 0,32 \text{ Ом},$$

де $X_{d*n} = 0,2 \text{ [З]}$

						Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

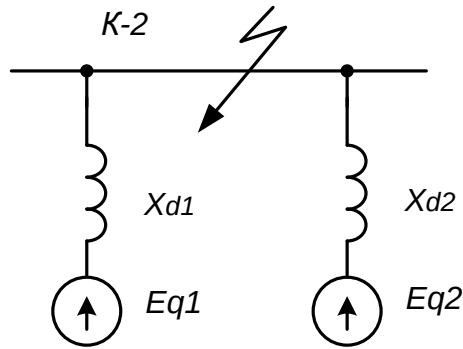


Рисунок 6.3 - Схема заміщення

Знаходимо еквівалентний опір асинхронних двигунів (8 шт.)

$$X_{d2} = \frac{1}{\frac{2}{0,2} + \frac{2}{0,13} + \frac{2}{0,32}} = 0,032$$

Для синхронних двигунів номінальною потужністю $P_n = 1000$ кВт

$$X_{d1} = \frac{1}{2} X_{*n} \frac{S_{\phi}}{S_n} = \frac{1}{2} 0,2 \frac{0,7 \cdot 0,9}{1} = 0,06$$

Для синхронного двигуна номінальною потужністю $E_{q1} = 1,1$,

для асинхронного двигуна номінальною потужністю $E_{q2} = 0,9$

Для СД та АД визначимо струм КЗ:

$$I_{CD} = \frac{E_{q1}}{X_{d1}} I_{\phi} = \frac{E_{q1}}{X_{d1}} \frac{S_{\phi}}{\sqrt{3} U_{\phi}} = \frac{1,1}{0,06} \frac{0,7}{\sqrt{3} 10} = 0,71 \text{ кА}$$

$$I_{AD} = \frac{E_{q2}}{X_{d2}} \cdot I_{\phi} = \frac{0,9}{0,032} \frac{0,7}{\sqrt{3} \cdot 10} = 1,169 \text{ кА}$$

Визначаємо сумарний струм на шинах РП-2, враховуючи з підживлення від двигунів в точці К-2:

$$I_{\Sigma} = I'' + I_{CD} + I_{AD} = 4,95 + 0,71 + 1,169 = 6,83 \text{ кА}$$

У відповідності з [3] для синхронного двигуна коефіцієнти:

$$K_{уд} = 1,87$$

						Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

для асинхронного двигуна:

$$K_{уд} = 1,56$$

Ударний струм в двигунах:

$$i_{уд.СД} = \sqrt{2} \cdot K_{уд} \cdot I_{СД} = \sqrt{2} \cdot 1,87 \cdot 0,71 = 1,87 \text{ кА}$$

$$i_{уд.АД} = \sqrt{2} \cdot K_{уд} \cdot I_{АД} = \sqrt{2} \cdot 1,56 \cdot 1,169 = 2,569 \text{ кА}$$

Визначаємо ударний струм в точці К-2 (рис. 6.1):

$$i_{уд\Sigma} = i_{уд} + i_{удСД} + i_{удАД} = 9,0 + 1,87 + 2,569 = 13,439 \text{ кА}$$

Еквівалентне значення постійної часу затухання аперіодичної складової струму визначається за формулою:

$$T_{a_{екв}} = \frac{T_{a_{сис}} \cdot I'' + T_{a_{CD}} \cdot I_{CD} + T_{a_{AD}} \cdot I_{AD}}{I_{\Sigma}} = \frac{0,033 \cdot 4,94 + 0,04 \cdot 0,71 + 0,04 \cdot 1,169}{6,83} = 0,035 \text{ с}$$

$$\text{Де } T_{aCD} = 0,04, T_{a_{сис}} = 0,033, T_{aAD} = 0,04$$

6.2. Вибір високовольтного обладнання

Правильний вибір високовольтного обладнання має виживе значення для будь-якого підприємства. Таке обладнання має потенційно небезпечний характер. Неправильний вибір високовольтного устаткування може призвести до аварій, поранень працівників.

Стабільність електропостачання на підприємстві багато в чому залежить від належного забезпечення високовольтним устаткуванням. При вірному виборі знижується споживання енергії і підвищується загальна енергоефективність підприємства. Неправильне застосування може призвести до перебоїв в електропостачанні, що може вплинути на продуктивність та ефективність виробництва.

Обладнання на шинах 10 кВ, яке відповідає потребам і специфікаціям підприємства, допомагає уникнути непотрібних витрат на обслуговування, ремонт та заміну обладнання.

						Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Високовольтне устаткування має бути легко інтегроване з іншими системами та технологіями, що використовуються на підприємстві.

Отже, важливість правильного вибору високовольтного обладнання полягає в забезпеченні безпеки, стабільності виробництва, економії енергії та ресурсів, а також у здатності підприємства адаптуватися до сучасних вимог та технологій.

На РП-2 ливарного корпусу необхідно встановити закритий розподільчий пункт (ЗРУ – 10кВ), що включає в себе вибір типу шафи комплектного розподільчого пристрою, вибір високовольтних вимикачів, роз'єднувачів тощо.

Вибір вимикачів виконуємо по умовам нормального форсованого режиму. Перевірка обраних вимикачів проводиться на умови динамічної стійкості струмам КЗ, на умови вимикаючої здатності і термічної стійкості.

В якості комплектного розподільчого пункту в ЗРУ-10 використовується комірka КУ-10, яка може комплектуватись вакуумними вимикачами типу ВР-1-10 з номінальними струмами 630, 1000, 1250, 1600, 2500 А. Вибір вимикачів в ЗРУ-10 виконаний в Табл. 8.4

Для вибору вимикачів на РП-2 визначимо потрібні розрахункові параметри:

$$I_{роб.фрс} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{7971,7}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 438,8 A$$

Маємо надперехідний струм КЗ:

$$I'' = 6,83 \text{ кА}$$

Ударний струм КЗ:

$$I_{уд} = 13,4 \text{ кА}$$

$$T_a = 0,035 \text{ с.}$$

Аперіодичну складову струму КЗ:

$$i_{a\tau} = \sqrt{2} \cdot I'' \cdot e^{-\frac{\tau}{T_a}} = \sqrt{2} \cdot 6,83 \cdot e^{-\frac{0,11}{0,035}} = 0,43 \text{ кА},$$

$$\text{де } \tau = t_b + t_{p.з.min} = 0,1 + 0,01 = 0,11 \text{ с;}$$

						Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

t_b - час відключення вимикача;

$t_{p.з.min}$ - мінімальний час спрацювання релейного захисту.

Визначаємо тепловий імпульс, додержуючись виконання умови:

$$t_{відкл} > T_a$$

$$B_k = I''^2 \cdot (t_{відкл} + T_a) = 6,83^2 \cdot (1,5 + 0,035) = 71,5 \text{ (кА)}^2 \text{ с.}$$

де $t_{відкл} = 1,5 \text{ с}$ – час спрацювання вимикача на вводі та захисту.

Значення номінальної відносної частки аперіодичної складової в струмі вимикання $\beta_n = 0$

Таблиця 6.4 - Вибір вимикачів 10 кВ.

