

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 та
енергозбереження головного корпусу
машинобудівного заводу»

Виконав здобувач вищої освіти
IV курсу групи ЕЕ-20,
ОПП «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»,
спеціальності 141 Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
_____Яо САН
«__» _____2024 р.

Керівник роботи
професор, канд. техн. наук
_____Лариса ВІХРОВА
«__» _____2024 р.

Рецензент _____

м. Кропивницький

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 ПЛІШКОВ

«_____» _____ 2024 р.

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

Яо Сан

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи (проекту) **Розробка системи електропостачання та енергозбереження головного корпусу машинобудівного заводу**
Development of a power supply and energy saving system for the main building of a machine-building plant

2. Керівник роботи (проекту) **Віхрова Лариса Григорівна, 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; Картограма електричних навантажень; Вибір напруги і електричних схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання; Компенсація реактивної потужності; Вибір числа і потужності трансформаторів, а також місця розташування ПС; Розрахунок струмів кз та вибір високовольтного обладнання; Енергозбереження в дугових печах; 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>Картограма електричних навантажень</i>	9.05.24	
4	<i>Вибір напруги і електричних схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання</i>	12.05.24	
5	<i>Компенсація реактивної потужності</i>	15. 05.24	
6	<i>Вибір числа і потужності трансформаторів, а також місця розташування ПС</i>	19. 05.24	
7	<i>Розрахунок струмів кз та вибір високовольтного обладнання</i>	22. 05.24	
8	<i>Енергозбереження в дугових печах</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 _____

Лариса ВІХРОВА

Завдання прийнято до виконання

«___» _____ 2024 р.

Підпис здобувача _____

Яо САН

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: 101 с.; 111 рис.; 30 табл.; 10 джерел, презентація 8 аркушів

Яо Сан. Розробка системи електропостачання та енергозбереження головного корпусу машинобудівного заводу– Рукопис.

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

В кваліфікаційній роботі було проведено розробку системи електропостачання та енергозбереження головного корпусу машинобудівного заводу. В процесі роботи були розраховані електричні навантаження, побудовані графіки електричних навантажень, розраховані режими реактивної потужності та струмів короткого замикання, після чого обрано компенсуючі пристрої та високовольтне обладнання. Також були вибрані оптимальні схеми зовнішнього електропостачання та трансформаторні підстанції.

У спеціальному розділі розглянуто розробку заходів з енергозбереження в дугових сталеплавильних печах, де детально обгрунтовано технічні та організаційні заходи, які відіграють важливу роль у забезпеченні ефективності роботи печей та зменшенні витрат енергії.

Ключові слова: електричні навантаження, трансформаторна підстанція, ДСП, оптимальні режими, мінімізація втрат.

ABSTRACT

Qualification work: 101 p.; 111 pictures; 30 tables; 10 sources, presentation of 8 sheets

Yao San. Development of the power supply system and energy saving of the main building of the machine-building 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.

In the qualification work, the development of the power supply and energy saving system of the main building of the machine-building plant was carried out. In the course of work, electrical loads were calculated, electrical load graphs were constructed, reactive power and short-circuit current modes were calculated, after which compensating devices and high-voltage equipment were selected. Optimal external power supply schemes and transformer substations were also selected.

In a special section, the development of energy-saving measures in arc steel-melting furnaces is considered, where the technical and organizational measures that play an important role in ensuring the efficiency of the furnaces and reducing energy consumption are substantiated in detail.

Keywords: electrical loads, transformer substation, chipboard, optimal modes, loss minimization.

ЗМІСТ

	ВСТУП.....	6
1	РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ.....	8
1.1.	Розрахунок силових навантажень в електричних мережах до 1000 В.	8
1.2.	Проектування освітлення.....	12
1.3.	Розрахунок силових навантажень в електричних мережах вище 1000 В.....	13
1.4.	Графіки навантаження.....	13
2	КАРТОГРАМА ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ.....	18
3	ВИБІР НАПРУГИ І ЕЛЕКТРИЧНИХ СХЕМ ЗОВНІШНЬОГО ТА ВНУТРІШНЬОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ.....	20
4	КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ.....	25
4.1.	Розрахунок балансу реактивної потужності та вибір пристроїв для її компенсації.	25
4.2.	Вибір кількості, потужності та місця розташування компенсуючих пристроїв.....	27
5	ВИБІР ЧИСЛА І ПОТУЖНОСТІ ТРАНСФОРМАТОРІВ, А ТАКОЖ МІСЦЯ РОЗТАШУВАННЯ ПС.....	32
5.1.	Вибір числа та потужності силових трансформаторів.....	32
5.2.	Компоновка та місце розташування цехових підстанцій (ТП).....	33
6	РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КЗ ТА ВИБІР ВИСОКОВОЛЬТНОГО ОБЛАДНАННЯ	35
6.1.	Розрахунок струмів короткого замикання.....	36
6.2.	Вибір кабелів напругою 10 кВ для високовольтної мережі	40

					<i>КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА ЗА ПЕРШИМ БАКАЛАВРСЬКИМ РІВНЕМ ОСВІТИ</i>			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат				
Розробив		Яо Сан			Розробка системи електропостачання та енергозбереження головного корпусу машинобудівного заводу	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірів		Віхрова Л.Г.						101
						ЦНТУ, гр.ЕЕ-20		
Н. контр.		Гарасьова Н.Ю.						
Затвердив		Плешков П.Г.						

6.3.	Вибір електричних апаратів високої напруги.....	42
6.4.	Вибір потужності та схем живлення трансформаторів власних потреб.....	44
7	ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В ДУГОВИХ ПЕЧАХ.....	47
7.1.	Загальні положення.....	47
7.2.	Збільшення маси сировини та удосконалення підготовки шихти...	48
7.3.	Зниження електричних втрат.....	52
7.4.	Зменшення теплових втрат.....	59
7.5.	Зменшення простоїв печі.....	64
7.6.	Оптимізація режимів роботи електропечей.....	66
7.7.	Робочі характеристики і явища переносу потужності.....	68
7.8.	Оптимальний електричний режим розплавлення металу. Добова продуктивність.....	70
	ВИСНОВКИ.....	74
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	75
	ДОДАТОК А.....	77
	ДОДАТОК Б.....	85
	ДОДАТОК В.....	91
	ДОДАТОК Г.....	93
	ДОДАТОК Е.....	95

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Енергетика – сукупність сфер економіки сфери економіки, які досліджують та використовують ресурси для генерації, перетворення, передачі та розподілу енергії. Це стратегічно важлива галузь, яка є ключовою складовою державної безпеки.

Електроенергетика в Україні є основою національної економіки. Виробництво електроенергії здійснюється завдяки атомним електростанціям, спалюванню мазуту та вугілля, біопаливу та природному газу. Важливе місце займають і відновлювальні джерела, такі як сонячні батареї, вітряки та гідроелектростанції. Цей сектор є пріоритетним для держави та відіграє значну роль в економіці. Перспективи розвитку енергетики включають перехід на відновлювальні джерела енергії та ефективне використання ресурсів.

Система електроенергетики являє собою розгалужену структуру без централізованого вузла. Підприємства, що виробляють електроенергію, підключають свою продукцію до загальної мережі, яка постачає енергію кінцевим споживачам. Місцеві мережі взаємопов'язані через спеціалізовані підстанції.

Основними споживачами електроенергії на промислових підприємствах є різні пристрої з електроприводами, такі як верстати для обробки матеріалів, кранове обладнання, вентилятори, компресори, насоси, транспортні засоби та інші. Електроенергія також використовується для освітлення, електролізу та електротермічних процесів, живлення машин внутрішньозаводського транспорту, а також для керування технологічними процесами та роботи електроприводів.

У даній роботі здійснено проектування системи електропостачання та енергозбереження для головного корпусу машинобудівного заводу. Живлення забезпечується від підстанції енергосистеми, оснащеної двома трансформаторами потужністю по 63 МВА кожен, з напругою 115/37/10,5

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

кВ. Трансформатори працюють незалежно один від одного. Система має необмежену потужність, а відстань від підстанції до заводу становить 6 км. Вартість електроенергії визначається відповідно до чинних тарифів на електроенергію. Підприємство функціонує у три зміни.

Під час розрахунку враховуються потужності приймачів, їх розміщення, а також варіанти зовнішнього живлення підприємства. Ці показники визначатимуть напрямок подальших розрахунків.

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

1 РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Електричне навантаження – це показник, який характеризує споживання електроенергії окремими приймачами або групою приймачів. При проектуванні систем електропостачання навантаження зазвичай визначають за потужністю або струмом. Визначення розрахункового навантаження проводиться від нижчих до вищих рівнів системи, послідовно аналізуючи окремі вузли електричних мереж. При цьому розрізняють навантаження, приведені до введення конкретного споживача, та навантаження елементів системи (ЛЕП, ПС).

Точність визначення розрахункового навантаження залежить від характеру задачі. Навантаження, розраховані на конкретний термін, тобто для заданого рівня виробництва, вимагають більшої точності. Навантаження, прогнозовані на перспективу або на стадії попередніх обґрунтувань, допускають меншу точність і розраховуються за орієнтовними показниками.

Найбільш точно розраховуються навантаження для окремих споживачів. Для вищих рівнів системи електропостачання точність визначення навантаження зменшується через різноманітність графіків навантаження споживачів і складність врахування їхнього споживання.

1.1. Розрахунок силових навантажень в електричних мережах до 1000 В.

Номінальна або встановлена потужність – це величина, зазначена в паспорті електроприймача. Активна номінальна потужність приймача ($P_{ном}$) – це потужність, яку він споживає з мережі при номінальній напрузі. Для двигунів це потужність, що розвивається на їхньому валу. Реактивна номінальна потужність приймача ($Q_{ном}$) – це потужність, яку він споживає з мережі або віддає в мережу при номінальній активній потужності і напрузі.

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

Для групи електроприймачів номінальна потужність ($P_{ном}$ чи $Q_{ном}$) визначається як сума номінальних потужностей окремих приймачів.

Паспортна потужність приймачів, які мають овторнокороткочасний режим роботи, приводиться до номінальної тривалої потужності $TB = 100\%$ за такими формулами:

$$\begin{aligned} S_{ном} &= S_{пасп} \sqrt{TB_{пасп}} ; \\ P_{ном} &= P_{пасп} \sqrt{TB_{пасп}} ; \\ P_{ном} &= S_{пасп} \cos \phi_{пасп} \sqrt{TB_{пасп}} , \end{aligned} \quad (1.1)$$

де: $P_{ном}$ – номінальна тривала активна потужність;

$P_{ном}$ – номінальна тривала реактивна потужність;

$P_{пас}$ – паспортна активна потужність;

$S_{пасп}$ – паспортна активна потужність;

TB – тривалість включення в процентах.

Середньоквадратичне навантаження.

Величину середньоквадратичного навантаження за інтервал часу T у загальному вигляді визначають з таких виразів:

$$P_{ск} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T P^2(t) dt} ; Q_{ск} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T Q^2(t) dt} \quad (1.2)$$

Максимальне навантаження.

Максимальне навантаження – це найвище значення потужності за певний проміжок часу. За тривалістю розрізняють два типи таких навантажень:

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

Максимально тривалі навантаження (10, 15, 30, 60, 120 хв.), які застосовуються для вибору елементів системи електропостачання за нагрівом і розрахунку максимальних втрат потужності.

Максимально короточасні або пікові навантаження (1-2 с), що використовуються для визначення втрат напруги в контактних мережах, перевірки мереж щодо умов самозапуску електродвигунів, вибору плавких ставок запобіжників, та розрахунків струмів для релейного захисту.

Основні методи визначення розрахункових навантажень включають метод за встановленою потужністю та коефіцієнтом попиту, статистичний метод, який базується на середній потужності і відхиленні розрахункового навантаження від середнього, метод, заснований на середній потужності і коефіцієнті форми графіка навантажень, метод упорядкованих діаграм, що використовує середню потужність і коефіцієнт максимуму.

Допоміжні методи включають:

Визначення розрахункових навантажень за питомими витратами електроенергії на одиницю продукції із заданим обсягом випуску продукції за відомий період.

Визначення розрахункових навантажень за питомим навантаженням за одиницю виробничої площі.

У цьому дослідженні для розрахунку електричних навантажень застосовується метод упорядкованих діаграм.

Розрахункове навантаження (за припустимим нагрівом) визначається як стале навантаження елемента електропостачання, що еквівалентне очікуваному змінному навантаженню за найбільш сильним тепловим впливом: максимальній температурі нагріву провідника чи тепловому зносу його ізоляції. При змінному графіку навантаження як розрахункове навантаження за допустимим нагрівом приймається максимальне середнє навантаження різної тривалості – 0,5- 2,5 годин (в залежності від типу лінії електропередачі (ЛЕП) та умов їх прокладки, перерізу, напруги). При малій

						Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

змінності графіку навантажень як розрахункове навантаження за допустимим нагрівом використовується середнє навантаження.

Ефективне число приймачів.

Під ефективним числом електроприймачів групи різних за номінальною потужністю і режимами роботи розуміється кількість однорідних за режимами роботи приймачів однакової потужності. Це число визначається так, щоб досягти того ж розрахункового навантаження, що і для розглянутої групи різних за номінальною потужністю і режимом роботи приймачів. Ефективне число приймачів групи визначається так:

$$n_n = \frac{\left(\sum_1^n P_{ном,i} \right)^2}{\sum_1^n P_{ном,i}^2} = \frac{P_{ном}^2}{\sum_1^n P_{ном,i}^2}, \quad (1.3)$$

де $P_{ном}^2$ –групова номінальна активна потужність групи приймачів;

$P_{ном,i}^2$ –номінальна активна потужність і-го приймача даної групи.

Коефіцієнт використання активної потужності k_e приймача чи групи приймачів визначається як співвідношення середньої активної потужності до номінального значення потужності:

$$k_{e,a} = \frac{P_c}{P_{ном}}; \quad K_{e,a} = \frac{P_c}{P_{ном}} = \frac{\sum_1^n k_{e,a} \cdot P_{ном}}{\sum_1^n P_{ном}}, \quad (1.4)$$

Коефіцієнт завантаження.

Коефіцієнтом завантаження приймача k_z є співвідношення фактично споживаної середньої активної потужності $P_{сер}$ до номінальної потужності електроприймача:

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

$$K_{з,а} = \frac{P_{с,в}}{P_{ном}} = \frac{1}{P_{ном}} \cdot \frac{1}{t_в} \int_0^{t_ц} p(t)dt = \frac{P_c}{P_{ном}} \cdot \frac{t_ц}{t_в} = \frac{K_{в,а}}{K_{вкл}}. \quad (1.5)$$

Розрахунок низьковольтного навантаження (до 1000 В) приведений в таблиці А1 Додатку А.

1.2. Проектування освітлення

Для проектування електричного освітлення використовують нормативні рівні освітленості, які враховують економічні аспекти для різних типів приміщень (промислові будівлі, об'єкти тощо) [7]. Проведення світлотехнічних розрахунків під час проектування дозволяє визначити кількість та потужність ламп. Основними даними для цих розрахунків є: нормоване значення мінімальної чи середньої освітленості; тип джерела світла та світильника; висота розміщення світильника; геометричні параметри освітлюваного приміщення або відкритого простору; коефіцієнти відбивання для стелі, стін та інших поверхонь приміщення.

Розрахункове навантаження освітлення визначається коефіцієнтом попиту та сумарною потужністю ламп [7]:

$$P_p = K_{н,а} \cdot \sum P_{ном}$$

Приклад розрахунку освітлювальних навантажень головного корпусу машинобудівного заводу приводимо для штампувального цеху:

$$F=1050 \text{ м}^2, P_0=21 \text{ Вт/м}^2$$

$$P_y = F \cdot P_0 \cdot 10^{-3} = 1050 \cdot 21 \cdot 10^{-3} = 22,05 \text{ кВт}$$

$$P_p = P_y \cdot K_c = 22,05 \cdot 0,95 = 20,984 \text{ кВт}$$

$$Q_p = P_p \cdot \text{tg}\varphi = 20,984 \cdot 0,49 = 10,264 \text{ кВт}$$

Розрахунок решти цехів здійснено аналогічно. Результати розрахунків показані в таблиці 1.1.

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

Таблиця 1.1 – Розрахунок освітлення

№ п\п	Найменування підрозділу	F, м ²	P ₀ , кВт/м	P _y , кВт	tg	Q _y , кВар	K _c	P _p , кВт	Q _p , кВр	S _p , кВа
1	Штампувальний цех	1 050,0	21	22,05	0,49	10,805	0,950	20,948	10,264	23,33
2	Механічний цех	600,0	21	12,6	0,49	6,174	0,950	11,97	5,8653	13,33
3	Інструментальний цех	900,0	22	19,8	0,49	9,702	0,950	18,81	9,2169	20,95
4	Складське приміщення	600,0	9	5,4	0,49	2,646	0,600	3,24	1,5876	3,61
5	Експериментальний цех	1 250,0	18	22,5	0,49	11,025	0,950	21,375	10,474	23,80
6	Ковальсько-пресовий корпус	950,0	20	19	0,49	9,31	0,950	18,05	8,8445	20,10
7	Насосна	202,0	14	2,828	0,49	1,3857	0,800	2,2624	1,1086	2,52
8	Депо	440,0	18	7,92	0,49	3,8808	0,800	6,336	3,1046	7,06
9	Ливарний цех	1 955,0	22	43,01	0,49	21,075	0,950	40,86	20,021	45,50
10	Адміністрація	470,0	19	8,93	0,49	4,3757	0,800	7,144	3,5006	7,96
11	Відділення готової продукції	220,0	13	2,86	0,49	1,4014	0,600	1,716	0,8408	1,91
12	Термічний цех	1 070,0	20	21,4	0,49	10,486	0,950	20,33	9,9617	22,64
13	Електроцех	298,0	21	6,258	0,49	3,0664	0,950	5,9451	2,9131	6,62
14	Компресорна	262,0	15	3,93	0,49	1,9257	0,800	3,144	1,5406	3,50
15	Територія	56 200,0	0,1	5,62	1,35	7,587	1,000	5,62	7,587	9,44
Всього по заводу		66467		204,106		104,85		187,75	96,83	212,26

1.3. Розрахунок силових навантажень в електричних мережах вище 1000 В

Розрахунок силових навантажень в електричних мережах, що працюють на напрузі вище 1000 В, проводять враховуючи специфіку високовольтних систем.

Визначення розрахункового навантаження на шинах 10 кВ цехових ТП з урахуванням втрат в трансформаторах та окремих високовольтних електроприймачів, потрібно для вибору перерізу проводів ліній, відходячих від шин РП і живлячих цехові трансформатори та електроприймачі високої напруги, при цьому застосовуються відповідні методи розрахунків, що враховують характеристики електричної мережі та навантаження.

1.4. Графіки навантаження

Під графіком навантаження розуміють криву зміни навантаження в часі $P(t)$, $Q(t)$ або $I(t)$. Такий графік може мати форму безперервної або східчастої кривої. У першому випадку значення $P(t)$ збираються за допомогою мікропроцесорних фіксуючих приладів, а в другому - за допомогою лічильників електричної енергії, які фіксують їх показання протягом певних інтервалів часу.

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

Необхідно відрізнити індивідуальні та групові графіки навантажень. Індивідуальний графік відображає споживання навантаження окремого електроприймача, тоді як груповий графік представляє фідер, який живить групу електроприймачів..

Для m електроприймачів групи електроприймачів мають місце такі співвідношення:

$$P(t) = \sum_{i=1}^m p_i(t); \quad Q(t) = \sum_{i=1}^m q_i(t); \quad I(t) = \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{\sqrt{3} \cdot U_n} \approx \sum_{i=1}^m i_i(t) \quad (1.6)$$

Приблизна рівність для визначення $I(t)$ є вірною лише у випадку, коли коефіцієнти потужності окремих електроприймачів мають близькі значення.

Тривалість використання максимального навантаження або час використання максимуму навантаження:

$$T_{\text{макс}} = \frac{P_c \cdot 8760}{P_{\text{макс}}} \quad (1.7)$$

Час найбільших втрат потужності обчислюється за виразом:

$$\tau = \frac{P_{\text{ск}}^2 \cdot 8760}{P_{\text{макс}}^2} \quad (1.8)$$

Активні та реактивні потужності для робочих та вихідних днів, а також річний графік за тривалістю, наведено у таблицях Б1.–Б3. Відповідні графіки представлені на рисунках 1.1–1.5.