Дані вимикача	Умови вибору	Перевірка на умови вибору			
		Ввод	Секційний	Лінійний (КТП-2х1000)	Лінійний (СД)
Номінальна напруга, кВ	$U_{уст} \leq U_n$	10	10	10	10
Довготривалий робочий номінальний струм, А	$I_{роб.форс} \leq I_{дл.н}$	$438,8 \leq 630$	$221,8 \leq 630$	$82 \leq 630$	$64 \leq 630$
Ном. струм динамічної стійкості, кА симетричний і асиметричний	$I'' \leq I_{дин.с}$ $i_y \leq \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot I_{д.с}$	$6,83 < 20$	$6,83 < 20$	$6,83 < 20$	$6,83 < 20$
		$13,4 < 51$	$13,4 < 51$	$13,4 < 51$	$13,4 < 51$
Номінальний струм відключення, кА симетричний асиметричний	$I_{nt} \leq I_{відкл.н}$ $i_{a\tau} + i_{n\tau} \leq \sqrt{2} \cdot I_{відкл.н} \cdot (1 + \beta_n)$	$6,83 \leq 20$	$6,83 \leq 20$	$6,83 \leq 20$	$6,83 \leq 20$
		$7,24 \leq 28$	$7,24 \leq 28$	$7,24 \leq 28$	$7,24 \leq 28$
Тепловий імпульс (кА ²)с	$B_k \leq I_{т.н}^2 \cdot t_{т.н}$	$71,5 \leq 3200$	$48,5 \leq 3200$	$25 \leq 3200$	$31 \leq 3200$
Тип вимикача		ВР-1-10-20/630УЗ	ВР-1-10-20/630УЗ	ВР-1-10-20/630УЗ	ВР-1-10-20/630УЗ

Запобіжник для захисту ТВП типу ТН-60/10 обирається по номінальному струму:

					Арк. 43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

$$I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{60}{\sqrt{3} \cdot 10} = 3,47 \text{ A.}$$

Таблиця 6.5 - Вибір запобіжника для захисту трансформатора власних потреб.

Умови вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_{уст} \leq U_n$	10 кВ	10 кВ
$I_n \leq I_{н.пл.вс}$	4,38 А	5 А
$I'' \leq I_{відкл.}$	6,83 кА	20 кА

Вибираємо запобіжник типу *ПКН-10-5-20УІ*

6.3. Вибір високовольтних кабелів

Вибір високовольтних кабелів залежить від ряду факторів, включаючи:

- Напруга і потужність, в якіх вони будуть використовуватися. Вони повинні мати достатню ізоляцію та провідні властивості для передачі великих потужностей при високих напругах.
- Кабелі повинні відповідати відповідним національним та міжнародним стандартам і специфікаціям, які регулюють їх конструкцію, матеріали та електричні характеристики.
- Враховуються умови, в яких кабель буде використовуватися, такі як температура навколишнього середовища, наявність вологи, агресивних речовин або механічних пошкоджень.
- Кабелі повинні бути підібрані відповідно до довжини маршруту, а також враховуючи фізичні обмеження, такі як перешкоди, географічні особливості тощо.
- Вибір кабелів також може залежати від їх вартості та відповідності бюджету проекту.

– Важливо вибирати кабелі від виробників, які надають необхідну технічну підтримку та гарантію якості своїх продуктів.

Загалом, вибір високовольтних кабелів повинен бути зроблений з урахуванням технічних вимог системи, умов експлуатації та бюджетних обмежень, щоб забезпечити ефективну та безпечну роботу електроенергетичної системи.

Під час вибору перетину жил кабелів враховуємо наступні процеси:

- нагрів від довготривалого виділення тепла робочим струмом;
- нагрів від виділення тепла струмом КЗ;

Враховуючи це, вибір перетину жил кабелів здійснюється згідно з:

- нагрівом розрахунковим струмом;
- нагрівом струму короткого замикання;
- економічними врахуваннями.

При розрахунку перетину жил кабелів за нагрівом робочим струмом визначається розмір розрахункового струму, і за таблицею каталогу вибирається стандартний перетин. При цьому важливо врахувати перевантажувальну здатність кабелю.

Замість розрахункового струму натомість необхідно використовувати форсований або аварійний струм. У високовольтних кабелях до 10 кВ допускається перевантаження на 25% загальної добової тривалості не протягом 5 діб [3]. Таким чином, з урахуванням наведених фактів, вимоги до вибору набудуть наступного вигляду:

$$1,25 \cdot I_{\text{дл.доп}} \geq I_{\text{ав(форс)}},$$

де 1,25 – коефіцієнт перевантажувальної здатності кабелю, при коефіцієнті завантаження 0,6[3];

$I_{\text{ав(форс)}}$ – значення струму при залишеному в роботі трансформаторі з урахуванням 40% перевантаження.

Знаходимо перетин по термічній стійкості струмам КЗ:

$$F_{\min} = \frac{\sqrt{B_k}}{C} = \frac{\sqrt{24,9 \cdot 10^3}}{91} = 55 \text{ мм}^2$$

						Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де $C = 91$ для алюмінієвого кабелю [1].

Для часу відключення $t_{\text{відкл}} = 0,5$ с (відходячі лінії див. Табл. 6.6)

$$B_k = I''^2 \cdot (t_{\text{відкл}} + T_a) = 6,82^2 \cdot (0,5 + 0,035) = 24,9 \text{ (кА)}^2 \text{ с.}$$

Вибір економічно вигідного перетину за ПУЕ базується на концепції економічної щільності струму, що залежить від типу металу проводу та тривалості використання максимальної потужності, відповідно до наступного виразу:

$$S_e = \frac{I_p}{j_{\text{ек}}},$$

де $j_{\text{ек}}$ – величина економічної щільності струму

$$j_{\text{ек}} = 1,2 \text{ (Табл [3])}.$$

Цей вираз дозволяє обчислити оптимальний перетин кабелю з урахуванням економічних факторів, таких як вартість матеріалів та витрати на енергію, що споживається.

Результати вибору перетину інших кабелів представлено в Табл. 6.6.

Таблиця 6.6 - Вибір перерізу жил високовольтних кабелів

№ п/п	Кабельна лінія	Потужність		$I_{\text{ав}}, \text{ А}$	Перетин, мм^2 з параметрами			Станд мм^2	Примітки
		$S, \text{кВ А}$	$I, \text{ А}$		$J_{\text{эк}}$	$I_{\text{доп}}$	F_{min}		
1	ГПП-2 до РП-2	7971,7	219,4	219,4	185	95	70	185	2 х ААШВ
2	РП-2 до КТП-1	1526,5	42,0	84,0	50	25	70	70	2х ААШВ
3	РП-2 до КТП-2	1490,7	41,0	82,1	50	25	70	70	2х ААШВ
4	РП-2 до СД 1000кВт	1350	74,3	74,3	70	35	70	70	1хААШВ
5	РП-2 до АД 1000кВт	1350	74,3	74,3	70	35	70	70	1хААШВ
6	РП-2 до АД 630кВт	976	53,7	53,7	35	25	70	70	1 х ААШВ
7	РП-2 до АД 400кВт	976	53,7	53,7	25	25	70	70	1 хААШВ

7 ВИБІР ПРІОРИТЕТНИХ НАПРЯМІВ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ КОМПРЕСОРНИХ СИСТЕМ

Один із ключових критеріїв оцінки інноваційної діяльності компаній - це фінансовий результат від впровадження передової технології у виробництво. Кожен вид виробництва має свої особливості, які проявляються не лише в організації технологічного процесу, але й в розрахунках, пов'язаних із встановленням ефективності застосування нових технологій.

Зрозуміло, що ливарне виробництво, особливо спеціалізовані технології лиття, такі як використання термітних ливарних додатків при високих температурах для зменшення витрат матеріалу, впливають на процес визначення економічного результату. Це пов'язано не лише з прямими витратами при внесенні змін у звичайний технологічний процес, такими як витрати на металотермічну суміш, зміну форми, феросплави, використання відштовхувальних ливарних додатків, а й з можливістю повторного використання залишків ливарних додатків, ливників, зумпфа, стояка та інших елементів для переплавлення.

7.1. Енергетичний аудит. Його мета та основні завдання

Енергетичний аудит (енергоаудит) - це огляд підприємств, організацій та окремих виробництв, який ініціюється самими ними з метою визначення можливостей зменшення витрат енергії. Мета полягає у наданні підприємству практичних рекомендацій з економії енергії шляхом використання механізмів енергоефективності та впровадження системи енергетичного менеджменту. [9].