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

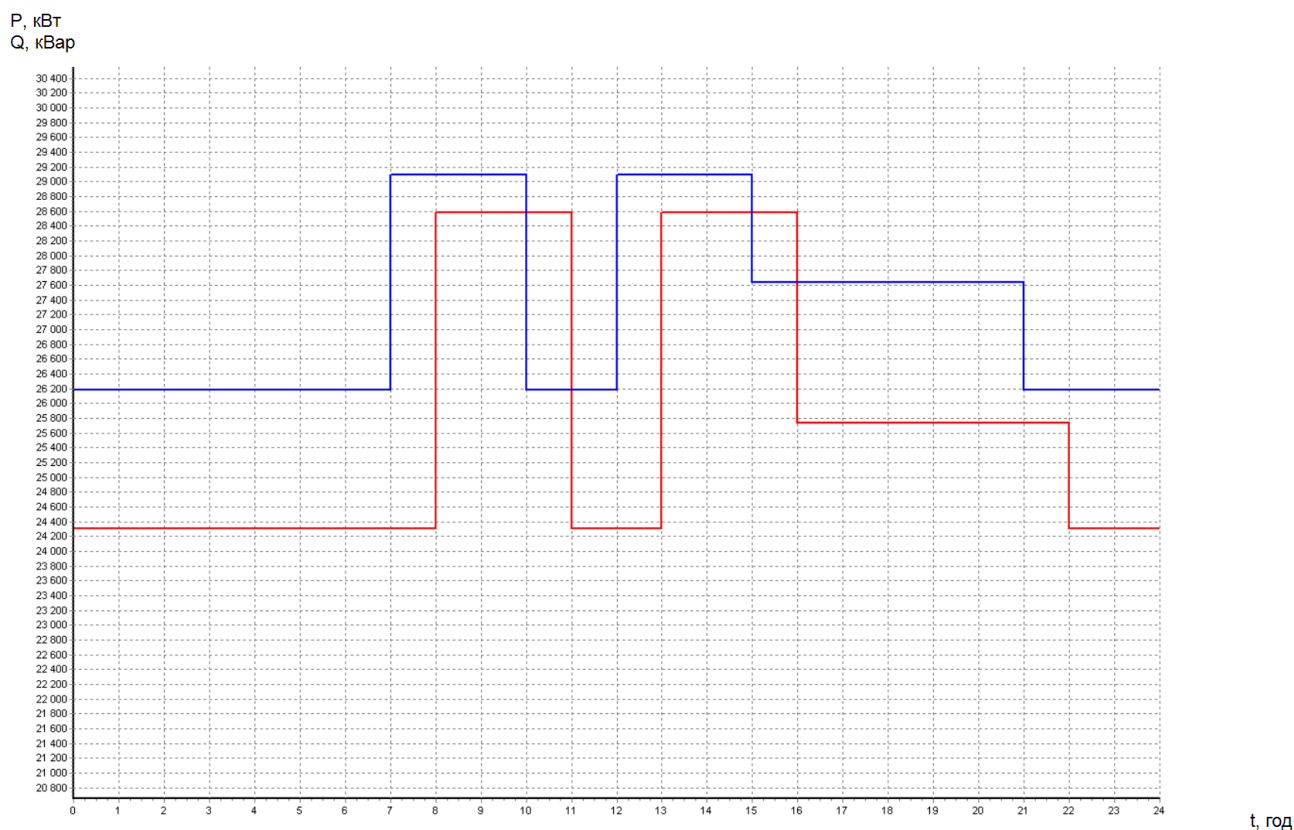


Рисунок 1.1 - Графік навантажень літніх робочих днів

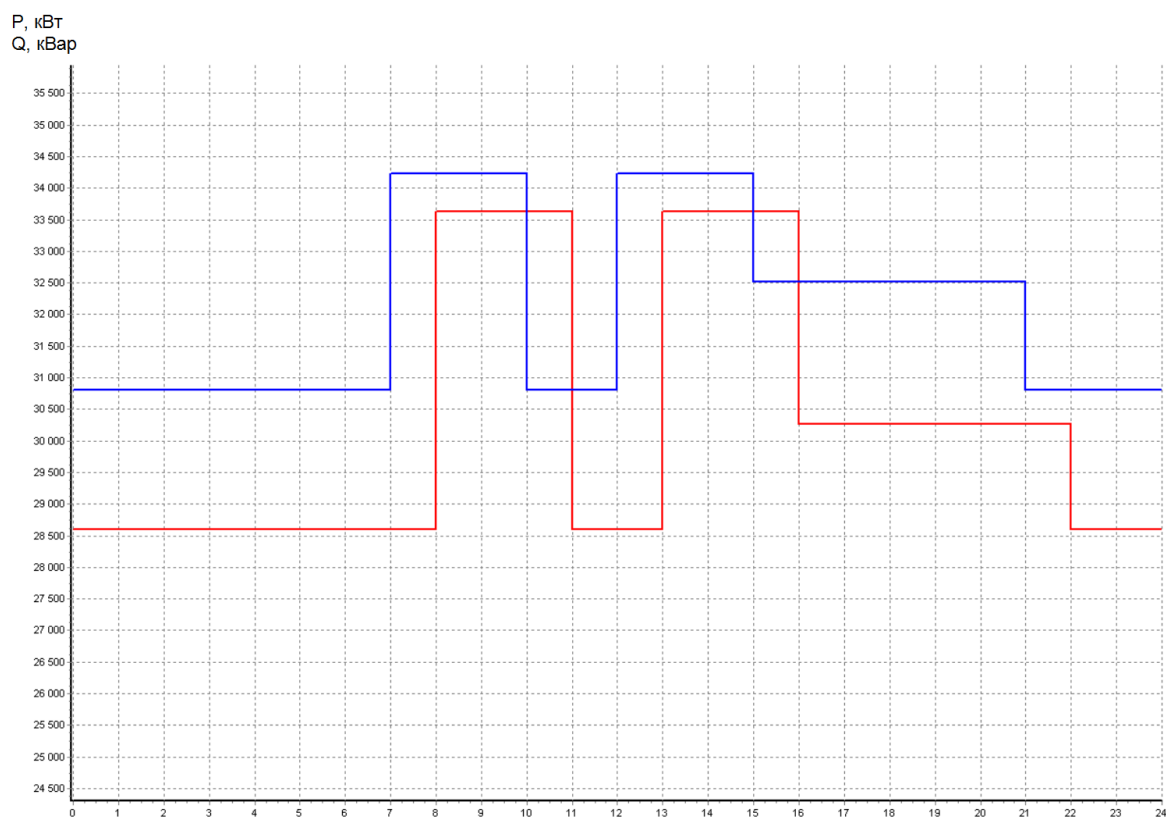


Рисунок 1.2 - Графік навантажень зимових робочих днів

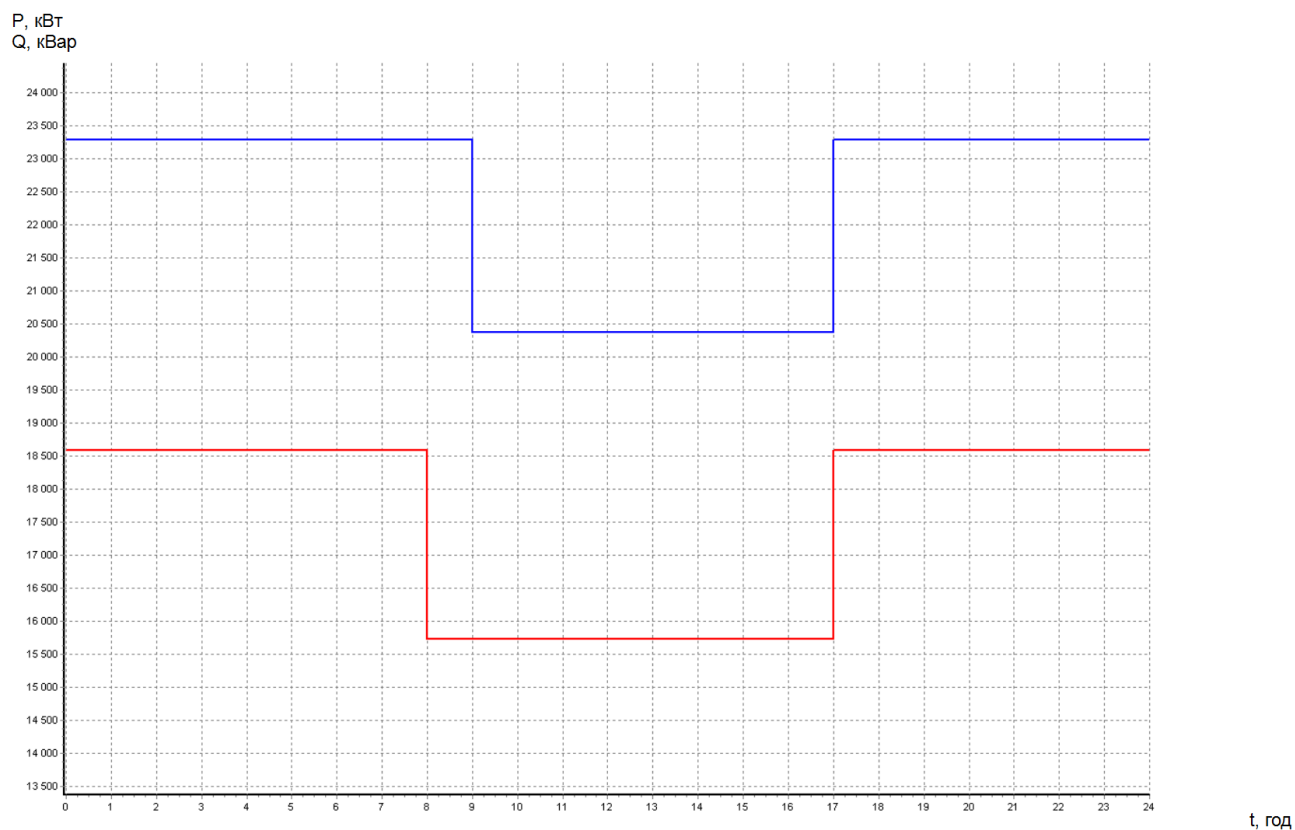


Рисунок 1.3 - Графік навантажень літніх вихідних днів

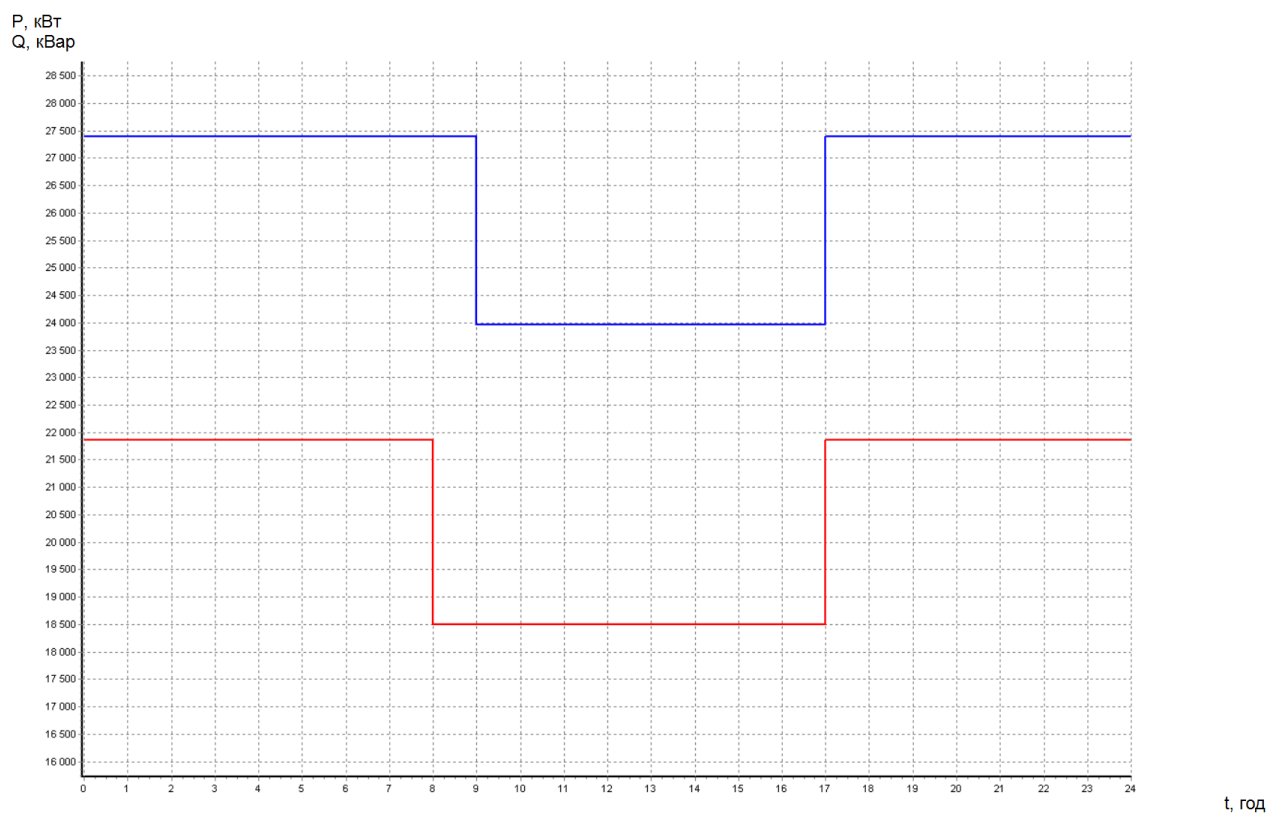


Рисунок 1.4 - Графік навантажень зимових вихідних днів

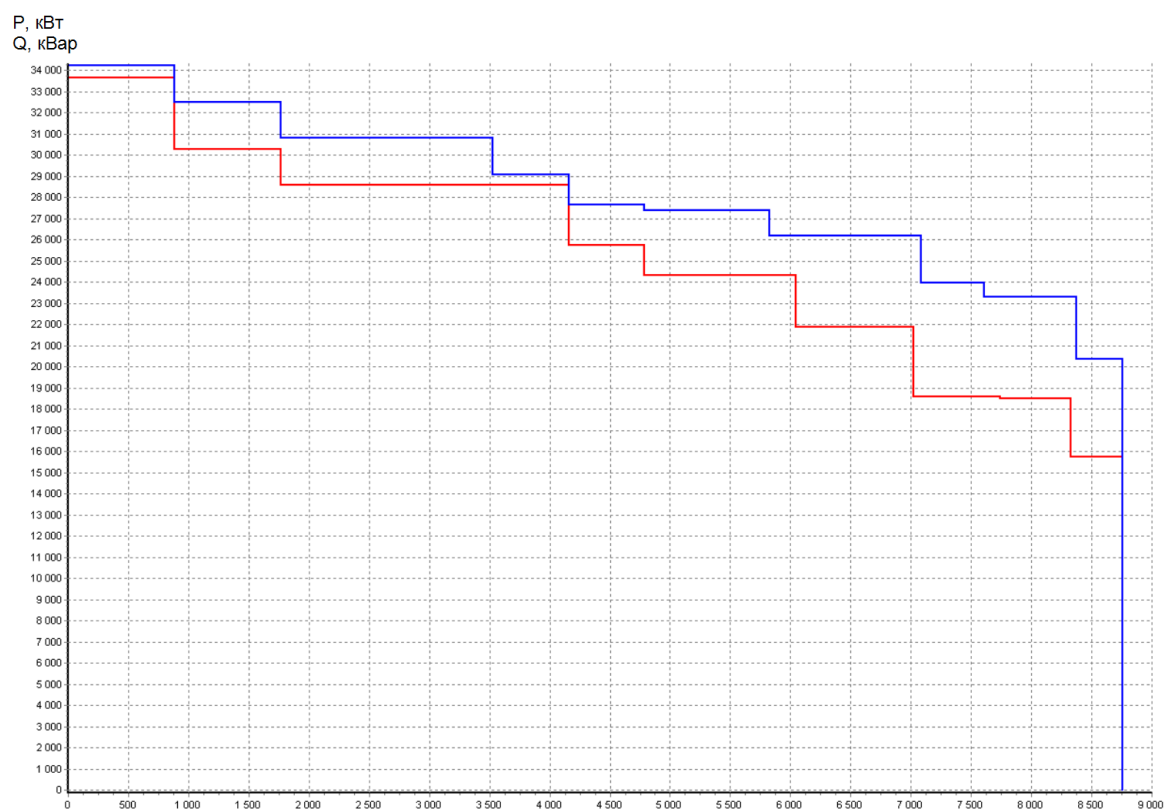


Рисунок 1.5 - Річний графік навантажень за тривалістю.

$\tau=6788$

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

2 КАРТОГРАМА ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Для визначення місця розташування трансформаторних підстанцій використовується аналіз центра електричних навантажень. Для цього зазвичай застосовується картограма навантажень. Картограма навантажень є графічним зображенням розрахункових навантажень на плані промислового підприємства чи міста. Навантаження графічно представляються у вигляді кола, центр якого збігається з центром тяжіння приймача або з ВРП пристроєм. Радіус кола визначається за наступним виразом:

$$r_i = \sqrt{\frac{P_i}{\pi \cdot m}}, \quad (2.1)$$

де P_i – розрахункове навантаження активне електроприймача;

m – масштаб визначення площі кола.

Кола, які відображають розрахункове навантаження електроприймача, можна поділити на сектори, кожен з яких характеризує електроспоживання різних видів навантаження, таких як освітлення, силові прилади та інші.

Координати центра електричних навантажень визначають відповідно наступним виразам:

$$X_0 = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot x_i}{\sum_{i=1}^n P_i} \quad (2.2)$$

$$Y_0 = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot y_i}{\sum_{i=1}^n P_i} \quad (2.3)$$

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

де x_i , y_i , z_i – центри електричних навантажень споживачів, які співпадають з їх центрами тяжіння, або з їх ВРП.

Метод визначення картограми навантажень дозволяє встановити умовний центр електричних навантажень через наступні причини:

- Зміна споживаної потужності електроприймачів з часом, яка може бути обумовлена зміною технологічного процесу, зміною кількості та потужності електроприймачів, постійним розвитком промислового підприємства чи району міста тощо.

- Зміна графіка навантажень споживачів внаслідок зміни варіативності їхньої роботи.

Для прикладу наведемо розрахунок пбудови картограми для штампувального цеху:

Приймаємо

$$m = 1 \text{ кВт} / \text{мм}^2$$

$$R_1 = \sqrt{\frac{P_1}{\pi m}} = \sqrt{\frac{P_{p.осв} + P_{p.сил}}{\pi m}} = \sqrt{\frac{20,98 + 967}{3,14 \cdot 1}} = 17,72 \text{ мм}$$

$$\alpha_i = \frac{P_{i.осв} \cdot 360}{\pi R_i^2} = \frac{20,78 \cdot 360}{3,14 \cdot 17,72^2} = 7,9^\circ$$

Розрахунок для решти цехів представляємо у вигляді таблиці В.1. додатку В.

Розрахунок центра навантаження виявив координати його місцезнаходження $X = 230,7 \text{ м}$, $Y = 107,9 \text{ м}$, що заважає встановленню ГЗП через виникнення перетоків електроенергії. Тому ГЗП головного корпусу потрібно перемістити в бік живлення.

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

3 ВИБІР НАПРУГИ І ЕЛЕКТРИЧНИХ СХЕМ ЗОВНІШНЬОГО ТА ВНУТРІШНЬОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Для промислових підприємств існують три типові варіанти систем електропостачання:

1. Живлення від електростанцій енергосистем. Цей варіант є характерним для великих промислових центрів та міст, які є одночасно адміністративними і промисловими центрами з високим рівнем розвиненості промисловості. Така система електропостачання дозволяє ефективно поєднувати надійне електро- та теплопостачання, що робить її найбільш прийнятною.

2. Живлення від енергосистем та власних електростанцій. Промислові підприємства можуть мати власні електростанції, які працюють паралельно з енергосистемою. Це необхідно для забезпечення більшої надійності електропостачання та отримання теплової енергії.

3. Живлення від власних електростанцій промислового значення. Цей варіант використовується для промислових підприємств, що розташовані в віддалених і малодоступних районах, де немає можливості підключення до енергосистеми.

У випадку коли є неоднозначна вимога до кількості незалежних джерел живлення (зазвичай для споживачів II категорії), схема електропостачання визначається на основі техніко-економічного розрахунку, що базується на наступних витратах:

$$B = C_e + k_n \cdot K + Z,$$

де C_e – величина експлуатаційних витрат;

k_n – нормативний коефіцієнт економічної ефективності;

K – капітальні витрати;

Z – збитки від перерви електропостачання, зумовлені надійністю роботи розглянутого варіанту.

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

Розглянемо два варіанта електропостачання – живлення напругою 35 кВ и напругою 110 кВ.

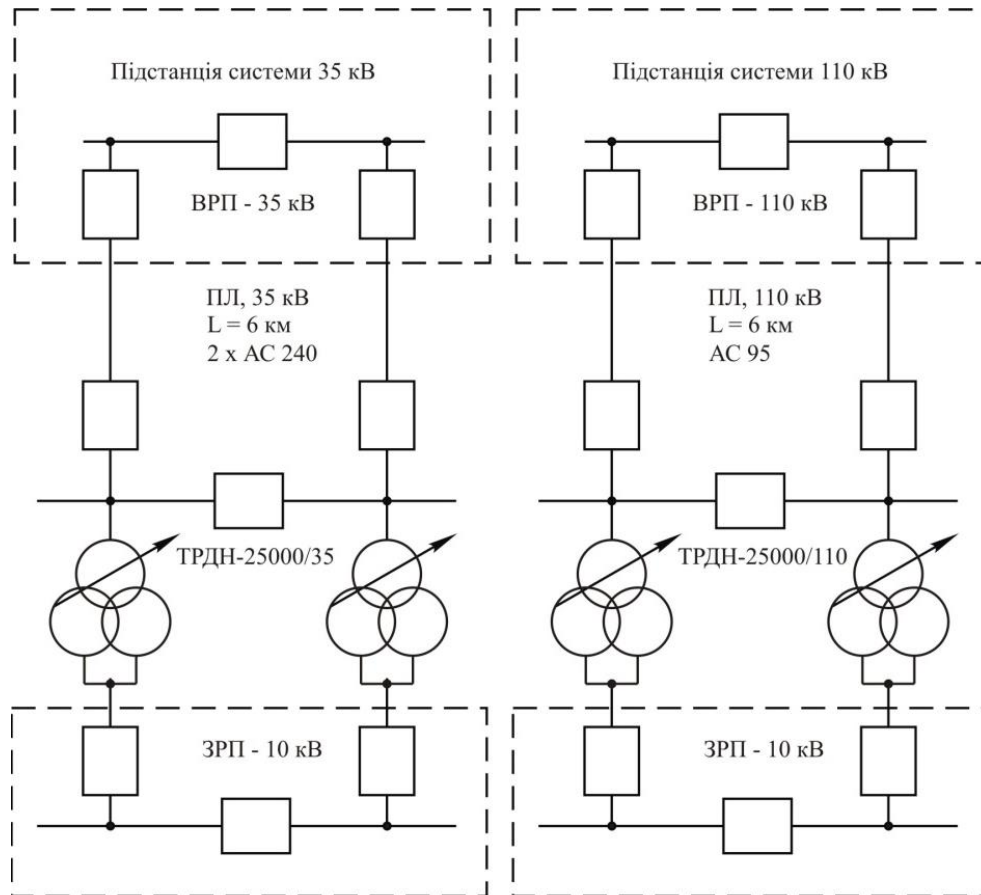


Рисунок 3.1- Варіанти схем електропостачання 35 та 110 кВ

Варіант 1. Живлення відбувається напругою 35 кВ (рис 3.1, а)

Розрахуємо струм в лінії:

$$I_p = \frac{S'_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{33995}{\sqrt{3} \cdot 35} = 560,8 \text{ А}$$

Переріз кабельної лінії визначаємо, використовуючи економічну густину струму:

$$F = \frac{I_p}{J_{ек}} = \frac{560,8}{1,2} = 467 \text{ мм}^2$$

Цим показникам відповідає дволанцюгова повітряна лінія АС перерізом 240 мм^2 з параметрами одного ланцюга: $I_{нрпн} = 620 \text{ А}$, $\Delta P_{км} = 180 \text{ кВт/км}$, ціна 1 км проводу $K_0 = 220 \text{ тис. грн.}$

Рахуємо завантаження лінії при нормальному режимі роботи:

$$K_3 = \frac{I_p}{n \cdot I_{дон}} = \frac{560,8}{2 \cdot 620} = 0,4 \text{ мм}$$

На ГЗП передбачається установка двох силових трансформаторів $S_{ном} = 25 \text{ МВА } 35/10 \text{ кВ}$,

з такими параметрами: $\Delta P_x = 25 \text{ кВт}$, $u_k = 11.45 \%$, $\Delta P_k = 115 \text{ кВт}$.

Рахуємо завантаження трансформатора при нормальному режимі роботи:

$$K_3 = \frac{S_p}{n \cdot S_{ном}} = \frac{33995}{2 \cdot 25000} = 0,7 \text{ мм}$$

Перевіряємо трансформатор по умовам аварійного перевантаження:

$$K_{з.ав} = \frac{S_p}{S_{ном}} = \frac{33995}{25000} = 1,36 \text{ мм} \leq 1,4 \text{ мм}$$

Обчислюємо втрати енергії в повітряній лінії:

$$\Delta P_{л} = \Delta P_{1км} l_{\Sigma} K_3^2 = 140 \cdot 24 \cdot 0,4^2 = 457,4 \text{ кВт}$$

$$\Delta W_{л} = \Delta P_{л} \tau = 457,4 \cdot 6788 = 3104,1 \cdot 10^3 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Також обчислюємо втрати енергії в трансформаторі:

$$\Delta W = n(\Delta P_x t + \Delta P_k K_3^2 \tau) = 2(25 \cdot 8760 + 115 \cdot 0,7 \cdot 6788) = 1159 \cdot 10^3 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Обчислюємо загальні втрати в лінії і трансформаторі:

$$\Delta W_{\Sigma} = \Delta W_{л} + \Delta W_m = 3104,1 \cdot 10^3 + 1159 \cdot 10^3 = 4263,8 \cdot 10^3 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Знаходимо вартість втрат:

$$C_{втр} = \Delta W_{\Sigma} C_0 = 4263,8 \cdot 10^3 \cdot 2,7 \cdot 10^{-3} = 11512,3 \text{ тис. грн.}$$

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

Варіант з живленням 110 кВ розраховується в такій же послідовності.
Розрахунок витрат по обом варіантам приводиться в таблицях 3.1 - 3.2.

Таблиця 3.1 - Показники капітальних вкладень

№ вар.	Назва елемента схеми	Одиниця	Кількість	Вартість	Всього
1	ПЛ 35 кВ на з/б опорах	км	12	220	2640
	ВРП 35 кВ	шт	1	1130	1130
	Тр-ри 35/10 кВ	шт	2	1575	3150
Всього					6920
2	ПЛ 110 кВ на з/б опорах	км	6	296	1776
	ВРП 110 кВ	шт	1	1250	1250
	Тр-ри 110/10 кВ	шт	2	1951	3902
Всього					6928

Таблиця 3.2 - Показники поточних витрат

варіант	Елемент схеми	K_j , тис. грн.	P_{aj} , %	C_{aj} , тис. грн.	$P_{эj}$, %	$C_{эj}$, тис. грн.	C_j , тис. грн.
1	ПЛ - 35 кВ	2640	5	132	5	132	264
	ВРП - 35 кВ	1130	15	169,5	5	56,5	226
	Тр-ри	3150	15	472,5	5	157,5	630
Всього							1120
2	ПЛ-110 кВ	1776	5	88,8	5	88,8	177,6
	ВРП - 110 кВ	1250	15	187,5	5	62,5	250
	Тр-ри	3902	15	585,3	5	195,1	780,4
Всього							1208

Розрахунок імовірного збитку від перерви електропостачання

Розрахунки величини збитку для варіантів живлення 35 та 110 кВ проведено по методиці, викладеній в [1].

Результати розрахунку техніко-економічних показників внесено в таблицю 3.3.

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

Таблиця 3.3. Техніко-економічні показники варіантів порівняння

<i>Показники</i>	<i>Варіанти</i>	
	<i>1</i>	<i>2</i>
Капітальні вкладення, т.грн.	5880	6816
Поточні витрати, т.грн.	936	1146,6
Вартість втрат електроенергії, т.грн	11512,3	4721,4
Збиток від перерв, т.грн.	32,41	49,43
<i>Зведені витрати, т.грн.</i>	13186,3	6735,3

Після аналізу економічних показників стало очевидно, що другий варіант виявився більш вигідним з фінансової точки зору, тому приймаємо саме його.

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

4 КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ

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

Головними споживачами реактивної потужності є асинхронні двигуни, вентильні перетворювачі, реактори, лінії електропередачі та інші аналогічні пристрої. Оскільки реактивна потужність перебуває в циклі між реактивними елементами і не приносить користі, її передача через систему електропостачання має наступні негативні наслідки:

- РП призводить до додаткових втрат активної потужності:

$$\Delta P = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} R = \frac{P^2}{U^2} R + \frac{Q^2}{U^2} R = \Delta P_a + \Delta P_p$$

- РП призводить до додаткових втрат напруги:

$$\Delta U = \frac{PR + QX}{U} = \frac{PR}{U} + \frac{QX}{U} = \Delta U_a + \Delta U_p$$

- знижує пропускну здатність ліній електропередачі і трансформаторів, що призводить до збільшення їхніх перерізів і потужностей, а отже, до зростання капітальних витрат.

Спрощеним вирішенням проблеми зниження реактивної потужності є проведення ряду технічних заходів для зменшення споживання реактивної потужності приймачами:

- Заміна малоавантажених асинхронних двигунів меншою потужністю.
- Зниження напруги у двигунах, які регулярно працюють із малими навантаженнями.
- Обмеження холостого ходу двигунів та зварювальних трансформаторів.
- Заміна асинхронних двигунів синхронними там, де це можливо з урахуванням технологічного процесу.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

- Вибір силової схеми та системи керування вентильними перетворювачами.

Компенсація реактивної потужності - це управління нею через використання компенсуючих пристроїв. Серед таких пристроїв можна виділити синхронні машини, конденсатори та статичні джерела реактивної потужності.

Синхронні машини. Синхронні компенсатори - це синхронні двигуни спрощеної конструкції, які працюють без навантаження на валу. Вони можуть як генерувати (у режимі перезбудження), так і споживати (у режимі недозбудження) реактивну потужність. Регулювання генерованої чи споживаної реактивної потужності компенсатора здійснюється через налаштування його збудження.

Синхронні двигуни. Вони також здатні генерувати реактивну потужність, її розмір залежить від навантаження двигуна активною потужністю, рівня напруги та його технічних характеристик:

$$Q_{сд} = k_{n,p,n} \frac{P_{ном} \operatorname{tg} \phi_{ном}}{K_{нд}}$$

де $k_{nрп}$ – це коефіцієнт перевантаження за реактивною потужністю, що визначається типом двигуна та рівнем поданої напруги.

Потрібна потужність компенсуючих пристроїв $Q_{кп}$ знаходиться з умови балансу реактивної потужності:

$$Q_{кп} = Q_{\Sigma} - Q_{ес}$$

де Q_{Σ} – розрахункова величина загальної реактивної потужності, яка споживається на протязі максимального активного навантаження енергетичної системи;

$Q_{ес}$ – економічно обґрунтоване найбільше значення реактивної потужності енергосистеми, яку вона може передати в режимі максимальних активних навантажень.

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

4.2. Вибір кількості, потужності та місця розташування компенсуючих пристроїв

Визначення кількості, потужності та розташування компенсуючих пристроїв здійснюється шляхом економічного порівняння альтернатив згідно з методикою [1]. Ключовим критерієм ефективності є мінімум приведених витрат.

Навантаження з боку 0.4 кВ:

$$P_n = 11412 \text{ кВт}$$

$$Q_n = 8483 \text{ квар}$$

Навантаження з боку 10 кВ:

$$P_\epsilon = 22063 \text{ кВт}$$

$$Q_\epsilon = 29206 \text{ квар}$$

Втрати в трансформаторах:

$$\Delta P_m = 145,0 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_m = 715,0 \text{ квар}$$

Загальне навантаження по головному корпусу:

$$P_p = P_n + \Delta P_{mp} + \Delta P_\epsilon = 11412 + 145,0 + 22063 = 33620 \text{ кВт}$$

$$Q_p = Q_n + \Delta Q_{mp} + QP_\epsilon = 8183 + 715,0 + 29206 = 38104 \text{ квар}$$

Реактивна потужність від енергосистеми:

$$Q_\epsilon = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi_\epsilon = 33620 \cdot 0,15 = 5044 \text{ квар}$$

Реактивна потужність, яку потрібно компенсувати:

$$Q_{KL} = Q_p - Q_\epsilon = 3804 - 5044 = 33060 \text{ квар}$$

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

Найменше число трансформаторів:

$$N_0 = \frac{P_n}{K_3 P_{ном}} = 11412 / 0,7 \cdot 1000 \approx 19,3 = 20 \text{ шт}$$

Треба розглядати види компенсації при числі трансформаторів:

$$N = N_0, N = N_0 + 1, N = N_0 + 2.$$

Варіант 1. Якщо $N = N_0$.

Визначимо реактивну потужність, яка може перетікати із мережі 10 кВ в мережу 0.4 кВ, якщо $N = N_0$:

$$Q_n = \sqrt{(N \cdot K_3 \cdot S_{ном})^2 - P_n^2} = \sqrt{(20 \cdot 0,7 \cdot 1000)^2 - 11412^2} = 4477 \text{ квар}$$

Потужність КП, які споруджуються в мережі до 1000 В визначається по балансу потужності на шинах ТП:

$$Q_{кн} = Q_n - Q_p = 8183 - 4476 = 3707 \text{ квар}$$

Розташуємо дану реактивну потужність на боці 0.4 кВ.

ТП 3. Розрахункове навантаження на даному ТП (з урахуванням втрат потужності в трансформаторах):

$$P_p = 1246 \text{ кВт}$$

$$Q_p = 1146 \text{ квар}$$

Реактивна потужність, яка може перетікати із мережі 10 кВ на 0.4 кВ до ТП 3:

$$Q_n = \sqrt{(n \cdot K_3 \cdot P_{ном})^2 - P_p^2} = \sqrt{(20 \cdot 0,7 \cdot 1000)^2 - 1246^2} = 640 \text{ квар}$$

Потужність компенсуючих пристроїв на 0.4 кВ:

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

$$Q_{\kappa n} = Q_p - Q_n = 1446 - 640 = 806 \text{ квар}$$

Приймаються до спорудження конденсаторні установки 2хУКМ58-04-400-12 УЗ, з потужністю $Q_{БСК} = 400$ кВар, $K_i = 150$ тис.грн.

Реактивна потужність на ТП, враховуючи компенсацію:

$$Q_p' = Q_p - Q_{БСК} = 1446 - 800 = 646 \text{ квар}$$

Повна потужність на ТПЗ при компенсації:

$$S_p' = \sqrt{P_p^2 + Q_p'^2} = \sqrt{1246^2 + 646^2} = 1404 \text{ кВА}$$

Розташування статичних конденсаторів на інших трансформаторних підстанціях визначається за аналогічною методикою. Результати обчислень представлені у таблиці Г1 Додатку Г.

Загальна потужність КБ з боку 0.4 кВ:

$$Q_{\kappa H} = 3950 \text{ квар}$$

Уточнюємо пропускну потужність:

$$Q_n = Q_{\kappa} - Q_{\kappa H} = 8183 - 3950 = 4233$$

Потужність КП на боці 10 кВ:

$$Q_{\kappa n B} = Q_{\epsilon} + Q_{\kappa} + \Delta Q_{тр} - Q_{\epsilon} - Q_{\kappa n H} = 38106 - 5044 - 3950 = 29110 \text{ квар}$$

Беремо для спорудження 11хУКП-10-2700 УЗ.

Загальна потужність високовольтних КП:

$$Q_{\kappa B} = 11 \cdot 2700 = 29700,0 \text{ квар}$$

Додаткові втрати потужності в трансформаторах ТП в процесі передачі реактивної потужності:

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

$$\Delta P_{mp} = \frac{Q_{np}^2 \Delta P_{\kappa}}{n \cdot P_{ном}^2} = 4233^2 \cdot 12 / 20 \cdot 1000^2 = 10,9 \text{ кВт}$$

Втрати активної потужності в низьковольтних батареях:

$$\Delta P_{\kappa H} = 0.0045 Q_{\kappa H} = 0,00450 \cdot 3950,0 = 18,0 \text{ кВт}$$

Втрати активної потужності в високовольтних батареях:

$$\Delta P_{\kappa B} = 0.003 Q_{\kappa B} = 0,003 \cdot 29700,0 = 89,0 \text{ кВт}$$

Визначаємо вартість низьковольтних БК:

$$K_{\kappa H} = 271,2 + 159 + 206,8 + 379,8 + 159,5 + 78,5 + 184,1 = 1465,6 \text{ тис.грн.}$$

Вартість високовольтних батарей конденсаторів:

$$K_{\kappa B} = 11 \cdot 380,07 = 4180,8 \text{ тис.грн}$$

Розрахуємо ціну комплектних ТП.

Таблиця 4.1. Ціна комплектних цехових ТП

КТП	К-ть	Ціна, тис. грн.
2х1000	7	658
1х1000	6	357,5

$$K_{KTP} = 7 \cdot 638 + 6 \cdot 357,5 = 7574 \text{ тис.грн}$$

Підсумовуємо розрахункові витрати:

$$З = E_H (K_{\kappa H} + K_{\kappa B} + K_{KTP}) + (\Delta P_{\kappa H} + \Delta P_{\kappa B} + \Delta P_{TP}) C_0 T =$$

$$0,12(1465,6 + 4180,8 + 7574) + (10,9 + 18,0 + 89,0) 2,7 \cdot 6788 = 2162,3 \text{ тис.грн.}$$

Розрахунок варіантів при числі трансформатрів $N = N_0 + 1$, $N = N_0 + 2$ проводиться за аналогічною методикою. Результати розрахунку представлені в таблиці Г2 Додатку Г.

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

Як видно з результатів обчислень, найнижчі розрахункові витрати відповідають першому варіанту з $N=N_0$. Тому подальші розрахунки будуть здійснюватися на основі даних цього варіанту.

						Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5 ВИБІР ЧИСЛА І ПОТУЖНОСТІ ТРАНСФОРМАТОРІВ, А ТАКОЖ МІСЦЯ РОЗТАШУВАННЯ ПС

5.1. Вибір числа та потужності силових трансформаторів

Кількість трансформаторів, що потрібно встановити на підстанції, залежить насамперед від категорії споживачів, підключених до неї. Для підстанцій, які обслуговують споживачів І категорії, необхідно встановлювати два трансформатори (дві незалежні джерела живлення).

Встановлення двох трансформаторів однакової потужності є доцільним для більшості трансформаторних ГЗП, які живлять навантаження І і ІІ категорії, на основі досвіду експлуатації і проектування.

Коли кількість трансформаторів $n \geq 2$, потужність кожного з них визначається за умовою:

$$S_T \geq \frac{S_{max} K_{1,2}}{K_{ав} (n - 1)}$$

де $K_{1,2}$ – коефіцієнт, що враховує частку споживачів І і ІІ категорії у складі навантаження; $K_{ав}$ – коефіцієнт припустимого аварійного перевантаження трансформатора, котрий дорівнює 1,4.

Після прийняття стандартного значення номінальної потужності трансформаторів $S_{ном}$ проводиться перевірка їх завантаженості у номінальному режимі за коефіцієнтом завантаження K_3 :

$$K_3 = \frac{S_{max}}{n \cdot S_{ном}} \leq 0,6 - 0,7$$

Якщо K_3 , що перевищує припустимі значення, номінальна потужність трансформатора приймається найближчим стандартним значенням з ряду номінальних потужностей трансформаторів.

						Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Здійснено вибір силових трансформаторів для головної знижуючої підстанції машинобудівного заводу.

Визначимо номінальну потужність трансформатора:

$$S_T = \frac{S_{max} K_{1,2}}{K_{ав} (n-1)} = 33940 \cdot 0,9 / 1,4(2-1) = 21819 \text{ кВА}$$

Приймаємо до установки два трансформатори ТРДН-25000/110.

Обчислюємо коефіцієнт завантаження трансформатора:

$$K_3 = \frac{S_{max}}{n \cdot S_{ном}} = 33940 / 2 \cdot 25000 = 0,7$$

5.2. Компонівка та місце розташування цехових підстанцій (ТП)

Внутрішньоцехові підстанції розміщують у центрі електричних навантажень, що дозволяє зменшити довжину мереж напругою до 1 кВ і скоротити втрати потужності й енергії. Доцільно використовувати цехові ТП з розташуванням розподільчого пристрою низької напруги (РПНН) всередині цеху, а трансформатора – зовні, біля обслуговуваних ним виробничих споруд. Такий тип підстанції займає менше площі цеху, ніж повністю вбудована. Водночас слід враховувати, що згідно з ПУЕ, відкрите встановлення маслонаповнених трансформаторів допускається тільки біля стін будівель з виробництвами категорій Г і Д (за пожежними нормами).

Відстань від трансформатора до стіни регламентується залежно від ступеня вогнестійкості будівлі. Шини, що з'єднують виводи вторинної напруги трансформатора з РПНН, розміщуються в коробах з листової сталі. Усі ці компоненти постачаються заводом у комплекті, і на підприємстві здійснюється лише складання елементів і під'єднання живильних та відхідних кабелів.

У деяких випадках РПНН розміщують на другому поверсі споруди або на високих відмітках, при цьому додатково встановлюються вертикальні ланки струмопроводів у сталевих коробах.

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

Окремо стоячі закриті цехові підстанції 6–10 кВ застосовуються в разі, якщо через вимоги технологічної пожежо- і вибухонебезпеки виробництва неможливо розмістити ТП всередині цехів або біля їх зовнішніх стін. Такі ТП також доцільні для невеликих підприємств з розкиданими електричними навантаженнями по території.

Щоб уникнути зайняття підкранових площадок, внутрішньоцехові підстанції розміщуються біля колон споруди або поруч з будь-якими постійними цеховими приміщеннями. У випадку примусового розміщення підстанції поруч із шляхами внутрішньоцехового транспорту чи крановими шляхами, вони повинні бути розташовані в мертвій зоні роботи цих механізмів.

Планування вбудованих і внутрішньоцехових підстанцій визначається з урахуванням конструкції будівлі, розташування на поверсі, напрямку трас живильних кабелів або шинопроводів напругою до 1 кВ у кожному конкретному випадку.

Для Кропивницького еквівалентна річна температура $\theta_{\text{охол}} = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$

Для двохзмінного режиму роботи $K_1 = 1,08$.

Приймаються до установки комплектні трансформаторні підстанції КТП - 10/0,4 кВ вбудованого типу (внутрішнього встановлення). При цьому приймається, що трансформатори завантажені рівномірно, щоб забезпечити оптимальну ефективність та стабільність роботи системи.

Вибір цехових ТП представлено в таблиці Д1 Додатку Д.

						Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6 РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КЗ ТА ВИБІР ВИСОКОВОЛЬТНОГО ОБЛАДНАННЯ

Коротке замикання (КЗ) - це будь-яке випадкове з'єднання між фазами, що виникає в умовах нормальної експлуатації, а також з'єднання однієї або декількох фаз з землею (або нульовим провідником) у системах з заземленими нейтралями (або чотирипровідних системах). У системах з незаземленими нейтралями або з нейтралями, які заземлені за допомогою спеціальних компенсуючих пристроїв, це з'єднання однієї з фаз з землею відоме як просте замикання.

Розрахунок струмів короткого замикання (КЗ) виконується з такими цілями:

1) Перевірка провідників і апаратури на їх термічну і динамічну стійкість у разі протікання максимально можливих струмів КЗ, зазвичай, у випадку трифазного короткого замикання.

2) Перевірка параметрів роботи релейного захисту при мінімальних струмах КЗ, що частіше відбувається при дво- чи однофазному КЗ в кінці ділянки, що захищається.

Під час проведення розрахунків струмів короткого замикання (КЗ) важливо враховувати певні практичні рекомендації, що стосуються низьковольтних (НН) і високовольтних (ВН) мереж [4]:

- у високовольтних мережах, зазвичай, результативний активний опір не перевищує $1/3$ реактивного. Це означає, що його вплив на загальний опір зазвичай не перевищує 5%. Тому, в мережах високого напруги, зазвичай, не приділяють уваги активним опорам (з винятком ситуацій, коли мають справу з довгими кабельними лініями малих перерізів).

- Опори електричних апаратів, коротких з'єднань та інших елементів у високовольтних мережах, порівняно з опорами ліній, джерел живлення та струмообмежувальних реакторів, є досить малими.

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

- у низьковольтних мережах активні опори мають суттєве значення, тому їх не можна ігнорувати. Також важливими можуть бути опори електричних апаратів, коротких з'єднань, трансформаторів струму та, іноді, контактних з'єднань.

6.1. Розрахунок струмів короткого замикання

Перед початком розрахунку струмів короткого замикання ми розробляємо розрахункову схему (див. рис. 6.1), на якій визначаємо точки, в яких необхідно обчислити струми короткого замикання.

Після цього на основі розрахункової схеми ми складаємо схему заміщення, на якій всі елементи представлені у вигляді опорів.

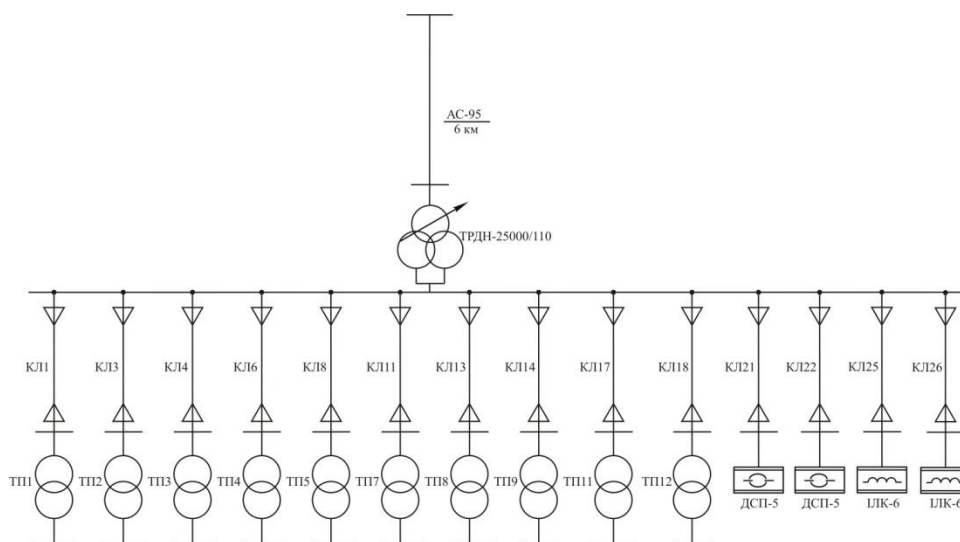


Рис. 8.1. Розрахункова схема для розрахунку струмів к.з.

Рисунок 6.1 – Розрахункова схема для розрахунку струмів кз.

Треба розрахувати опори елементів.