Енергетичний аудит зосереджений на огляді системи використання палива та енергії, аналізі та формуванні рекомендацій для ефективного використання енергетичних ресурсів.

						Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Основна мета - знайти можливості для зменшення витрат енергії та надати допомогу суб'єктам господарювання у визначенні напрямків оптимального використання енергії.

Об'єктом аудиту можуть бути будь-які установки, підприємства, агрегати чи навіть побутові об'єкти, що здійснюють виробництво, трансформацію, передачу або споживання енергії.

Енергетичний аудит призначений для вирішення таких завдань:

- складання детальної картини використання енергоресурсів об'єктом;
- розроблення організаційних і технічних заходів, спрямованих на підвищення ефективності енерговикористання;
- визначення потенціалу для зменшення витрат енергії;
- фінансова оцінка енергозберігаючих заходів.

Енергетичний аудит зазвичай здійснюють енергосервісні компанії або незалежні експерти, які мають відповідні повноваження від суб'єктів господарювання. Результативність та об'єктивність аудиту значно залежать від кваліфікації та досвіду енергоаудитора.

Під час проведення енергоаудиту важливо враховувати наступні аспекти:

- Енергоаудитори мають фокусуватися на виявленні фактів, а не лише на виявленні помилок.
- Результати, що передаються замовнику, перш за все, відображаються у звіті про енергетичний аудит, де визначаються конкретні шляхи енергозбереження.

Основні способи підвищення ефективності використання енергоресурсів включають [9] :

- Впровадження нового енергоекономічного обладнання.
- Використання нових енергозберігаючих технологій.
- Удосконалення існуючих технологій, обладнання, процесів перероблення сировини та матеріалів для підвищення якості продукції.
- Заміщення і вибір найефективніших енергоносіїв.

						Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Мінімізація втрат сировини та матеріалів.
- Зменшення втрат енергоресурсів.
- Впровадження організаційно-технічних заходів, покращення систем обліку та контролю за витратами енергії.
- Врахування економічних, правових та інших факторів для зниження рівнів енергоспоживання.

7.2. Енергетичний аудит компресорних станцій

Пріоритетними напрямками енергозбереження в галузі енергетичного машинобудування є:

- Впровадження нових технологій експлуатації енергетичного обладнання компресорних станцій, а також його реконструкція і модернізація.
- Зменшення власних потреб в енергоресурсах.
- Скорочення втрат у системах розподілення електричної та теплової енергії.
- Впровадження нових енергозберігаючих технологій виробництва енергії, таких як використання нових типів компресорів, утилізація теплоти, що втрачається, та застосування теплонасосної технології енергозбереження.

До основних методів енергозбереження в цій галузі входить:

- Виготовлення та використання побутових систем та приладів, які витрачають менше енергії.
- Оновлення існуючого обладнання та зміна його режимів роботи.
- Автоматизація контролю та управління робочими режимами систем та приладів.
- Оснащення енергоприймачів регулюючими та вимірювальними пристроями.
- Розвиток систем теплопостачання, що децентралізовані, для зменшення втрат теплової енергії під час транспортування.

						Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Покращення теплоізоляції будинків і споруд за стандартами та проведення організаційних заходів, що спрямовані на зменшення непродуктивних витрат палива та енергії.

- Впровадження системи розрахунку за енергоресурси, яка відповідає реальним витратам.

- Запобігання крадіжок енергоресурсів, зокрема електроенергії та тепла.

- Широка реклама використання побутових приладів з покращеними характеристиками експлуатації.

7.3. Оцінка енергоефективності компресорних систем

Аудит енергозабезпечення компресорних систем має кілька етапів. [10]:

1. Збір інформації про об'єкт енергоаудиту.
2. Визначення паливно-енергетичних потоків на об'єкті в цілому та на окремих його ділянках.
3. Аналіз ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів об'єктом аудиту.
4. Глибокий аналіз енергетичного аудиту окремих компонентів та компресорної системи в цілому.
5. Узагальнення результатів енергетичного аудиту компресорної системи.

На першому етапі енергетичного аудиту здійснюється збір даних щодо споживання енергоресурсів (палива, тепла, води, електроенергії) протягом попереднього та поточного років. Це дозволяє визначити головні області використання палива й енергії та виявити основні тенденції економії енергоресурсів, що становить основу для техніко-економічного аналізу об'єкта. Після цього проводиться аналіз структури енергоспоживання різними ділянками об'єкта з метою визначення найбільших та найменших споживачів палива та енергії, що є важливим для подальшого формування

						Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

стратегії енергозбереження. Далі встановлюється структура енергетичних витрат, тобто частки різних видів енергії у загальних витратах, що дозволяє визначити напрямок енергетичного аудиту для ділянок з найбільшими витратами енергії. Завершальним завданням першого етапу є розрахунок витрат енергоносіїв на одиницю продукції, який включає оцінку споживання енергії основним та допоміжним обладнанням компресорної системи, порівняння її з аналогічними системами та визначення вартості одиниці продукції.

Під час другого етапу аудиту енергетики ретельно вивчають технологічну схему компресорної системи для дальшого обліку енергії та оцінювання правильності використання основних видів енергопотоків. Потім розробляють карту-схему використання енергії системою та баланс енергопотоків для всієї компресорної системи та окремо для кожного її компонента. Це дозволяє оцінити вибір енергетичних ресурсів для системи, ефективність їх застосування різними частинами схеми та зробити прогноз щодо їх споживання. На основі виявлення найбільш енергоємних споживачів енергії на попередньому етапі, використовуючи вимірювання, отримують реальні значення споживання енергії та палива і порівнюють їх з технічними характеристиками. Для отримання повної карти розподілу енергопотоків у всій системі встановлюють специфічні норми споживання енергії для всіх компонентів системи та складають для них відповідні баланси.

Третій крок енергетичного аудиту полягає у проведенні оцінки ефективності використання всіх елементів компресорної системи, результатом чого є висновки щодо доцільності використання певного обладнання у даній системі або його заміна на більш продуктивне, з урахуванням додаткових витрат. Далі визначається ефективність використання паливно-енергетичних ресурсів та встановлюються їх допустимі технологічні втрати. У випадку переходу на інший вид палива необхідно надати відповідне техніко-економічне обґрунтування, з

						Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

урахуванням особливостей кожного виду теплоносіїв (особливо важливо для тепло- та пневмомереж).

У кінці процесу може виникнути необхідність у встановленні пріоритетів для більш докладного енергетичного аудиту, оскільки компресорні системи мають свою специфіку як споживачі енергії. Початковий етап передбачає ідентифікацію потрібних додаткових обстежень, які можуть потребувати спеціальних вимірювань або наукових досліджень, що вимагають участі кваліфікованих фахівців. Тому під час більш ретельного енергетичного аудиту можуть проводитися додаткові проміжні та непрямі вимірювання, встановлюватися інші режими роботи компресорної системи, виявлятися ефективність додаткового обладнання та вирішуватися специфічні аспекти. Ці заходи здійснюються з урахуванням узгодження з керівництвом та укладенням додаткових угод з відповідними організаціями.

Після проведення енергетичного аналізу компресорної системи замовник отримує відповідний звіт, який містить розроблені заходи з енергозбереження, результати техніко-економічного аналізу ефективності системи в цілому та окремих її компонентів. Також у звіті подано порівняльний аналіз отриманих результатів та визначені нові пріоритети й завдання для подальшого зменшення енергоспоживання компресорної системи.

Після отримання звіту, енергокористувачу можливо самостійно вирішувати такі проблеми:

- Аналізувати споживання енергії в компресорній системі та встановлювати пріоритети серед енергозбережних рекомендацій.
- Порівнювати обсяги споживання енергії на даному об'єкті з величинами споживання на інших схожих об'єктах, визначаючи його як "поганий" або "гарний" споживач енергії.
- Демонструвати необхідність інвестицій для придбання та впровадження нового, більш економічного обладнання.

						Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Обґрунтовувати запропонований проєкт, який може не бути затверджений без підтримки зовнішнього консультанта.

7.4. Аналіз енергопотоків і в компресорних системах

Аналіз енергетичних потоків в компресорних системах передбачає оцінку розподілу енергії між різними компонентами системи, включаючи компресори, системи подачі повітря, системи охолодження та інші. Цей аналіз допомагає виявити основні ділянки споживання енергії, ідентифікувати енергоефективність та виявити можливості для оптимізації енергетичних витрат. В результаті такого аналізу можуть бути розроблені стратегії для підвищення ефективності та зменшення споживання енергії в компресорних системах.

Для оцінки енергетичної продуктивності компресорних систем використовують вимірювання різних видів енергії, які можуть бути основними, допоміжними або навіть додатковими. Ці енергетичні потоки можуть бути класифіковані як вхідні та вихідні.

У всіх компресорних системах можна виділити основне та допоміжне обладнання. Основне обладнання включає в себе компресор та привідний двигун, а до допоміжного відносяться проміжні та кінцеві охолоджувачі, конденсатори, випарники та інше обладнання.

7.4.1. Компресорна установка на базі поршньового компресора

Установка компресора (зображена на рис. 7.1) включає в себе двоступінчастий поршневий компресор для повітря, а також міжступіневі та кінцеві теплообмінники та холодильники.

						Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

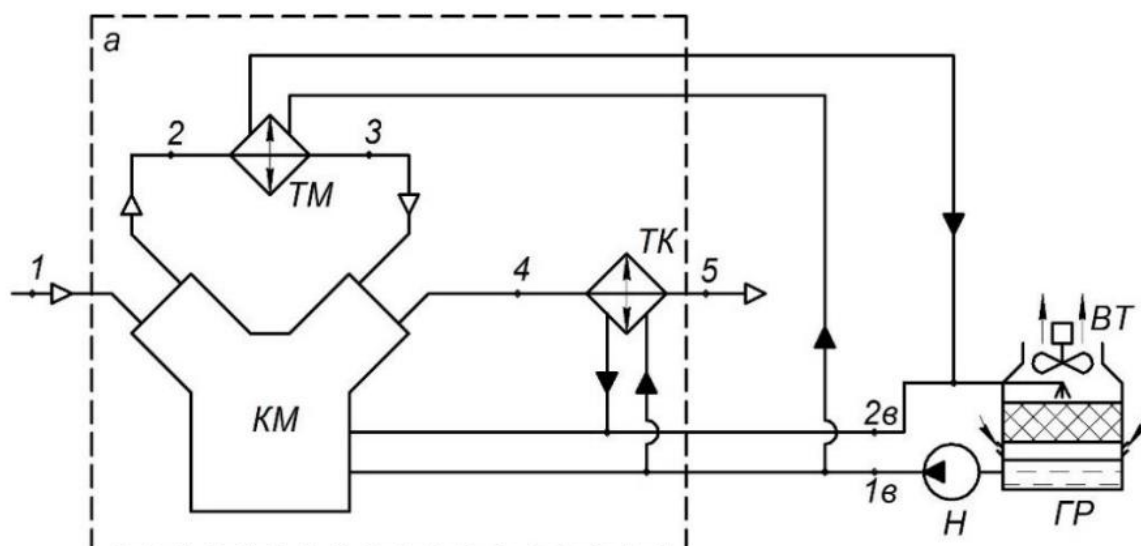


Рисунок 7.1 – Схема компресорної установки:

КМ – компресор; ТМ – міжступеневий теплообмінник; ТК – кінцевий теплообмінник; Н – насос; ГР – градирня; ВТ – електроventильатор

Циліндри компресорів обладнані водяними порожнинами для охолодження. Охолоджувальна вода циркулює через систему оборотного водопостачання і відводиться на вентиляційну градирню для відведення тепла. Температура охолоджувальної води на вході та виході з теплообмінників і водяних порожнин у циліндрах залишається однаковою.

В даній схемі входними потоками є електрична енергія та теплота газу на вході в компресор. Вихідними потоками є теплота, що відводиться від газу в міжступеновому та кінцевому теплообмінниках, а також тепловтрати компресора. Ця компресорна установка складається з комплексу приладів, що забезпечують цикл перетворення енергії. У цьому циклі кількість теплоти, яка відбирається від робочого середовища у міжступеновому та кінцевому теплообмінниках, разом з часткою тепла, яка відводиться від газу водою через порожнини для його охолодження, дорівнює потужності приводного двигуна компресора, за винятком втрат тепла у процесі стиснення.

Отже, вимірювання будь-яких двох з цих компонентів дозволяє розрахувати третій. Це дозволяє не лише визначити загальну кількість

						Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

спожитої енергії, але й оцінити ефективність роботи системи. Ще однією областю дослідження є градирня водяного охолодження. У цьому випадку вимірювання параметрів оточуючого повітря і повітря, що нагнітається з вершини градирні, з врахуванням показань сухого і змоченого термометрів, є доцільним. Якщо різниця між температурою охолодженої води, що повертається в конденсатор, і температурою оточуючого повітря за показаннями змоченого термометра становить менше 2 °С, то для багатьох систем це свідчить про їх високу ефективність. Якщо повітря, яке входить у градирню водяного охолодження, насичене на рівні від 70% до 90%, це вважається оптимальним. Якщо насичення менше цих значень, це може вказувати на надмірну штучну вентиляцію (якщо така є) в порівнянні з кількістю води, яка потребує охолодження, або на потребу в ремонті градирні. Зазвичай це означає модернізацію системи розпилення води та поверхонь теплопередачі. У випадку, коли насичення перевищує зазначені значення, може бути так, що в градирню подається недостатній потік повітря, за винятком ситуацій, коли висока вологість є результатом підвищеної вологості у навколишньому середовищі.

Під час аналізу енергетичних потоків вимірюють електроенергію, що використовується компресором, а також збільшення температури під час стиснення. Оцінюються рівні витрати охолоджувальної води. Проводять розрахунки теплоти, яка відводиться в теплообмінниках та циліндрах компресора, обчислюються показники, такі як витрата охолоджувальної води, різниця температур, питома теплоємність та коефіцієнт ефективності.

7.4.2. Парогенераторний котел

Розглянемо парогенераторний котел, що зображений на рисунку 7.7. Тут можна виміряти не лише обсяг використаного палива, а й кількість використаної живильної води, виробленої пари, а також характеристики вихідних газів. Ця інформація дозволяє оцінити ефективність роботи котла, обсяг виробленої пари та втрати. Вхідними потоками є паливо, повітря та

						Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

живильна вода, а вихідними - вироблена пара, відпрацьовані газы, продування та тепловтрати.

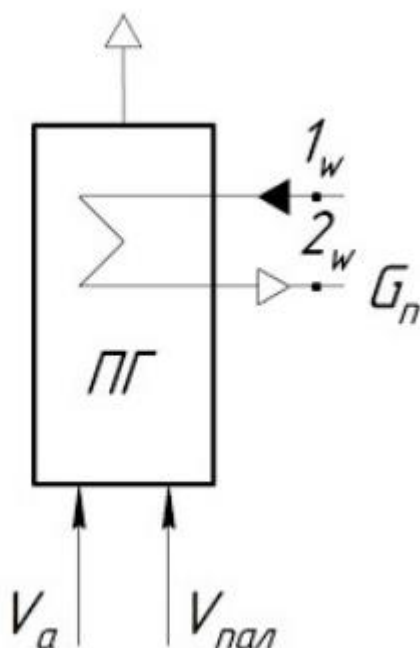


Рисунок 7.2 – Схема парогенераторного котла.