1. Опір системи дорівнює 0, тому що система має нескінченну потужність: $x_c = 0$
2. Розраховується опір одного провода повітряної лінії 35 кВ АС-120 (активний $r_0 = 0.301$, реактивний $x_0 = 0.434$):

$$X_{\text{л}} = l \cdot x_0 = 6 \cdot 0.435 = 2.605 \text{ Ом}$$

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

$$R_{\lambda} = l \cdot r_0 = 6 \cdot 0.302 = 1.807 \text{ Ом}$$

4. Розраховуємо опір тр-ра ТРДН-25000/110:

Індуктивний опір трансформатора з боку 10,5 кВ:

$$X_{тр} = \frac{u_{\kappa} \% \cdot U_{ном}^2}{100 \cdot S_{ном}} = \frac{10.5 \cdot 11^2}{100 \cdot 25} = 0.46 \text{ Ом}$$

Активний опір трансформатора, приведений до сторони 10.5 кВ:

$$R_{тр} = \Delta P_{\kappa\lambda} \frac{U_{ном}^2}{S_{ном}^2} = 120 \frac{11^2}{25^2} = 0.021 \text{ Ом}$$

Для розрахунку струмів короткого замикання на стороні 10.5 кВ цехових трансформаторних підстанцій (ТП) потрібно вибрати кабельні лінії напругою 10,5 кВ від головної потужної підстанції (ГПП) до цих ТП. Передбачений вибір перерізу кабельних ліній можна проілюструвати на прикладі ТП 1.

Визначимо розрахункову потужність на ТП1:

$$S_p = 2026 \text{ кВА}$$

Визначимо розрахунковий струм:

$$I_p = \frac{S_p}{n \sqrt{3} U_n} = \frac{2025}{3 \cdot \sqrt{3} \cdot 10.5} = 37.14$$

Визначимо струм в аварійному режимі:

$$I_{p.ав} = 2 \cdot I_p = 2 \cdot 37.1 = 74.2 \text{ А}$$

Визначимо економічну щільність струму:

$$F_{ек} = \frac{I_p}{j_{ек}} = 37.1 / 1.1 = 33.7$$

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

Приймаємо кабель ААШв – 3 х (3 х 50). Для нього
 $I_{дон} = 105 > I_{ав} = 74.23$

Визначимо активний та індуктивний опори КЛ 1,2:

$$R_{кл} = l \cdot r_0 = 0.075 \cdot 0.62 = 0,075 \cdot 0,6 = 0,046 \text{ Ом}$$

$$X_{кл} = l \cdot x_0 = 0,075 \cdot 0,09 = 0,0068 \text{ Ом}$$

Так само вибираються інші кабельні лінії та обчислюються їх параметри. Результати вибору та розрахунку параметрів інших кабельних ліній можна знайти в таблицях Е1 і Е2 Додатку Е.

Визначимо струми КЗ (надперехідний і ударний) для точок К1 і К2.

Точка К1.

Обчислюємо сумарний індуктивний опір до точки К1:

$$X_{к1} = X_c + X_{л1} = 0 + 2,6 = 2,6 \text{ Ом}$$

Обчислюємо сумарний активний опір до точки К1:

$$R_{к1} = R_c + R_{л1} = 0 + 1,8 = 1,8 \text{ Ом}$$

Обчислюємо повний опір до точки К1:

$$Z_{к1} = \sqrt{R_{к1}^2 + X_{к1}^2} = \sqrt{1.8^2 + 2.6^2} = 3.21 \text{ Ом}$$

Обчислюємо надперехідний струм КЗ в точці К1:

$$I_{к1}'' = \frac{U_H}{\sqrt{3} Z_{к1}} = \frac{110}{\sqrt{3} \cdot 3.21} = 20.92 \text{ кА}$$

Визначаємо сталу часу:

$$T_{a1} = \frac{X_{к1}}{\omega R_{к1}} = \frac{2,6}{314 \cdot 1,8} = 0.0046 \text{ с}$$

						Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Обчислюємо ударний коефіцієнт:

$$K_{y1} = 1 + e^{-\frac{0.01}{T_{a1}}} = 1,11$$

Обчислюємо ударний струм в точці K1:

$$i_{y\partial 1} = \sqrt{2} K_{y1} I''_{k1} = \sqrt{2} \cdot 1,11 \cdot 20,9 = 32,9 \text{ кА}$$

Точка K2.

Визначаємо активний та індуктивний опори до точки K1 з боку 10,5 кВ:

$$R'_{k1} = R_{k1} \left(\frac{U_{HH}}{U_{BH}} \right)^2 = 1,8 \cdot \left(\frac{11}{110} \right)^2 = 0,02 \text{ Ом}$$

$$X'_{k1} = X_{k1} \left(\frac{U_{HH}}{U_{BH}} \right)^2 = 2,6 \cdot \left(\frac{11}{110} \right)^2 = 0,025 \text{ Ом}$$

Обчислюємо сумарний індуктивний опір до точки K2:

$$X_{k2} = X'_{k1} + X_m = 0,025 + 0,46 = 0,485 \text{ Ом}$$

Обчислюємо сумарний активний опір до точки K2:

$$R_{k2} = R'_{k2} + R_m = 0,02 + 0,021 = 0,041 \text{ Ом}$$

Визначаємо повний опір до точки K2:

$$Z_{k2} = \sqrt{R_{k2}^2 + X_{k2}^2} = \sqrt{0,041^2 + 0,485^2} = 0,491$$

Обчислюємо надперехідний струм K3 в точці K2:

$$I''_{k2} = \frac{U_H}{\sqrt{3} Z_{k2}} = \frac{11}{\sqrt{3} \cdot 0,491} = 12,99$$

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

Визначаємо сталу часу:

$$T_{a2} = \frac{X_{k2}}{\omega R_{k2}} = \frac{0,485}{314 \cdot 0,041} = 0,0412 \text{ с}$$

Обчислюємо ударний коефіцієнт:

$$K_{y2} = 1 + e^{-\frac{0,01}{T_{a2}}} = 1,786$$

Обчислюємо ударний струм в точці К2:

$$i_{y\delta 2} = \sqrt{2} K_{y2} I''_{k2} = \sqrt{2} \cdot 1,786 \cdot 12,99 = 32,75 \text{ А}$$

Розрахунок струмів короткого замикання в інших точках проводиться аналогічним чином. Результати цих розрахунків представлені в таблиці ЕЗ Додатку Е.

6.2. Вибір кабелів напругою 10 кВ для високовольтної мережі

При виборі перерізу провідника необхідно враховувати різноманітні технічні і економічні фактори. До технічних факторів належать:

- Нагрівання провідника тривалим робочим струмом. Провідник повинен мати достатню площу перерізу для ефективного відведення тепла, уникнення перегріву та забезпечення надійної роботи системи.
- Припустиме падіння напруги. Переріз провідника повинен бути достатнім для забезпечення прийнятного рівня напруги на кінцях лінії при максимальному навантаженні.
- Вплив струму КЗ. Провідник повинен витримувати струм короткого замикання без перегріву та забезпечувати необхідний рівень стійкості до механічних та термічних навантажень.

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

- Механічна міцність. Провідник повинен бути стійким до механічних впливів, таких як власна вага, ожеледь, вітер, для забезпечення безперебійної роботи в умовах зовнішніх впливів.

- Втрати на корону. Великі втрати на корону можуть призвести до втрат енергії та погіршення електричної безпеки, тому вибір перерізу провідника також враховує цей фактор.

Економічні аспекти включають в себе оптимальне поєднання збільшення інвестицій у будівництво мережі та зниження витрат на втрати потужності при зміні перетину провідників.

Ця умова вибору перерізу провідника обумовлена потребою збереження електричних та механічних властивостей провідників під час їх нагрівання тривалими робочими струмами. Визначення перерізу провідника відбувається на основі двох умов:

1) Найбільший тривалий струм у лінії не повинен перевищувати допустимий струм, що визначається як такий тривалий струм, при якому провідник зберігає електричні та механічні властивості:

$$I_{\text{прип}} \geq I_{\text{нб}},$$

2) Допустимий тривалий струм повинен бути більшим або рівним номінальному струму захисного апарата, що захищає провідник, з урахуванням коефіцієнта К для мереж низької напруги:

$$I_{\text{прип}} \geq \frac{I_{\text{ном.зах.ап}}}{K}.$$

Значення коефіцієнта К для промислових мереж становить 3. Ця величина обумовлена значними пусковими струмами двигунів, які не повинні відключатися захисними апаратами, а також для забезпечення кращого огляду ліній.

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

Провідники всіх класів напруги підлягають перевірці перерізу з урахуванням нагріву.

Як приклад, розглянемо вибір кабельної лінії до ТП 1.

Відповідно умовам вибору проводів, обираємо кабель *ААШв* – 3 х (3 х 95). $I_{дон} = 200 \text{ А}$

Коефіцієнт прокладання кабелю становить $K_n = 0.92$.

Здійснимо перевірку кабелю на умови допустимого струму навантаження:

$$I_p = 37,1 < K_n I_{дон} = 0,92 \cdot 200 = 184,0 \text{ А}$$

Здійснимо перевірку кабелю на умови роботи в аварійному режимі:

$$I_{p.ав} = 74,2 < K_{ан} K'_n I_{дон} = 1,31 \cdot 0,95 \cdot 200 = 238,25 \text{ А}$$

Так само проводимо вибір інших кабелів. Результати цього вибору подано у підсумковій таблиці Е4 Додатку Е.

Перевірку кабелів на умову допустимого відхилення напруги не здійснюємо у зв'язку з надто малими довжинами кабельних ліній (до 300 м).

6.3. Вибір електричних апаратів високої напруги

У кваліфікаційній роботі потрібно вибрати такі електричні пристрої: вимикачі в розподільчих пристроях (РП) усіх класів напруги, роз'єднувачі, розрядники, а також трансформатори струму і напруги.

6.3.1. Вибір вимикачів

Вибір типу вимикачів залежить від специфічних умов їх експлуатації. В кваліфікаційній роботі слід вибрати передові типи вимикачів, які виробляються вітчизняними або зарубіжними виробниками.

У розподільних пристроях напругою 35 кВ наразі використовуються вакуумні вимикачі. Однак, у разі, якщо вакуумні вимикачі не відповідають

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

вимогам щодо відмикання, може бути розглянута можливість використання бакових вимикачів.

У розподільних пристроях напругою 6-10 кВ рекомендується використовувати вимикачі, які вбудовані в комірки комплектних розподільних пристроїв. Зазвичай це вакуумні вимикачі вітчизняних заводів високовольтної апаратури РЗВА і "Таврида електрик".

Перевірка вимикачів на термічну стійкість проводиться аналогічно перевірці кабелів. Проте, вимикачі напругою 110 кВ і вище можуть не піддаватися перевірці на термічну стійкість через практично миттєве спрацювання релейного захисту.

Вибір вимикачів напругою 110 кВ наведено в таблиці Е5 Додатку Е. Для встановлення вибрано елегазовий вимикач типу LTB-145D1/B.

Вибір ввідного вимикача напругою 10.5 кВ представлено в таблиці Е6 Додатку Е. Обрано вакуумний вимикач типу ВР3-10-40/2500 ТЗ.

Вибір секційного вимикача напругою 10.5 кВ представлено в таблиці Е7 Додатку Е. Обрано вакуумний вимикач типу ВР2-10-31.5/1600 ТЗ.

Вибір вимикачів на відгалуженнях 10.5 кВ представлено в таблиці Е8 Додатку Е. Для встановлення обрано вакуумний вимикач типу ВР1-10-20/630 ТЗ.

На інших відгалуженнях також будуть встановлені вимикачі того ж типу, і перевірка їх не проводиться, оскільки струмове навантаження на цих відгалуженнях менше.

6.3.2. Вибір розрядників

Обладнання підстанції від прямих ударів блискавки захищають за допомогою тросових та стрижневих струмовідводів. Вибір принципової схеми захисту від прямих ударів блискавки залежить від робочої напруги підстанції, потужності трансформаторів і схем живлення.

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

Для захисту від атмосферних та внутрішніх перенапруг використовуються розрядники. Встановлення вентильних розрядників обов'язкове на всіх вводах силових трансформаторів, при цьому не допускається розміщення комутаційних апаратів між розрядниками та вводом. Вентильні розрядники підключаються до контуру заземлення підстанції найближчим шляхом.

Вибір розрядників наведено в таблиці Е9 Додатку Е. Для напруги 10 кВ обрано обмежувачі перенапруг типу ОПН-10/420/12-УХЛ1 для встановлення.

6.3.3. Вибір роз'єднувачів 110 кВ

Вибір роз'єднувачів напругою 110 кВ здійснюється аналогічно вибору високовольтних вимикачів. Результати розрахунків наведено в таблиці Е10 Додатку Е. Для встановлення обрано роз'єднувач РНДЗ-2-110/1000 У1. На перемичку також встановлюються роз'єднувачі того ж типу.

6.4. Вибір потужності та схем живлення трансформаторів власних потреб

Власні потреби (ВП) підстанції є одним з найбільш важливих споживачів, оскільки їх робота визначає нормальне функціонування всієї підстанції і, відповідно, надійність електропостачання для інших споживачів.

Серед найбільш відповідальних споживачів ВП підстанцій можна виділити кола оперативного струму, системи релейного захисту та автоматики, зв'язку та телемеханіки, системи охолодження трансформаторів, комплекси пожежної безпеки та електроприймачі компресорної.

						Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для живлення системи власних потреб (СВП) підстанцій використовують трансформатори зі зниженням напруги із другорядною напругою 380/220 В. Нейтраль другорядної обмотки трансформатора призначена для власних потреб (ТВП) заземлена. Номінальну потужність ТВП визначають на основі розрахункової потужності споживачів СВП, яка зазвичай становить приблизно 1% розрахункової потужності підстанції.

Розрахункове навантаження трансформаторів власних потреб обчислюють за виразом:

$$S_p = K_c S_n$$

де K_c - коефіцієнт попиту, для навантажень споживачів ВП дорівнює 0,7;

S_n - сумарна встановлена потужність електроспоживачів ВП підстанції.

На всіх двохтрансформаторних підстанціях від 35 до 750 кВ передбачається встановлення двох ТВП, що підключаються до різних джерел живлення. На низьковольтній стороні ТВП мають працювати незалежно один від одного, кожен на своїй секції, з автоматикою відновлення роботи (АВР) на міжсекційному зв'язку. Для живлення оперативних кола підстанції використовується як змінний, так і постійний струм.

На всіх підстанціях від 330 до 750 кВ та на підстанціях з розподільними пристроями від 110 до 220 кВ зі збірними шинами застосовується постійний оперативний струм. Також рекомендується використання постійного оперативного струму на підстанціях від 110 до 220 кВ у випадках, коли кількість вимикачів ВН становить три або більше, а також при наявності повітряних вимикачів.

Вибір трансформатора власних потреб представлений у таблиці Е11 додатку Е.

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

Обчислимо навантаження ТВП:

$$S_{уст} = \sqrt{P_{уст}^2 + Q_{уст}^2} = \sqrt{110^2 + 41,59^2} = 118,0 \text{ кВА}$$

Обчислюємо розрахункову потужність ТВП:

$$S_p = K_c S_{уст} = 0,7 \cdot 118 = 82,6 \text{ кВА}$$

Для установки вибираємо два трансформатори власних потреб типу ТМ-63/10.

Визначимо коефіцієнт завантаження ТВП:

$$K_z = \frac{S_p}{n \cdot S_{ном}} = \frac{82,6}{2 \cdot 63} = 0,7$$

						Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

7 ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В ДУГОВИХ ПЕЧАХ

7.1 Загальні положення

Принцип функціонування дугових печей базується на випромінюванні тепла в електричній дузі. Вони вважаються одними з найпотужніших споживачів електроенергії (потужність однієї печі може становити до 100 МВт), тому ці установки вимагають більш детального аналізу та уваги.

Електроенергія, витрачена на виплавку 1 тони сталі в дуговій сталеплавильній печі, розглядається наступним чином:

$$\Delta E = \frac{P \cos \varphi T_2}{q} + \frac{\Delta P_3 T_3}{q \eta_{\text{ел}}} + \frac{\Delta P_1 T_1}{q \eta_{\text{ел}}} = \frac{P \cos \varphi \Delta E_{\text{т}}}{P \cos \varphi \eta_{\text{ел}} - \Delta P_{\text{а}}} + \frac{\Delta P_3 T_3}{q \eta_{\text{ел}}} + \frac{\Delta P_1 T_1}{q \eta_{\text{ел}}}$$

Де P - подана до трансформатора (з боку ВН) потужність, кВт;

T_1 - період простою: відлиття металу, очищення печі, запаювання підошви і стін, завантаження металу, год.;

T_2 - період розплавки металу, год.;

T_3 - період кипіння та рафінування, год.;

q - маса шихти, т;

ΔP_1 - потужність теплових втрат у період простою, кВт; ΔP_2 - потужність теплових втрат печі у період розплавлення металу, кВт; ΔP_3 - потужність теплових втрат у період кипіння та рафінування, кВт;

$$\eta_{\text{ел}} = \frac{P_{\text{д}}}{P} 100 = \frac{P - p}{P} 100; P_{\text{д}} -$$

$P_{\text{д}}$ – активна потужність дуги, кВт; p — втрати електричної потужності у дроселі, трансформаторі, провідниках, у електродах, кВт; ΔE - теоретично потрібна витрата електроенергії на розплавку 1 т металу, кВт·год.
З аналізу виразу можна зробити такі висновки:

а) перший доданок - витрата електроенергії на розплавлення 1 т сталі, залежить від ККД печі та теплових втрат печі;

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

б) витрата енергії на кипіння та рафінування обернено пропорційна масі шихти;

в) витрата енергії, пов'язана з простоєм печі, також обернено пропорційна масі шихти і прямо пропорційна часу простою печі, отже, значно залежить від способу завантаження печі.

Отже, заходи з енергозбереження повинні в першу чергу передбачати: збільшення маси шихти і вдосконалення підготовки сировини; зменшення електричних і теплових втрат печі; зменшення простоїв печі; оптимізацію електричних та технологічних режимів роботи печі.

7.2 Збільшення маси сировини та удосконалення підготовки шихти

Збільшення маси шихти. Відносні витрати електроенергії залежать від ваги вантажу, тому доцільно перенавантажувати печі за об'ємом, збільшуючи його порівняно з номінальною вантажопідйомністю. Можливе перенавантаження печі за об'ємом залежить від потужності пічного трансформатора, розмірів ванни печі, міцності футерівки. Залежно від цих факторів для кожної печі слід обрати оптимальне значення перенавантаження (Таблиця 7.1).

Таблиця 7.1 - Оптимальна маса завалки в дугових сталеплавильних печах

Номінальна ємність печі, т	При розплавленні рядових сталей, т	При розплавленні сталей підвищеної якості, т
0,5	0,80-0,90	0,7-0,8
1,5	2,30-2,50	2,0-2,2
3,0	4,40-5,0	3,8-4,2
5,0	7,50-8,0	6,0-7,0
8,0	11,0-13,0	9,6-11,0
10,0	14,0-16,0	12,0-13,0
15,0	20,0-23,0	18,0-20,0
20,0	28,0-31,0	24,0-28,0
30,0	40,0-42,0	35,0-38,0
40,0	50,0-55,0	46,0-50,0

Для оцінки ефективності перенавантаження печі можна використовувати залежність зміни витрат електроенергії від ваги плавки (Рис. 7.1).

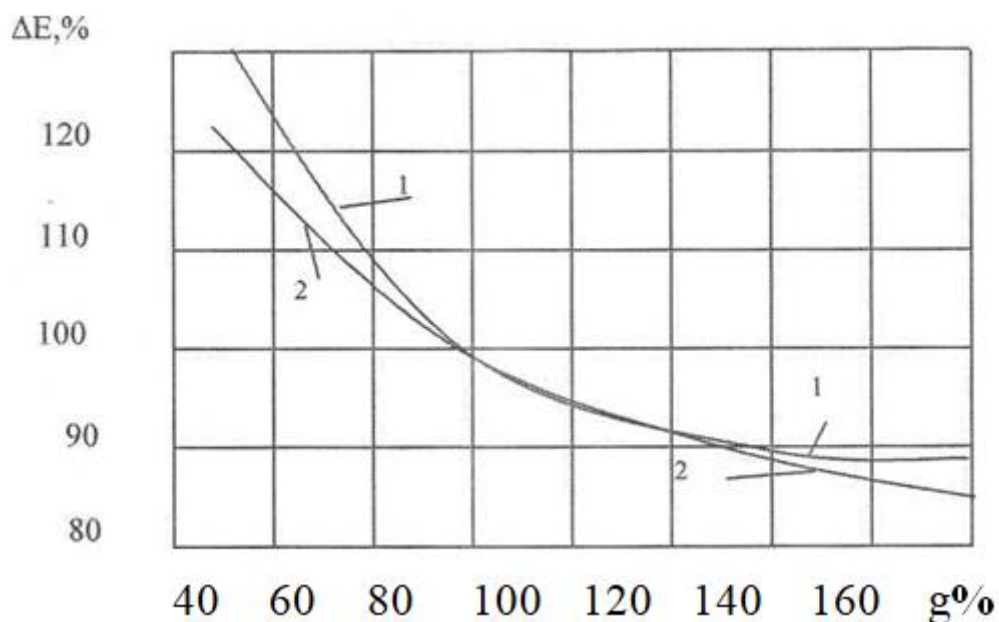


Рисунок 7.1 - Залежність зміни витрат електроенергії від ваги плавки.

Приклад. Електропіч з номінальною вантажопідйомністю 5 т при середньому навантаженні 4,5 т з витратою енергії 750 кВт·год/т.

Розроблені заходи дозволяють підвищити масу вантажу до 7 т, тобто до 140 % номінальної вантажопідйомності. З Рис. 7.1 (крива 2) визначаємо витрати електроенергії до проведення заходів зі збільшення навантаження і після, які в даному випадку становлять відповідно 102 і 89 % витрат енергії при 100 % - відсотковому використанні вантажопідйомності печі.

Визначаємо економічний ефект розроблених заходів:

$$\Delta E_1 = 1,02 \Delta E_n = 1,02 \cdot 750 = 765 \text{ кВт} \cdot \text{год};$$

$$\Delta E_2 = 0,89 \Delta E_n = 0,89 \cdot 750 = 667,5 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Досягнута економія енергії, віднесена до 1 т виплавленої сталі, становить:

$$\Delta E = \Delta E_1 - \Delta E_2 = 97,5 \text{ кВт} \cdot \text{год/т}.$$

Попередня підготовка шихти. Шихта до завантаження в піч має бути підготовлена таким чином, щоб в процесі плавки уникнути додаткових "підвалок". Це досягається за допомогою підбору оптимальної об'ємної маси шихти, яка для печей з вантажопідйомністю 1-5 т має складати 3-4,5 т/м³. Для отримання оптимальної величини об'ємної маси шихти лом і відходи підбирають у певних поєднаннях. Так, для печей з вантажопідйомністю 10-40 т рекомендується наступне співвідношення: 20 % дріб'язку, 40 % великого і 40 % середнього лому. Можна вважати оптимальним співвідношенням між великою та дрібною шихтою приблизно 60-70:40-30 %.

Правильний підбір шихти не обмежується лише підбором за габаритами, важливий і якісний саме склад шихти, яка підбирається. Використання відходів і скрапу легованої сталі дозволяє при плавці окремих сортів сталі значно скоротити тривалість окислювального періоду, зменшити витрати легуючих елементів та розкислювачів і зменшити витрати електроенергії.

Поміж підбором шихти також важливе правильне розташування її в робочому просторі печі: на дно кладеться половина дрібного лому, під електродами в центрі печі щільно розміщуються найбільші куски лому, і далі все це закривається спочатку середніми кусками, а зверху дріб'язком. Під кожен електрод завантажуються кокс для полегшення запалювання та стійкого горіння електричних дуг.

Економія електроенергії за рахунок підбору шихти, яка дозволяє плавити без додаткових "підвалок", складає 5-10 % загальної витрати електроенергії.. Якщо при цьому зменшиться тривалість окислювального періоду, то економія електроенергії буде становити 10-16 % загальної витрати електроенергії на плавку шихти.

Приклад 1. На одному з підприємств підбір габаритної шихти зменшив час плавки 15-тонної печі з 11 годин до 8 годин, що призвело до зниження витрат електроенергії з 1179 до 985 кВт·год/т.

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

Приклад 2. Якісний підбір шихти на машинобудівному заводі дав змогу проводити плавки без окислення. Це призвело до скорочення часу плавки на 4-тонній печі з 8 годин 20 хв. до 5 годин 50 хв. і зниження витрати електроенергії з 1186 до 994 кВт·год/т, а на 5-тонній печі - зменшення витрати енергії з 1026 до 820 кВт·год/т.

При плануванні організаційно-технічних заходів з економії енергії можна приблизно оцінювати економічний вигаиш від впровадження заходів з удосконалення підбору шихти у розмірах 5-15% від фактичних питомих витрат на плавку металу, що були враховані в попередньому плануванні на рік.

Попереднє нагрівання шихти є однією з найбільш енергоємних операцій у електропечах. Нагрівання та розплавлення твердої завалки займають близько половини часу всього процесу плавлення, при цьому витрачається 60-70% загальної електроенергії, споживаної на плавлення. Під час цього періоду питома витрата електроенергії становить 380-420 кВт·год/т. Таким чином, попереднє нагрівання шихти має значний вплив на зниження питомих витрат електроенергії. Крім того, попереднє нагрівання шихти до 600-700 °С покращує умови роботи пічного трансформатора за рахунок значного зменшення кидків струму. Це також поліпшує якість шихти, оскільки відбувається видалення вологи та вуглецю з забруднюючих шихтових матеріалів, а також дозволяє проводити весь період плавлення при включеному дроселі.

Особливо ефективним є попереднє нагрівання шихти за рахунок тепла відхідних газів з температурою близько 1000 °С, якщо вони присутні у цеху від різних термічних установок. Також можна використовувати тепло охолоджувальних колодязів та інших джерел вторинних енергоресурсів. Для цього можуть бути використані спеціальні установки попереднього нагріву з мазутними або газовими пальниками. Проте використання таких установок має бути обґрунтоване техніко-економічними розрахунками, які підтверджують необхідність додаткових капітальних вкладень і додаткових

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

витрат на паливо. Попереднє нагрівання шихти до температури 600-700 °С забезпечує скорочення питомих витрат електроенергії на 20%.

Якщо температура попереднього нагрівання шихти відрізняється від 600-700 °С, можна скористатися наступною приблизною залежністю:

$$\Delta E = 0,243 t_1^0,$$

де ΔE - економія енергії з розрахунку на 1 т виплавленого металу, кВт·год/т.; t_1^0 — температура попереднього нагрівання шихти, °С.

7.3. Зниження електричних витрат

Ефективні густини струму в складових частинах додаткового електричного проводу. Здійснюючи аналіз роботи дугових печей для плавлення сталі, можна рекомендувати оптимальні густини струму в складових частинах додаткового електричного проводу:

- мідні шини з площею перерізу пакету на фазу до 5000 мм² - 1,5-2 А/мм², при площі перерізу вище 5000 мм² - 1-1,5 А/мм²;
- мідні гнучкі кабелі з площею перерізу на фазу до 4000 мм² - 1,8-2,5 А/мм², при площі перерізу вище 4000 мм² - 1,2-1,8 А/мм²;
- мідні водяноохолоджувані труби - 4-6 А/мм².

У Таблиці 7.2 наведені вказані економічні густини струму у відсотках до загальних витрат електроенергії на плавлення, а в Таблиці 7.3 - відповідні значення витрат.

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

Таблиця 7.2 - Економічна щільність струму в електродах

Діаметр електроду, мм	Вугільний електрод		Графітізований електрод	
	Густина струму, А/мм ²	Струм навантаження, А	Густина струму, А/мм ²	Струм навантаження, А
100,0	—	—	0,300	1,71-2,91
150,0	0,120	2,10	0,250	3,20-5,30
200,0	0,110	3,40	0,220	5,30-9,10
250,0	0,100	4,00	0,200	7,80-12,20
300,0	0,100	7,00	0,180	11,30-16,90
350,0	0,100	9,60	0,170	15,40-20,20
400,0	0,090	11,30	0,160	18,80-23,80
450,0	—	—	0,150	23,80-28,60
500,0	0,090	17,70	0,140	27,50-33,30
550,0	—	—	0,140	28,40-38,01
600,0	0,070	25,00	—	—

При підвищенні густини струму в складових частинах додаткового електричного проводу збільшуються втрати електроенергії, а також питомі витрати на плавку. Для орієнтовних розрахунків можна використовувати умовні коефіцієнти (Таблиця 7.4) збільшення втрат електроенергії в складових частинах додаткового електричного проводу, які віднесені до 1 тонни виплавленого металу при підвищенні густини струму понад економічний рівень.

Таблиця 7.3 - Втрати електроенергії при економічній щільності струму в електродах.

Складові елементи вторинного струмопроводу	Втрати електроенергії, %, для печей місткістю	
	0,5-5 т	8-20 т
Шини, кабелі та з боку НН	3,5-4,5	3-4
Вугільні	6-8	3-4
Графітізовані електроди	4-5	3-4

Втрати електроенергії визначаються за виразом:

$$\Delta E = \kappa \left(\frac{j_{\Phi}}{j_e} - 1 \right)$$

де ΔE - втрати електроенергії кВт·год/т;

κ - коефіцієнт підвищення втрат (із Табл. 7.4);

j_{Φ} – значення фактичної щільності струму А/мм²;

j_e – значення економічної щільності струму, А/мм².

Таблиця 7.4 - Коефіцієнти збільшення втрат електроенергії в складових частинах додаткового електричного проводу за кожну тону виплавленого металу при підвищенні густини струму.

Елементи вторинного струмопроводу	Основний процес		Кислий процес	
	Фасонне лиття	Лиття злитків	Фасонне лиття	Лиття злитків
Печі ємністю 0,5-5 т				
Шини, кабелі і труби НН	25	28	23	26
Вугільні електроди	43,8	49	40,5	45,5
Графітізовані електроди	28,1	31,5	25,8	29,3
Печі ємністю 8-20 т				
Шини, кабелі і труби НН, електроди	21,9	24,5	20,1	22,8

Приклад. Відповідно до умови, електропіч ємністю 5 т працює з густинами струму в мідних шинах на стороні нижнього нагріву на рівні 2,2 А/мм² для основного процесу виплавки низьколегованої сталі в злитках.

З урахуванням економічної густини струму $i_e = 2$ А/мм² та коефіцієнта збільшення втрат $\kappa = 28$ (згідно з Таблицею 7.4),

Відповідно,

$$\Delta E = 28 \left(\frac{2,2}{2} - 1 \right) = 2,8 \text{ кВт·год/т.}$$

Зниження опору електричних контактів. Електричний опір контактів залежить від матеріалу та характеру виконання контакту

(роз'ємного або нероз'ємного). Нероз'ємні контакти, як правило, є зварними.

У роз'ємних контактах опір переходу залежить від стану контактних поверхонь і тиску в контакті, виражається у Омах за допомогою формули:

$$R = C / (p^m),$$

де:

R - опір переходу;

C - розрахунковий коефіцієнт, залежний від матеріалу контакту;

m - показник степені (зазвичай 0,5-1);

p - тиск в контакті, для мідних шин зазвичай 60 МПа (600 кгс/см²).

Нижче наведені значення розрахункових коефіцієнтів C залежно від матеріалу контакту:

Матеріал контакту	C·10 ⁴
Мідь-мідь	0,8-1,4
Мідь-мідь (луженні)	0,9-1,1
Мідь-сталь	30
Мідь-алюміній	10
Сталь-сталь	75-80

Підтвердження контакту проводиться за допомогою щупа товщиною 0,02-0,03 мм. Якщо щуп занурюється в контакт не більше, ніж на 5 мм, то з'єднання вважається надійним.

Для забезпечення нормальної роботи контактного з'єднання рекомендуються наступні густини струму, виражені в А/мм²:

Мідь-мідь	0,3
Алюміній-алюміній	0,16
Мідь-алюміній	0,13
Мідь-сталь	0,1
Алюміній –сталь	0.08

Опір контактів регулярно перевіряється; при цьому важливо, щоб опір контакту не перевищував опір цілої ділянки шини тієї ж самої довжини, що й контактне з'єднання, на більш як 20 %.

Збільшення опору контакту призводить до додаткових втрат потужності, які визначаються за формулою:

$$\Delta P_k = 3I^2(R_k - R_{k,\phi}) \cdot 10^{-3},$$

де:

P - додаткові втрати потужності, кВт;

I - струм, що проходить через контакт (середній під час плавлення), А;

R_k - опір контакту, який відповідає опорі цілої ділянки шини тієї ж самої довжини, що і контактне з'єднання, Ом;

$R_{k,\phi}$ - фактичний опір контакту, Ом.

Зменшення опору контакту між електродом і електродотримачем залежить від ступеня затиску електрода в електродотримачі та матеріалу, з якого виготовлені електрод і електродотримач.

Рекомендується приймати зусилля затяжки електрода в електродотримачу на рівні (4-5)G, де G - повна маса електродної свічі, в кілограмах.

Опір контакту між електродом і електродотримачем не повинен перевищувати значень, вказаних в Таблиці 7.5. Збільшення опору контакту порівняно з рекомендованими значеннями призводить до зростання втрат електроенергії. Розрахунок цих додаткових втрат проводиться за вищезазначеною формулою.

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

Таблиця 7.5- Опір контакту між електродом і електродотримачем

Електроди	Електродотримач	Опір контакту , мОм
Графітізовані	Латунний	0,080
Вугільні	-	0,420
Графітізовані	Стальний	0,350

Зменшення опору електродної свічі. Опір електродної свічки залежить від матеріалу електрода та якості контактів. Щоб забезпечити хороший щільний з'єднок при закручуванні свічки, рекомендується застосовувати наступні зусилля в залежності від діаметру електрода:

Діаметр електроду, мм	100,0	200,0	250,0	300,0	355,0
Зусилля яке прикладається, (кгс-м)	Н-м 70(7)	280(28)	590(59)	830(83)	1460(146)

Для зменшення опору контакту вугільних електродів рекомендується використовувати графітову пасту.