На рисунку 7.2 представлені різні енергетичні потоки, що вимірюються всередині котельні. Давайте розглянемо, як можна аналізувати ці потоки для визначення інших параметрів. Щодо потоків води і пари: – проводиться вимірювання кількості пари та холодної живильної води; – оцінюється обсяг скидання конденсату; – визначається частка поверненого конденсату. Щодо енергетичних потоків: – здійснюється вимірювання витрати палива та виробленої пари; – проводиться оцінка теплових втрат та викидів; – визначається ефективність спалювання та інші втрати котла. Загальний об'єм холодної живильної води дорівнює сумі об'єму гарячої води, яка перетворюється на пар, та втрат системи. Ці втрати включають заплановані втрати через впорскування пари і неконтрольовані втрати, такі як викидання й витікання пари. Оцінювання втрат під час скидання (обумовлені тиском котла, розмірами труб для скидання, їх довжиною) дозволяє визначити

						Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

загальну кількість втрат пари/конденсату. Цю величину можна порівняти з запланованими і незапланованими втратами, щоб виявити можливості для покращення ефективності роботи установки. Ще одним корисним показником ефективності є втрата пари, яку визначають як відсоток загальної кількості виробленої пари. Також, якщо виміряти потік палива і кількість виробленої пари, можна розрахувати фактичну ефективність котла за певний період. Порівнюючи цю величину з результатами тесту процесу згоряння палива, можна виявити відмінності між ними або використати кожний набір даних для перевірки точності інших величин. Якщо обидва розрахунки ефективності збігаються, можна обчислити втрати, пов'язані з іншими аспектами, такі як втрати через випромінювання та конвекцію, втрати під час скидання конденсату та втрати коротких циклів.

7.4.3. Теплообмінник

Добре ізольований теплообмінник характеризується мінімальними втратами тепла, що означає, що кількість теплових втрат гарячого потоку, що надходить у теплообмінник, приблизно дорівнює кількості пари, яка утворюється від холодного потоку, що входить у теплообмінник. Таким чином, шляхом вимірювання кількості енергії, що споживається або виділяється одним потоком рідини, можна розрахувати енергію, що передається або забирається іншим потоком рідини. В якості таких потоків можуть використовуватися будь-які теплоносії, наприклад, вода.

Якщо теплообмінники мають значні теплові втрати, важливо розрахувати ці втрати, враховуючи конструкцію теплообмінника, та визначити їхній вплив на відповідний потік робочого тіла.

На рисунку 7.3 показана конфігурація типового калорифера, який використовує теплоту пари для підігріву води.

						Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

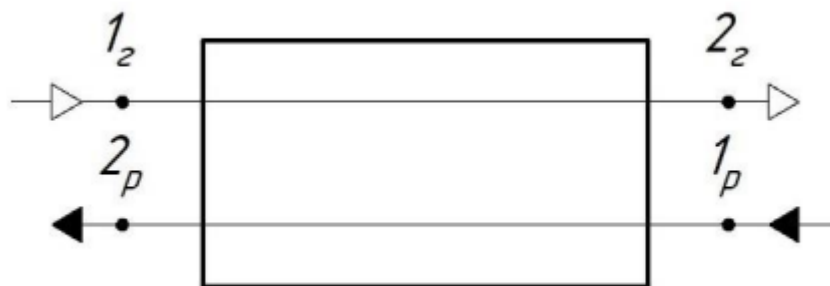


Рисунок 7.3 – Схема пересування теплоносіїв в поверхневому теплообміннику

У даному прикладі вхідними потоками є гаряча пара перед охолодженням та холодна пара перед нагріванням, а вихідними потоками - гаряча пара після охолодження та холодна пара після нагрівання. Установка простого лічильника холодної води дозволяє виміряти обсяг використаної води та енергії. Витрата води вимірюється безпосередньо лічильником, а енергію можна розрахувати, використовуючи обсяг води, множення на теплоємність і зміну температури (тобто різниця між температурою підігрітої води і температурою початкової холодної води).

Ця величина представляє собою суму тепла, яке виокремлюється з пари, і дорівнює загальній кількості тепла, поглинутої водою та будь-якими поверхневими втратами калорифера:

- обсяг холодної води вимірюється;
- зростання температури оцінюється як різниця між контрольною температурою та середньою температурою холодної води;
- обчислюється енергія, поглинута з пари.

7.5. Оцінка енергетичного потенціалу компресорних систем

Компресори можуть працювати в різних режимах, в залежності від потреб мережі, яку вони обслуговують. Керування компресорами з електроприводами може здійснюватися чотирма основними методами.

						Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перший метод - "вкл./викл.". Зазвичай використовується для невеликих поршневих компресорів. Компресор піднімає тиск повітря в системі до певного рівня, а потім припиняє роботу. При зниженні тиску компресор знову вмикається.

Керування "з навантаженням – без навантаження" використовується для великих поршневих компресорів, де часті вмикання – вимикання може завдати шкоди двигуну. При досягненні заданого рівня тиску спрацьовують клапани, що дозволяють поршням рухатися без подавання стисненого повітря до приймального пристрою.

"З повним навантаженням – половиною навантаження – без навантаження" - це варіант керування, де існує стадія між повним та відсутнім навантаженням. У цьому випадку механізм використовується наполовину для зменшення кількості повітря, що перекачується компресором.

Керування типу "повне регулювання" зазвичай використовується для роботи роторних гвинтових або турбокомпресорів і дозволяє регулювати кількість повітря відповідно до потреби. Цей метод може забезпечити широкий діапазон зменшення кількості повітря, наприклад, у відношенні 3:1 або 4:1. Для цього зазвичай використовують регулювання робочого об'єму циліндрів, швидкості гвинта або турбіни, іноді застосовують двигуни зі змінною швидкістю. Однак зменшення навантаження часто супроводжується зниженням ефективності установок.

Під час оцінювання кількості електроенергії, що споживають компресори, важливо враховувати наступні фактори:

1. Номінальна потужність двигуна, яка зазначена на інформаційній таблиці двигуна компресора. Вона вказує на максимальну потужність, яку може розвинути двигун при номінальних умовах.

7. Коефіцієнт середнього завантаження, визначається на основі вимірювання часу роботи компресора в порівнянні з його загальним часом

						Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

роботи. Дані про типові навантаження двигуна також можуть бути використані для оцінки цього коефіцієнта.

3. Річне використання устаткування, базується на кількості часу, протягом якого компресор використовується для постачання стисненого повітря або охолодження протягом року. Цей показник враховується для оцінки загального річного споживання електроенергії компресором.

Ці фактори допомагають у визначенні кількості електроенергії, яку споживають компресори, і дозволяють розрахувати її ефективність та витрати.

Розглянемо режим роботи повітряного компресора. Цей розрахунок допоможе зрозуміти середню ефективність роботи компресора в різних режимах роботи.

Поршневий компресор, який постачає повітря під тиском 7 бар, працює в режимі повного навантаження, половинного навантаження і без навантаження для забезпечення необхідного тиску в системі розподілу стисненого повітря. Енергоаудитор фіксує тривалість роботи компресора з різною продуктивністю протягом приблизно двадцяти хвилин в умовах нормального функціонування і записує дані до таблиць 7.1 і 7.7.

З таблиці 7.2 видно, як змінюються подача повітря та споживана електрична потужність в різних режимах роботи компресора. З використанням цих даних проведений розрахунок середньої потужності компресора:

$$P_{\text{сер}} = \frac{\sum P_{\text{ел}}}{N}$$

де $P_{\text{сер}}$ - середня потужність компресора,

$\sum P_{\text{ел}}$ – сумарна електрична потужність,

N - кількість вимірів.

						Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$N_{\text{сер}} = \sum_{i=1}^n Ni \cdot \tau_i / \tau_1 + \tau_2 + \dots + \tau_n = (120 \cdot 372 + 82 \cdot 698 + 42 \cdot 118) / 1187 = 90 \text{ кВт.}$$

Таблиця 7.1 – Параметри роботи повітряного компресора

Навантаження	Час роботи, с	Відсоток роботи
Повне	372	32
Половина	698	58
Без навантаження	118	10
Разом	1187	100

Таблиця 7.2 – Енергетичні характеристики роботи повітряного компресора

Навантаження	Потужність, кВт	Продуктивність, м ³ /хв
Повне	120	2,36
Половина	82	1,12
Без навантаження	42	0

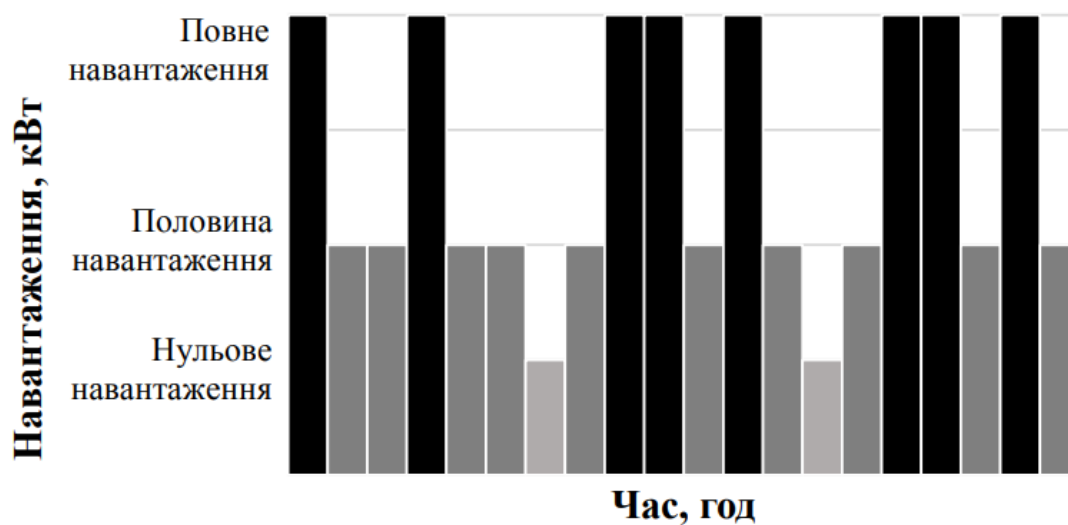


Рисунок 7.4 – Графік роботи повітряного компресора

Так, зазвичай, для розрахунку середньої подачі повітря можна скористатися аналогічним методом:

$$Q_{\text{сер}} = \frac{\sum Q_{\text{пов}}}{N}$$

де $Q_{\text{сер}}$ - середня подача повітря,

$\sum Q_{\text{пов}}$ - сумарна подача повітря,

N - кількість вимірів.

Цей розрахунок дозволить отримати усереднене значення подачі повітря компресором і визначити середню продуктивність у різних режимах роботи.

Так, порівняння середньої подачі повітря компресором із сумою номінального споживання повітря всім задіяним компресорним устаткуванням може допомогти визначити розмір витоків. Якщо сума номінального споживання перевищує середню подачу, це може вказувати на наявність витоків або неефективне використання повітря у системі. У такому випадку може бути доцільно провести подальше обстеження для виявлення та усунення причин витоків і покращення ефективності системи.

7.6. Вибір пріоритетних напрямів енергозбереження

Вибір пріоритетних напрямків енергозбереження в компресорних установках може базуватися на кількох факторах. Ось деякі з них:

1) *Аудит енергоспоживання.*

Проведення аудиту енергоспоживання може допомогти визначити основні джерела енерговитрат в системі компресорів і визначити, які частини установки потребують найбільшого уваги для оптимізації.

2) *Ефективність компресорів.*

						Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Оцінка ефективності компресорів може виявити застаріле обладнання або таке, що працює неоптимально. Заміна застарілого обладнання на більш ефективне може принести значні економії енергії.

3) *Управління режимами роботи.*

Використання більш ефективних стратегій управління режимами роботи, таких як регулювання швидкості, може допомогти зменшити енергоспоживання установки.

4) *Утеплення і ізоляція.*

Покращення ізоляції і утеплення трубопроводів і обладнання може зменшити втрати тепла і покращити ефективність системи.

5) *Виявлення витоків.*

Виявлення та усунення витоків повітря може допомогти покращити ефективність роботи компресорної системи.

6) *Використання систем забезпечення енергії.*

Впровадження систем забезпечення енергії, таких як сонячні панелі або когенераційні установки, може допомогти зменшити витрати на енергію.

7) *Оптимізація тиску і температури.*

Оптимізація тиску і температури у системі може допомогти зменшити витрати енергії на компресію повітря.

Ці напрямки є важливими для досягнення стратегічної мети енергозбереження в галузі. Реалізація цих пріоритетних напрямів може значно зменшити енергоспоживання та підвищити енергоефективність у виробничих процесах:

1. Компресорне господарство:

- Заміна застарілих компресорів на більш енергоекономічні може зменшити споживання електроенергії.

- Впровадження автоматичних систем регулювання витрат та тиску повітря може оптимізувати роботу компресорів і підвищити їхню ефективність.

						Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Підігрівання стисненого повітря вторинними енергоресурсами перед споживанням може зменшити витрати енергії на подальше обігрівання повітря.

2. Нагрівальні та термічні печі:

- Оснащення печей високоефективними рекуператорами з підігріванням дуття може значно зменшити втрати тепла і збільшити тепловий обмін.

- Використання систем автоматичного регулювання режимів горіння палива та високоефективних пальників може оптимізувати процес горіння і зменшити споживання палива.

- Впровадження рециркуляції продуктів згоряння може покращити ефективність теплового процесу.

- Заміна традиційних технологій термооброблення на нові прогресивні технології може зменшити енерговитрати та покращити якість обробки.

3. Виведення з експлуатації застарілих електростанцій:

– Перехід на режим роботи котельних може бути ефективним заходом для зниження витрат на обслуговування та підтримку застарілої електроенергетичної установки.

– Котельні можуть бути адаптовані для виробництва електроенергії та тепла за допомогою котлів, що працюють на вугіллі, природному газі або інших джерелах палива.

– Перехід на роботу котельних може зменшити витрати на експлуатацію та підвищити надійність енергопостачання.

4. Реконструкція, уніфікація та автоматизація котелень:

– Реконструкція котлів з парового на водогрійний режим роботи може знизити витрати на енергію та підвищити енергоефективність.

– Оснащення котлів рекуператорами та автоматичними системами керування режимами горіння палива дозволить оптимізувати роботу котелень та зменшити викиди.

						Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– Реконструкція котлів для спалювання твердого палива у низькотемпературному киплячому шарі може забезпечити економічні та екологічні переваги.

– Підготовка води та додержання водного режиму котлів допоможе забезпечити надійну та ефективну роботу котельні.

5. Використання теплових вторинних енергоресурсів:

– Використання теплових вторинних енергоресурсів, таких як тепло відхідних газів, фізичного тепла шлаку та нагрітих виробів, може значно знизити споживання природного газу та інших паливних ресурсів.

– Впровадження ефективних технологій утилізації відходів може допомогти забезпечити додаткові джерела енергії та знизити викиди в атмосферу.

– Реалізація стратегії енергозбереження в газовій промисловості спрямована на підвищення енергетичної ефективності та зниження викидів шляхом оптимізації використання відходів та впровадження нових технологій.

Використання комп'ютерного програмного забезпечення для оптимізації роботи компресорних станцій може значно знизити енерговитрати на перекачування газу.

Автоматизація та оптимізація процесів роботи компресорних установок дозволить ефективніше використовувати енергію та зменшити втрати.

Впровадження передових технологій управління та моніторингу дозволить реалізувати потенціал енергозбереження та підвищити загальну продуктивність газоперекачувальних систем.

Основними стратегічними напрямками енергозбереження в електроенергетиці є:

1. Модернізація та реконструкція обладнання:

- Оновлення застарілого обладнання з використанням передових технологій для підвищення ефективності його роботи.

						Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Впровадження енергоефективних рішень та обладнання для зниження витрат палива на виробництво електроенергії.