При дотриманні вказаних умов нормальними опорами з'єднання вважаються наступними: для графітізованих електродів - 0,065 мОм; для вугільних електродів - 0,2 мОм. При цьому можна приблизно визначити, що втрати в стиках становлять відсоток від загальної витрати електроенергії за період плавки наступним чином: для графітізованих електродів - 0,4 %; для вугільних електродів - 0,2 %.

Для оцінки додаткових втрат електроенергії, що виникають внаслідок збільшення опору контактів на стиках, достатньо збільшити ці втрати пропорційно збільшенню опору порівняно з нормальними значеннями.

Приклад. Опір з'єднань вугільних електродів становить 0,3 мОм. Це означає, що втрати загальної електроенергії за період плавки $\Delta E = 0,3 - 1,1/0,2$ дорівнюють 1,65%, тобто вони зростуть на 0,55% у порівнянні з нормальними умовами.

Зміна схеми короткої мережі. Найбільш розповсюдженою схемою короткої мережі є трикутник на шинах трансформатора та зірка на електродах (Рис. 7.2, а). Ця схема характеризується великою індуктивністю і несиметричним розподілом навантаження по фазах, що негативно впливає на роботу печі.

Кращі характеристики мають такі схеми: несиметричний трикутник на електродах [двохбіфільна коротка мережа (Рис. 7.2, б)] і симетричний трикутник з електродами з четвертим рукавом [так звана трьохбіфільна коротка мережа (Рис. 7.2, в)].

При реалізації двох останніх схем споживання міді збільшується на 15-20% порівняно з першою схемою, оскільки у цих схемах струмопровід розраховується не на лінійний струм, а на подвійний фазний (прямий і зворотний). Однак ці схеми усувають недоліки першої: зменшується індуктивність і вирівнюється розподіл навантаження по фазах, що підвищує коефіцієнт потужності та дозволяє збільшити середню активну потужність печі.

В результаті застосування трьохбіфільної короткої мережі, порівняно з першою схемою, для печі ємністю 5 тонн тривалість плавки скоротилася на 15-20%, а витрати електроенергії зменшилися на 9 кВт-год/т. За попередніми розрахунками, можна припустити, що така зміна короткої мережі забезпечить економію енергії в розмірі 1,4-1,5% від фактичних питомих витрат електроенергії протягом минулого звітного року.

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

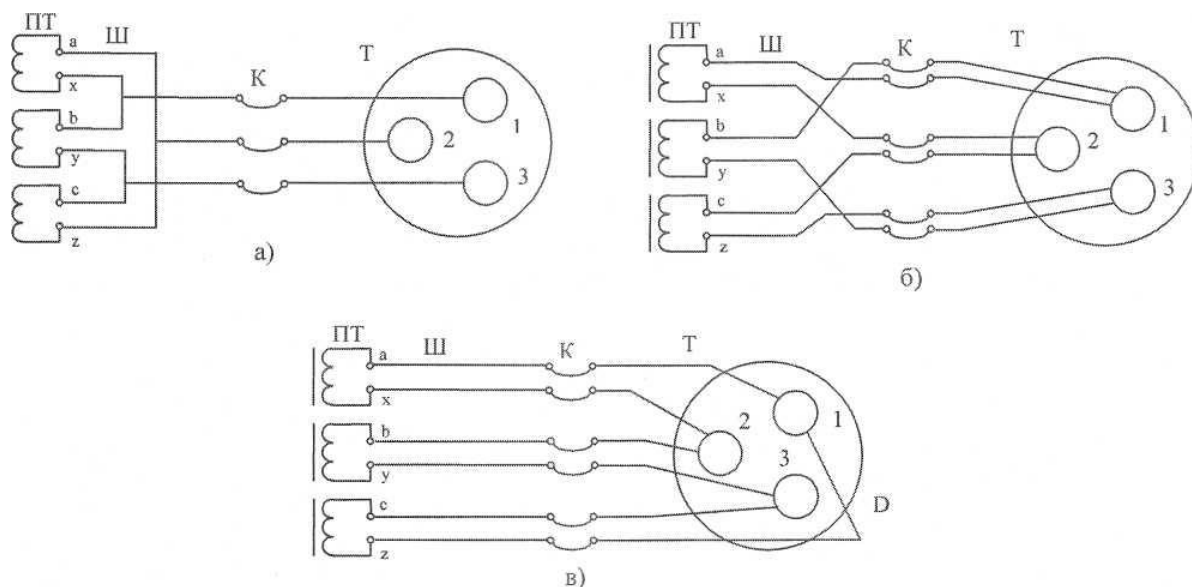


Рисунок 7.2 - Схеми короткої мережі.

а - трикутник на шинах трансформатора та зірка на електродах;

б – з'єднання несиметричного трикутника на електродах;

в - з'єднання симетричної трикутної на електродах з четвертим рукавом;

ПТ - пічний трансформатор;

Ш - шини;

К - гнучкі кабелі;

Т - струмопроводи в рукавах;

D - четвертий рукав;

1, 2, 3 - електроди.

7.4. Зменшення теплових втрат

Підвищення довговічності футерівки.

Загальні теплові втрати печі залежать від довговічності футерівки (частоти її заміни під час ремонтів), оскільки при цьому втрачається значна кількість тепла, накопиченого в кладці.

Довговічність футерівки можна підвищити за допомогою:

а) застосування високоякісних матеріалів для футерування;

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

б) вибору і підтримання оптимальної висоти склепіння над рівнем металу під час рафінування;

в) скорочення тривалості рафінування;

г) проведення швидких ремонтів теплоізоляції стін (використання великоблокової футерівки).

Застосування цих заходів підвищує довговічність футерівки печі в 1,5-3 рази і знижує теплові втрати на 10-15%. Потужність теплових втрат залежно від ємності печі та стану футерівки наведена в Табл. 6.6.

Втрати тепла з зовнішніх поверхонь печі можна оцінити у відсотках від загальних теплових втрат: для печей до 5 т — 40%; для печей понад 5 т — 49%.

Таблиця 7.6 - Потужність теплових втрат залежно від ємності печі та стану футерівки.

Місткість печі, т	Потужність теплових втрат, кВт	
	Нова футерівка	Вироблена футерівка
2,0	250,0	350,0
3,0	350,0	400,0
5,0	375,0	500,0
10,0	425,0	625,0

Розрахунок очікуваної ефективності від реалізації зазначених заходів можна провести наступним чином: на основі відповідної потужності теплових втрат ΔP_T (Табл. 7.6) визначається потужність теплових втрат із зовнішніх поверхонь печі в кіловатах.

$$\Delta P_{T,\Phi} = (0,4 - 0,49) \Delta P_T$$

Як відомо, збільшення довговічності футерівки призводить до зниження теплових втрат на 10-15%. Приймаючи середнє значення, можна вважати, що це забезпечує зниження потужності теплових втрат в кіловатах: для печі до 5 т $\Delta P = 0,05 \Delta P_T$; для печей понад 5 т $\Delta P = 0,06 \Delta P_T$.

Помноживши отримане значення на час роботи печі за рік, можна визначити очікувану економію електроенергії.

Покращення якості футерівки печі

Для теплоізоляції стін і поду печі доцільно використовувати діатомову засипку шаром приблизно 50 мм, яка також виконує функцію демпфера, приймаючи зусилля при тепловому розширенні вогнетривкого шару. Щоб запобігти висипанню засипки через щілини в кожусі та забезпечити додаткову теплоізоляцію, зовнішню поверхню кожуха печі покривають листовим азбестом шаром 10-20 мм.

При належній теплоізоляції печі температура на поверхні кожуха при середньому зношенні футерівки не повинна перевищувати: для стін — 170°C; для поду — 140°C; для зводу — 300°C. Підтримання цих температур підвищує стійкість стін у 1,5 разу та знижує теплові втрати з поверхні кожуха у 1,5-2 рази.

Для визначення ефективності заходів щодо вдосконалення теплоізоляції можна користуватися вищезгаданою формулою. У цьому випадку зниження потужності теплових втрат у кіловатах становить: для печі до 5 т $\Delta P = 0,2\Delta PT$; для печей понад 5 т $\Delta P = 0,25\Delta PT$. Економія електроенергії визначається множенням зниження потужності теплових втрат на час роботи печі протягом року.

Покриття зовнішніх поверхонь оболонки печі алюмінієвою фарбою може сприяти зниженню втрат тепла через стіни та дно печі на 3-5 %. Це може призвести до зниження питомої споживаної електроенергії на 1-1,5 кВтгод/т, за умови регулярного підтримання якості фарбування.

Створення конічної футерівки з відповідною зміною конструкції оболонки печі може збільшити об'єм печі на 30-40 %, скоротити час розтоплення на 5-10 % та збільшити міцність футерівки в 1,5-2 рази. Це може призвести до зниження питомої витрати електроенергії в середньому на 5-7 %.

						Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При розрахунку ефективності впровадження цього заходу можна припускати можливе скорочення питомих витрат електроенергії в порівнянні з фактичними витратами перед реконструкцією для печей з загальною футерівкою на 6-7 % і для печей із кислотною футерівкою на 5-6 %.

Мінімізація втрат тепла через охолоджуючу воду. Втрати тепла через охолоджуючу воду можуть бути виміряні в кіловат-годинах:

$$\Delta E_{\text{о.в.}} = \frac{Q(t_1 - t_2)}{860},$$

де Q - обсяг води (зазвичай від 800 до 1800 літрів на 1 тонну виплавленої сталі), у літрах;

t₁, t₂ - температура води, яка надходить для охолодження і яка відводиться від печі.

Для зменшення витрат охолоджуючої води і збереження її оптимальної температури доцільно встановлювати в розгалуженнях охолодження автоматичні регулятори температури з установкою визначеного діапазону температур.

Зазвичай, у печах малої і середньої ємності цей захід може забезпечити заощадження електроенергії до 50 тисяч кіловат-годин на рік.

Оптимізація втрат тепла через відходячі гази. "Просмоктування" повітря через піч є одним із головних джерел таких втрат. Зниження його можна досягти шляхом створення надійних ущільнень у місцях прилягання дверей робочого вікна до арки, з'єднання своду з кожухом та ущільнення отворів своду в місцях проходження електродів. Впровадження цих заходів дозволяє значно знизити втрати електроенергії, що становить 3-5% від загальної витрати на плавку.

У зв'язку з ускладненістю визначення втрат через відхідні гази, в попередніх розрахунках можна приймати, що економія електроенергії після впровадження комплексу заходів зі створення надійного ущільнення електропечі складатиме:

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

Ємність печі, т	Економія електроенергії кВт·год/т
0,5-1,5	8,5
3-8	7,5
10-20	7,2
25-40	7,0

Зниження втрат тепла через випромінювання через вікна та отвори печі можна обчислити в кіловаттах:

$$\Delta p_H = C \alpha \left[\left(\frac{t_2}{100} \right)^4 - \left(\frac{t_1}{100} \right)^4 \right] \frac{F T_1}{860},$$

Де $C = 4,95$ - коефіцієнт випромінювання футерівки в калоріях на квадратний метр за годину;

α - коефіцієнт діафрагмування, що залежить від співвідношення розмірів вікон і товщини стінки;

t_1 - температура оточуючого повітря, в Кельвінах;

t_2 - температура у пічному просторі, також в Кельвінах;

F - площа відкритого вікна (дверці) в квадратних метрах;

T_1 - тривалість відкривання вікна в годинах.

Втрати тепла через відкриту дверці можна визначити за рекомендованими температурами для різних етапів процесу: для періоду завантаження ($t_2 = 1000-1200$ °C), розплавлення твердої шихти до появи рідкого металу ($t_2 = 1500$ °C), підігріву розплавленого металу ($t_2 = 1780$ °C), очищення печі від шламу та заправки поду ($t_2 = 1700$ °C).

Досвід показує, що потужність теплових втрат через відкрите вікно під час плавлення становить близько 450 кВт/м², а під час кипіння і рафінування - від 600 до 800 кВт/м².

Розрахунок ефективності заходів, спрямованих на скорочення тривалості операцій, пов'язаних з відкриттям робочого простору, можна проводити за допомогою наведеної формули.

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

7.5. Зменшення простоїв печі

Простій печі в звичайних умовах визначається періодом, необхідним для зливу металу, очищення печі та завантаження шихти. Цей простій залежить від ступеня механізації завантаження і зливу металу, а також від вдосконалення процесу експлуатації. Під час завалки шихти в піч електроенергія не подається, але нагріте тепло в кладці печі розсіюється через кожух та свод, тому після включення печі в мережу частина енергії витрачається на нагрівання футерівки. Втрати на нагрівання футерівки після звичайної перерви в роботі печі можуть досягати 15-20% від загальної підведеної електроенергії для наступного плавлення. Таким чином, скорочення часу завантаження шихти, яке залежить від ступеня механізації, в значній мірі визначається підвищенням продуктивності печі та зменшенням питомої витрати електроенергії.

Час, необхідний на завантаження шихти в піч, залежить від методу завантаження. При ручному способі завантаження (для печей з об'ємом до 15 тонн) цей процес зазвичай займає:

Ємність печі, т	1,5-2,0	3,0-4,0	5,0-6,0	10-12
Період завантаження, хв.	8,0-12,0	12,0-20,0	20,0-25,0	35-45

Час механізованого завантаження значно скорочується: при мульдовому способі завантаження печі об'ємом 25-35 т він становить 30-35 хвилин, а при механізованому завантаженні зверху не перевищує 5-10 хвилин. Одним з найкращих методів є механізоване завантаження зверху, яке забезпечує економію електроенергії на 7-8 %.

Вплив перерв і затримок на питому витрату електроенергії можна оцінити в залежності від тривалості простоїв з відключенням печі, враховуючи втрати енергії на простій роботи печі, кВт·год/т.

$$\Delta E_{y,\phi} = \frac{[P_0 t + P_{\text{НОМ}} (24 - t)] E_{\text{НОМ}}}{P_{\text{НОМ}} (24 - t)},$$

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

Де $P_{\text{ном}}$ - номінальна потужність печі, кВт;

P_0 - потужність холостого ходу, кВт;

t - число годин простою печі на протязі доби;

$E_{\text{ном}}$ - номінальна витрата електроенергії кВт·год/т.

На Рисунку 7.3 наведені графіки питомих витрат енергії у залежності від тривалості відключення печі.

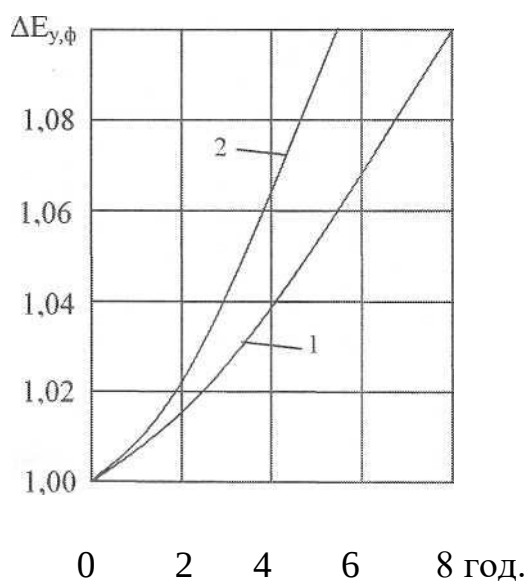


Рисунок 7.3 - Зміна питомої витрати електроенергії залежно від тривалості простоїв печі.

Лінія 1 відповідає випадку, коли потужність холостого ходу (P_0) становить 20% від номінальної потужності печі ($P_{\text{н}}$), а лінія 2 - коли P_0 дорівнює 30% $P_{\text{н}}$.

Приклад. Печ з ємністю 5 т має фактичну витрату електроенергії 930 кВт·год/т і працює з добовим простоєм 6,5 годин. Після механізації завантаження тривалість простою зменшилась до 1,5 годин. Втрати холостого ходу для цієї печі складають 30% від номінальної потужності.

Значення номінальної питома витрата

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

$$\Delta E_{y, \text{ном}} = \frac{E''_{\phi}}{1,075} = \frac{930}{1,075} = 865,1 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{т}.$$

Фактична питома витрата енергії після впровадження заходів щодо скорочення простою печі до 1,5 годин на добу обчислюється за таким виразом:

$$\Delta E''_{y, \phi} = 1,01 \cdot 865,1 = 873,8 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{т}.$$

де 1,075 і 1,01 - коефіцієнти зростання питомих втрат енергії залежно від простою печі по кривій 2 Рисунок 7.3.

Отримана економія енергії, віднесена до 1 тонни виплавленого металу, обчислюється так:

$$\Delta E = E'_{\phi} - E''_{\phi} = 930 - 873,8 = 56,2 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{т}.$$

7.6. Оптимізація режимів роботи електропечей

Ефективність роботи печі при оптимальних електричних режимах. Оптимальний електричний режим печі встановлюється відповідно до найбільш підходящої активної потужності для кожного технологічного процесу.