2. Підвищення ефективності експлуатації:

- Вдосконалення процесів управління та моніторингу для оптимізації виробничих процесів та зменшення енерговитрат.
- Використання передових методів діагностики та технічного обслуговування обладнання для підтримання його оптимального стану.

3. Зменшення втрат енергії в мережах енергопостачання:

- Модернізація та реконструкція електричних мереж для зменшення технічних втрат енергії під час передачі.
- Впровадження сучасних систем моніторингу та контролю, що дозволять ефективніше керувати мережами та зменшити втрати.

4. Вирішення проблеми покриття змінних електричних навантажень:

- Використання схем та технологій, що дозволяють ефективно регулювати виробництво електроенергії в залежності від змін попиту.
- Впровадження схем зберігання енергії та використання альтернативних джерел енергії для компенсації змінних навантажень.

Досягненню економії електроенергії сприятиме реалізація таких заходів:

1. Модернізація та реконструкція обладнання. Оновлення застарілого обладнання дозволить підвищити його ефективність та зменшити споживання енергії.

2. Підвищення ефективності енерговикористання. Упровадження сучасних систем енергопостачання та оптимізація процесів виробництва допоможуть ефективніше використовувати енергію.

						Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. Використання автоматизованих систем обліку витрат. Це дозволить контролювати та оптимізувати витрати енергії та палива.

4. Впровадження нових технологій виробництва енергії. Використання високоефективних технологій допоможе знизити споживання палива та енергії.

5. Будівництво нових маневрових потужностей, підвищення їх до 18-20%. Розширення потужностей дозволить краще вирівнювати навантаження та оптимізувати роботу систем.

6. Використання когенерації із доведенням ККД до 80-90%. Це ефективний спосіб одночасного виробництва тепла та електроенергії.

7. Оптимізація централізованого та децентралізованого теплопостачання. Розумне поєднання цих систем може допомогти оптимізувати споживання енергії.

8. Ефективна система управління електроспоживанням. Системи стимулювання можуть знизити пікові навантаження та оптимізувати використання енергії.

9. Модернізація малих гідроелектростанцій. Використання відновлювальних джерел енергії допоможе зменшити споживання палива та енергії.

10. Створення власного паливного циклу для атомних електростанцій. Це дозволить оптимізувати використання палива та зменшити його витрати.

11. Зниження технологічних втрат електричної енергії до 9-12%. Це допоможе збільшити ефективність передачі та розподілу електроенергії.

						Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

В даній кваліфікаційній роботі розглядались питання електропостачання ливарного виробництва нікелевого заводу.

Детально були розраховані навантаження всіх цехів ливарного виробництва нікелевого заводу методом впорядкованих діаграм, побудовано графіки навантаження, картограма навантажень ливарного виробництва.

Для компенсації реактивної потужності обрані високовольтні та низьковольтні конденсаторні батареї.

Зупиняючись на техніко-економічному порівняння варіантів зовнішнього електропостачання групи цехів був обраний варіант живлення від ГПП по двох кабельних лініях 10 кВ із спорудженням РП-2-10 кВ.

На основі розрахунків струмів КЗ було обрано все високовольтне обладнання та кабелі, які забезпечують електропостачання групи цехів.

Велику увагу в роботі приділено вибору пріоритетних напрямів енергозбереження компресорних систем. Визначено роль енергетичного аудиту в дослідженні енергозбереження компресорних установок, проведена оцінка енергоефективності компресорних систем. Дослідження енергетичного потенціалу компресорних систем дало змогу визначити шляхи підвищення ефективності та розробити пріоритетні напрями енергозбереження.

Всі розділи кваліфікаційної роботи виконувались згідно ПУЕ.

						Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. 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.
2. Шкрабець, Ф. П. Основи електропостачання : навч. посіб. / Ф. П. Шкрабець, П. Г. Плешков. - Кіровоград : РВЛ КНТУ, 2010. - 408 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. 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. – 287 с. ISBN 978-966-402-076-0
5. Збірник завдань та методичні вказівки до курсового проектування по курсу “Електротехнічні комплекси та системи електроспоживання” : для здобувачів освіти II рівня спец. 141 “Електротехнічні системи електроспоживання” / [уклад.: П. Г. Плешков, І. В. Савеленко, А. І. Котиш, Н. Ю. Гарасьова] ; М-во освіти і науки України ; Центральноукраїн. нац. техн. ун-т, каф. електротехн. систем та енергетичного менеджменту. – Кропивницький: ЦНТУ, 2022. – 135 с.
6. Методичні вказівки до виконання дипломного проекту „Електропостачання промислових підприємств (Електропостачання заводу). П.Г. Плешков, А.І. Котиш, А.Ю. Орлович. Кіровоград: КНТУ, 2004 р.
7. Електропостачання промислових підприємств : Підручник для студентів електромеханічних спеціальностей / В.І. Мілих, Т.П. Павленко. – Харків : ФОП Панов А. М., 2016. – 272 с.
8. Енергозбереження в компресорних системах : навчальний посібник / С. О. Шарапов. – Суми : Сумський державний університет, 2020. – 147 с.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

9. Сердюк Т. В. Організаційно-економічний механізм енергозбереження в промисловості : монографія / Т. В. Сердюк. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. – 154 с.

10. ДСТУ 4713:2007. Енергетичний аудит промислових підприємств. Порядок проведення та вимоги до організації робіт [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=26795).

11. Кваліфікаційна робота бакалавра : метод. рекомендації до структури та оформлення випускної кваліфікаційної роботи для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня спец. 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / [уклад. : П. Г. Плешков, Н. Ю. Гарасьова, А. І. Котиш, О. І. Сіріков, О. А. Козловський] ; М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. – Кропивницький : ЦНТУ, 2023. – 80 с.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

Додаток А

						Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Табл.А.1 Розрахунок навантаження на шинах 0.4 кВ групи цехів ливарного виробництва

№ п/п	Найменування вузлів і груп електроприймачів	Кількість ЕП	Встановлена потужність			m	K_u	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	Середнє навантаження, кВт		n_e	K_M	Розрахункове навантаження, кВт		
			Одного	Σ						P_{CM}	Q_{CM}			P_P	Q_P	S_P
	<u>Цех плавлення</u>															
1	Кран заливальний	2	248,0	248,0	496	<3	0,36	0,70	1,02	178,6	182,17					
2	Стриперний кран	2	225,0	225,0	450	<3	0,34	0,60	1,33	153,0	204,00					
3	Конвертор	4	27,0	27,0	108	<3	0,56	0,70	1,02	60,5	61,70					
4	Стаціонарний міксер	4	25,0	25,0	100	<3	0,51	0,60	1,33	51,0	68,00					
5	Вентилятори	3	55,0	55,0	165	<3	0,71	0,80	0,75	117,2	87,86					
	Всього по цеху	15	25,0	248,0	1319	>3	0,42	0,68	1,08	560,2	603,7	11	1,44	805,48	603,73	1006,62
	<u>Випалювальний цех</u>															
6	Конвеєр 5АМ	2	132,0	132,0	264	<3	0,55	0,7	1,02	145,2	148,13					
7	Конвеєрний тракт	1	50,0	50,0	50	<3	0,5	0,7	1,02	25,0	25,51					
8	Пересувний міксер	1	55,0	55,0	55	<3	0,65	0,8	0,75	35,8	26,81					
9	Димососи	5	7,5	7,5	37,5	<3	0,7	0,8	0,75	26,3	19,69					
10	Тролейная лінія	2	3,2	3,2	6,4	<3	0,45	0,7	1,02	2,9	2,94					
11	Шлаковоз	1	1,7	1,7	1,7	<3	0,3	0,7	1,02	0,5	0,52					
12	Вентиляція	1	7,5	7,5	7,5	<3	0,4	0,7	1,02	3,0	3,06					
	Всього по цеху	13	1,7	132,0	422,1	>3	0,57	0,73	0,95	238,6	226,7	6,4	1,42	339,2	249,3	421,0

Продовження Табл.А.1

№ п/п	Найменування вузлів і груп електроприймачів	Кількість ЕП	Встановлена потужність			m	K_u	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	Середнє навантаження, кВт		n_e	K_M	Розрахункове навантаження, кВт		
			Одного	Σ						P_{CM}	Q_{CM}			P_P	Q_P	S_P
	<u>Компресорна</u>															
13	Кисневий компресор	6	240,0	240,0	1440	<3	0,65	0,80	0,75	936,00	702,00					
14	Вентилятори	14	1,5	1,5	21	<3	0,70	0,80	0,75	14,70	11,03					
15	Припливна вентиляційна система	2	20,0	20,0	40	<3	0,70	0,80	0,75	28,00	21,00					
16	Мостовий кран 10т	1	13,5	13,5	13,5	<3	0,20	0,65	1,17	2,70	3,16					
17	Підвісний кран 2.5т	1	3,8	3,8	3,8	<3	0,20	0,65	1,17	0,76	0,89					
18	Насос КС 10	2	10,0	10,0	20	<3	0,70	0,85	0,62	14,00	8,68					
19	Пусковий насос	2	2,2	2,2	4,4	<3	0,70	0,85	0,62	3,08	1,91					
20	Турбокомпресор	2	40,0	40,0	80	<3	0,65	0,80	0,75	52,00	39,00					
21	Масляний насос	2	0,3	0,3	0,54	<3	0,70	0,85	0,62	0,38	0,23					
22	Колорифери	3	20,0	20,0	60	<3	0,60	0,88	0,54	36,00	19,43					
23	Система сушки повітря	1	18,0	18,0	18	<3	0,50	0,82	0,70	9,00	6,28					
24	Теплообмінник	2	2,2	2,2	4,4	<3	0,60	0,75	0,88	2,64	2,33					
25	Центрифуга	1	4,5	4,5	4,5	<3	0,45	0,86	0,59	2,03	1,20					
26	Дренажний насос	2	5,0	5,0	10	<3	0,70	0,85	0,62	7,00	4,34					
27	Сверлильний верстат	1	10,0	10,0	10	<3	0,14	0,50	1,73	1,40	2,42					
28	Фрезерний верстат	1	2,8	2,8	2,8	<3	0,14	0,50	1,73	0,39	0,68					

Продовження Табл.А.1

№ п/п	Найменування вузлів і груп електроприймачів	Кіль- кість ЕП	Встановлена потужність			m	K_u	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	Середнє навантаження,кВт		n_e	K_M	Розрахункове навантаження, кВт		
			Одного	Σ	P_{CM}					Q_{CM}	P_P			Q_P	S_P	
29	Токарний вестат	2	1	1	2	<3	0,14	0,50	1,73	0,28	0,48					
30	Маслороздаточна установка	2	1,5	1,5	3	<3	0,70	0,80	0,75	2,10	1,58					
31	Засувка	1	21	21	21	<3	0,10	0,60	1,33	2,10	2,80					
32	Трансформатор зварювальний	2	32	32	64	<3	0,20	0,40	2,29	12,80	29,33					
	Всього по цеху	50	0,27	240	1822,9	>3	0,62	0,80	0,76	1127,355	858,764	15	1,21	1366,2	858,8	1613,7
	<u>Насосна</u>															
33	Насос вакуумний	6	22	22	132	<3	0,60	0,80	0,75	79,20	59,40					
34	Водообертовий насос	2	7,5	7,5	15	<3	0,70	0,70	1,02	10,50	10,71					
	Всього по цеху	8	7,5	22	147	<3	0,61	0,79	0,78	89,7	70,1	8	1,32	118,46	77,12	141,36
	Всього: на 0,4кВ	86	0,27	248	3711	>3	0,54	0,75	0,87	2015,835	1759,27	30	1,18	2374,2	1759,3	2955,0

Табл.А.3 Розрахунок високовольтного навантаження групи цехів ливарного виробництва

№ п/ п	Найменування вузлів і груп електроприймачів	Кіл ькіс ть ЕП	Встановлена потужність		m	K_u	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	Середнє навантаження,кВт		n_e	K_M	Розрахункове навантаження, кВт			
			Одного	Σ					P_{CM}	Q_{CM}			P_P	Q_P	S_P	
	<u>КТП-1 (2 × 1000)</u>															
1	Цех плавлення	15	25	248	1319	>3	0,42	0,68	1,08	560,2	603,7					
2	Випалювальний цех	13	1,7	132	422,1	>3	0,57	0,73	0,95	238,6	226,70					
3	Насосна	8	7,5	22	147	<3	0,61	0,79	0,78	89,70	70,10					
	Всього по позиціям 1-3	36	1,7	248	1888,1	>3	0,47	0,70	1,01	888,5	900,5	15	1,32	1169,3	900,5	1475,8
4	Освітлення													213	70	
5	Компенсація														-460	
	Всього на 0.4 кВ													1382,3	510,5	1473,5
	Втрати в тр-рах													17,0	99,7	
	Всього на 10 кВ													1399,3	610,2	1526,5
	<u>КТП-2 (2 × 1000)</u>															
6	Компресорна	50	0,27	240	1822,94	>3	0,62	0,8	0,76	1127,355	858,764	15	1,21	1366,1	858,8	1614,244
7	Освітлення													20,52	6,75	
8	Компенсація														-460	
	Всього на 0.4 кВ													1386,7	405,5	1444,7

Продовження Табл.А.3

№ п/ п	Найменування вузлів і груп електроприймачів	Кіл ькіс ть ЕП	Встановлена потужність			m	K_u	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	Середнє навантаження,кВт		n_e	K_M	Розрахункове навантаження, кВт		
			Одного	Σ	P_{CM}					Q_{CM}	P_P			Q_P	S_P	
	Втрати в тр-рах													16,5	97,4	
	Всього на 10 кВ													1403,2	502,9	1490,59
	<u>Всього по групі цехів</u>															
	Силова	86	0,27	248	3711,04	>3	0,54	0,75	0,88	2014,1	1765,74	30	1,18	2535,4	1759,3	3086,0
	Освітлення													233,52	76,75	
	Компенсація 0.4 кВ														-920	
	<u>Всього на 0.4 кВ</u>													2768,9	916,0	2916,5
	Втрати в тр-рах													33,5	188,20	
	<u>Високовольтне навантаження</u>															
9	Компресорна СД	2	1000	1000	2000		0,75	0,90	0,48	1500,0	-1276,0		1	1400,0	-1276,0	
	<u>Цех плавлення</u>															
10	Газодувка РТП-1,2	2	400	400	800		0,70	0,90	0,48	560,0	271,22		1	545,0	261,2	
11	Вентилятори АД	2	630	630	1260		0,70	0,90	0,48	882,0	427,17		1	880,0	421,2	
12	Насоси АД	2	630	630	1260		0,70	0,90	0,48	882,0	427,17		1	880,0	421,2	
13	Димососи АД	2	1000	1000	2000		0,70	0,90	0,48	1400,0	678,05		1	1400,0	678,05	

Продовження Табл.А.3

№ п/ п	Найменування вузлів і груп електроприймачів	Кіл ькіс ть ЕП	Встановлена потужність		m	K_u	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	Середнє навантаження,кВт		n_e	K_M	Розрахункове навантаження, кВт		
			Одного	Σ					P_{CM}	Q_{CM}			P_P	Q_P	S_P
	Всього по позиціям 9-13	10	400	1000	7320		0,7	0,995	0,101	5224	527,62	1	5105,0	505,6	5130,0
	Всього на 10 кВ												7907,4	1609,8	
	Компенсація 10 кВ													-600	
	<u>Всього на шинах 10 кВ РП-2</u> <u>з врахуванням КУ</u>												7907,4	1009,8	7971,6