Значення середньої активної потужності (P_{cp}), що визначає оптимальний електричний режим, приблизно

$$\text{плавлення } P_{\text{cp}} = 500G^{3/4} \text{ кВт};$$

$$\text{окислення } P_{\text{cp}} = 380G^{3/4} \text{ кВт};$$

$$\text{визначаються: відновлення } P_{\text{cp}} = 205G^{3/4} \text{ кВт},$$

де G - маса завантаження, т.

При оптимальних режимах роботи печі тривалість плавки скорочується на 10-25%, а питома витрата електроенергії зменшується на 8-15%.

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

Перехід до використання кислої футерівки в електропечах, особливо для плавлення вуглецевої сталі для фасонного лиття, є досить ефективним заходом для зменшення споживання електроенергії. Печі з кислою футерівкою мають кілька переваг порівняно з традиційними: вони відзначаються більшою продуктивністю, потребують менше вогнестійких матеріалів, флюсів і розкислювачів, швидше нагрівають рідкий метал і отримують сталь з вищою текучістю, а також мають менші виробничі витрати.

Відчутна економія електроенергії і електродів, яка може скластися до 15-20% при переході на кислоту футерівку, робить цей захід досить вигідним. Така заощадження може окупити додаткові витрати на використання відбірної металічної шихти з низьким вмістом сірки і фосфору.

Використання продувки кисню в печах сприяє зменшенню витрати електроенергії та підвищенню продуктивності, скорочуючи час плавлення і окислення металу. Це може призвести до скорочення часу роботи та витрати електроенергії в подальших періодах плавлення завдяки більш ефективному нагріванню металу в кінці цього процесу. Однак успішність застосування кисню залежить від методу його одержання та типу сталі, яку виплавляють. У середньому використання кисню може знизити питому витрату електроенергії на 5-15%.

Скорочення окремих етапів плавки в печах з основною футерівкою. Наприклад, окислювальний період може бути скорочений на половину або більше, частково поєднуючи процеси окислення і відновлення. Це досягається подачею вапна та частини руди в запалку разом з шихтою, що дозволяє зменшити питому витрату енергії на 80 кВт·год/т.

Також можливе скорочення відновлювального періоду за рахунок:

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

- безпосереднього розкислення сталі кусковим розкислювачем, що дозволяє скоротити тривалість цього періоду на 70 кВт·год порівняно зі звичайним розкислювачем через шлак молотими розкислювачами;

- використання пристрою для електромагнітного перемішування сталі в ванні.

Електромагнітне перемішування значно прискорює процеси розкислення та розчинення легуючих добавок у розплаві, а також забезпечує вирівнювання складу і температури сталі в відновлювальний період. Це дозволяє скоротити період відновлення на 25-40 хвилин і зменшити витрату електроенергії на плавку на 40-50 кВт·год/т. Ураховуючи, що для роботи пристрою електромагнітного перемішування потрібно 12-24 кВт·год/т, чиста економія становить близько 27 кВт·год/т.

Встановлення систем автоматичного керування рухом електродів. Має на меті забезпечення заданої активної потужності протягом періодів плавки, коли електроди підводяться до печі.

Використання сучасних систем автоматичного регулювання рухом електродів в дугових печах призводить до зменшення питомої витрати електроенергії у середньому на 8-10 %.

7.7. Робочі характеристики і явища переносу потужності

Робочі характеристики - це залежності основних параметрів печі від вторинного струму I_2 , в кА. Їх розраховують за наступними формулами:

Загальна активна потужність печі, у кВт

$$P_a = I_2 U_{2\phi} \cos \varphi$$

Потужність електричних втрат, у кВт

$$\Delta P_{п.ел} = 3 I_{2л}^2 R 10^3$$

Потужність на дузі, у кВт

$$P_d = P_a - \Delta P_{п.ел}$$

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

Коефіцієнт потужності

$$\cos \varphi = \sqrt{1 - \left(\frac{I_L X_{cp}}{U_\phi} \right)^2}$$

ККД

$$\eta = \frac{P_d}{P_a}$$

Активна складова фазної напруги в трифазній системі може бути обчислена за формулою:

$$U_{\phi.a} = I \left(R + \frac{\sqrt{3}}{2} \omega M_{12} + \frac{\sqrt{3}}{2} \omega M_{13} \right)$$

Де M_{12} , M_{13} - коефіцієнти взаємоіндуктивності між першою і другою фазами і першою і третьою фазами;

R - активний опір першої фази.

Отже, зазначені відносини вказують на те, що взаємна індуктивність між крайньою і середньою фазою є більшою, ніж між крайніми фазами, коли маємо магнітну несиметрію. Це може бути особливо помітно для електродів, розташованих в одну лінію.

У виразах $M_{12} - M_{13} > 0$, $M_{21} - M_{23} = 0$ та $M_{31} - M_{32} < 0$:

- M_{12} , M_{21} , M_{13} , M_{31} , M_{23} і M_{32} представляють взаємну індуктивність між відповідними фазами.

- Позитивне значення $M_{12} - M_{13}$ вказує на те, що взаємна індуктивність між першою та третьою фазами більше, ніж між першою та другою фазами.

- Рівність $M_{21} - M_{23} = 0$ вказує на те, що взаємна індуктивність між другою та третьою фазами дорівнює нулю.

- Негативне значення $M_{31} - M_{32}$ вказує на те, що взаємна індуктивність між третьою та другою фазами менше, ніж між третьою та першою фазами.

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

Так, ці явища переносу потужності відомі як навантаження одних фаз на печі з певною фазовою конфігурацією може призводити до збільшення активного опору та зменшення активного опору іншій фазі. Наприклад, вищий струм в "диких" фазах може впливати на розподіл потужності та току між електродами, що може негативно вплинути на ефективність та економічні показники печі.

Це явище переносу потужності може бути важливим фактором для розуміння та оптимізації роботи печей, особливо з точки зору розподілу навантаження та збалансування електричних параметрів між фазами. Для підтримки оптимальної продуктивності та енергоефективності важливо ретельно враховувати ці фактори при проектуванні та експлуатації електропечей.

7.8. Оптимальний електричний режим розплавлення металу.

Добова продуктивність

Вибір оптимального електричного режиму для розплавлення металу в електропечі дійсно важливий для забезпечення ефективного та швидкого процесу. Оптимальний режим повинен забезпечити швидке розплавлення шихти та нагрівання металу до необхідної температури, зменшуючи при цьому питому витрату електроенергії.

Для визначення оптимального режиму проводять порівняльний аналіз між швидкістю зміни питомої витрати електроенергії та часом розплавлення в залежності від струму. Це дозволяє встановити той струм, при якому досягається найкращий баланс між швидкістю розплавлення та ефективністю енергоспоживання.

Важливо також врахувати різні параметри, такі як склад шихти, розміри та ємність печі, щоб забезпечити оптимальний режим для конкретних умов роботи. Такий підхід допомагає максимізувати продуктивність печі та знижувати витрати електроенергії.

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

Так, оптимальна величина струму обирається таким чином, щоб мінімізувати співвідношення між швидкістю зміни питомої витрати електроенергії та часом розплавлення. Це означає, що вибирається той струм, при якому ефективність використання електроенергії максимальна, а час, необхідний для розплавлення металу, мінімальний. Такий підхід дозволяє досягти оптимальних результатів у процесі роботи електропечі.

Тобто

$$\frac{dT_p}{dI} = -\frac{d\omega}{dI}$$

де T_p - час розплавлення металу; ω - питома витрата електроенергії.

Для цього розрахуємо і побудуємо залежності $\omega = f(I)$ і $T_p = f(I)$

$$T_p^* = \frac{P_{д.макс} - \Delta P_{тепл}}{P_{д} - \Delta P_{тепл}} ; \text{ в/о}$$

$$\omega^* = \frac{\Delta P_{тепл} + \Delta P_{ел}}{P_{д} - \Delta P_{тепл}} + 1 ; \text{ в/о}$$

Де $P_{д}$ - потужність на дузі для визначеного значення;

$\Delta P_{тепл}$ - середня потужність теплових втрат під час плавки;

$P_{д.макс}$ - максимальна потужність, що виділяється на дузі для відповідної ступені напруги;

$\Delta P_{ел}$ - потужність електричних втрат для відповідного значення струму.

Щодо добової продуктивності печі, вона може бути представлена виразом, який використовується для аналізу економічності роботи печі. Цей вираз може включати різні фактори, такі як ефективність переробки матеріалів, витрати електроенергії, тривалість плавки і т. д. Ця добова продуктивність може бути важливою для оцінки витрат і вибору оптимального режиму роботи печі з точки зору економічності:

$$G = \frac{24}{\frac{\omega}{S \cos \varphi \eta_{\text{ел}} - \Delta P_{\text{тепл}}} + \frac{t_{\text{пл, раф}}}{g} + \frac{t_{\text{пр}}}{g}}$$

де ω - оптимальна питома витрата на розплав 1 т металу, кВт·год/т;

g – величина ємності печі, т;

S - значення потужності трансформатора, кВА;

$t_{\text{пл раф}}$ - інтервал розплавлення та рафінування, год.;

$t_{\text{пр}}$ - інтервал простою.

Для визначення впливу простоїв і затримок на питому витрату енергії можна скористатися відповідною формулою:

$$\omega_{\text{факт}} = \omega_{\text{ном}} \left[\frac{\Delta P_{\text{хх}} t + P_{\text{ном}} (24 - t_{\text{пр}})}{P_{\text{ном}} (24 - t_{\text{пр}})} \right]$$

де $\omega_{\text{факт}}$ - питома витрата фактичного завантаження із урахуванням простою;

$\omega_{\text{ном}}$ - питома витрата номінального завантаження;

$t_{\text{пр}}$ - час простою протягом доби.

						Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

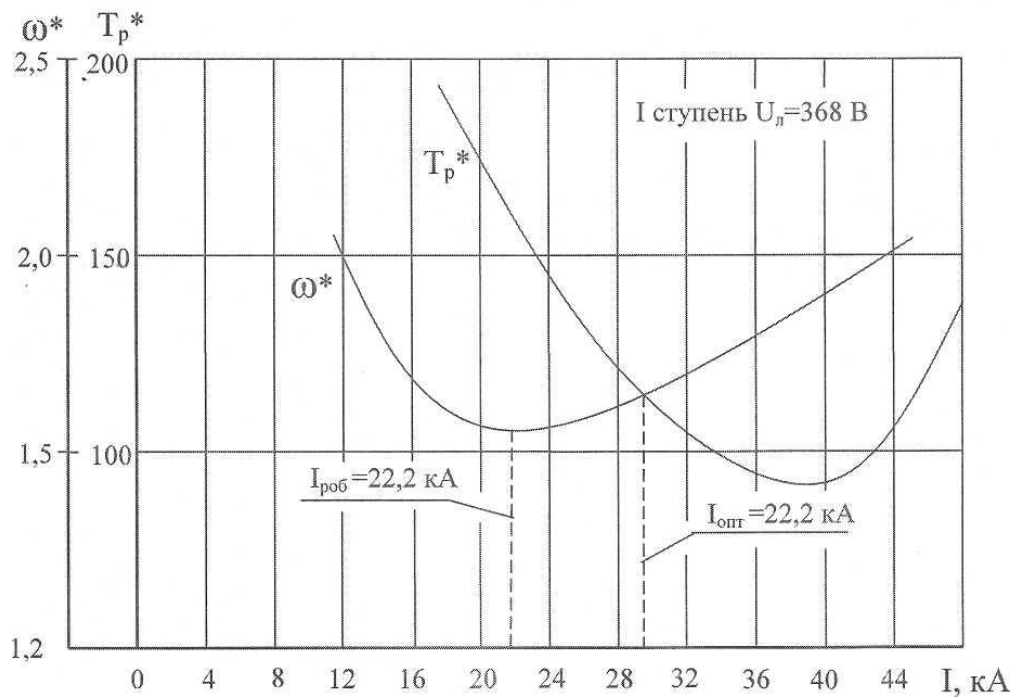


Рисунок 7.4 - Залежність T_p^* і ω^* від струму печі ДСП-80.

Коротке узагальнення заходів по енергозбереженню в дугових сталеплавильних печах точно відображає різноманітні аспекти, які варто враховувати для оптимізації роботи печей.

Технічні аспекти, що спрямовані на зменшення втрат енергії та оптимізацію процесу плавлення:

- покращення теплоізоляції,
- швидкі плавки;
- оптимальні режими;
- автоматизація контролю управління печами;
- забезпечення низької вологості шихти та її обігрів;
- робота печей на максимальну потужність;
- правильний вибір схеми короткої мереж.

Організаційні заходи, що також грають важливу роль у забезпеченні ефективності роботи печей і зменшенні витрат енергії, такі як:

- цілодобова робота;
- ефективне управління ресурсами.

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	73

ВИСНОВКИ

У даній кваліфікаційній роботі було розроблено схему електропостачання основного корпусу машинобудівного підприємства. Робота включала розрахунок електричних навантажень, визначення потужності та місць розташування цехових трансформаторних підстанцій (ТП). Під час порівняння зовнішніх схем електропостачання було виявлено, що передача електроенергії від системи електропостачання до підприємства за напругою 110 кВ, розташованого на відстані 6 км, є більш доцільною, ніж за напругами 10 кВ та 35 кВ.

Під час розрахунку струмів короткого замикання було враховано використання більш сучасного обладнання.

Важливим аспектом у розробці кваліфікаційної роботи є компенсація реактивної потужності. Використання компенсуючих пристроїв дозволяє не лише збільшити ефективність потужності електроустановки, а також покращити якість електричної енергії. При низькому коефіцієнті потужності (менше 0,9) у мережах електропостачання виникають непродуктивні втрати електроенергії: нагрівання провідників, автоматичні відключення, серйозні аварії. Обрано потужність батарей конденсаторів та визначено місце їх розташування.

У спеціальному розділі розглянуто розробку заходів з енергозбереження у дугових сталеплавильних печах. В цьому розділі детально обгрунтовано технічні та організаційні заходи, які відіграють ключову роль у забезпеченні ефективності роботи печей та зменшенні витрат енергії.

						Арк.
						74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Шкрабець, Ф. П. Основи електропостачання : навч. посіб. / Ф. П. Шкрабець, П. Г. Плешков. - Кіровоград : РВЛ КНТУ, 2010. - 408 с.

2. Електротехнічні системи електроспоживання / [Плешков П. Г., Зінзура В. В., Гарасьова Н. Ю., Котиш А. І., Величко Т. В., Плешков С. П.]; під редакцією Заслуженого працівника освіти України, кандидата технічних наук, професора Плешкова П. Г. – М-во освіти і науки України, Центральноукр. нац. техн. ун-т. –Кропивницький : ЦНТУ, 2021.– 209 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. Електропостачання промислових підприємств : Підручник для студентів електромеханічних спеціальностей / В.І. Мілих, Т.П. Павленко. – Харків : ФОП Панов А. М., 2016. – 272 с.

5. Енергетичний інжиніринг та менеджмент : в 3-х ч. Ч. 1. Проектування ефективних енергетичних систем / П.Г. Плешков, С.В. Серебренніков, О.І. Сіріков, І.В. Савеленко; під редакцією Заслуженого працівника освіти України, кандидата технічних наук, професора Плешкова П.Г. – М-во освіти і науки України, Центральноукр. нац. техн. ун-т. – Кропивницький : ЦНТУ, 2018.– 156 с.

6. Основи ефективного використання електричної енергії в системах електроспоживання промислових підприємств : навч. посіб. / [Соловей О. І., Розен В. П., Плешков П.Г. та ін.] ; М-во освіти і науки України, Кіров. нац. техн. ун-т. – Кіровоград : КНТУ, 2015. – 287 с.

7. Енергоефективні системи освітлення для промислових та комунально-побутових споживачів / [Плешков П. Г., Орлович А. Ю., Серебренніков С. В., Бегун А. П., Різуненко А. О., Гарасьова Н. Ю., Зінзура В. В.] ; під редакцією Заслуженого працівника освіти України, кандидата

						Арк.
						75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

технічних наук, професора Плешкова П. Г. – М-во освіти і науки України, Центральноукр. нац. техн. ун-т. – Кропивницький : ЦНТУ, 2018. – 246 с.

8. Методичні вказівки до виконання дипломного проекту „Електропостачання промислових підприємств (Електропостачання заводу). П.Г. Плешков, А.І. Котиш, А.Ю. Орлович. Кіровоград: КНТУ, 2004 р.

9. Удосконалення систем управління приводом переміщення електродів дугових сталеплавильних печей: монографія / А. В. Люта. – Краматорськ : ДДМА, 2020. – 147 с.

10. Енергозбереження в теплотехнологічних установках : метод. рекомендації для самост. роб. студ. спец. 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» освітньо-професійної програми „Енергетичний менеджмент” і освітнього рівня магістр / [уклад.: В. В. Клименко, В. І. Кравченко], М-во освіти і науки України, Центральноукр. нац. техн. ун-т. – Кропивницький: ЦНТУ, 2018, 46 с.

						Арк.
						76
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТОК А

						Арк.
						77
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зм

Арк

№

Підпис

Дата

Арк.

Таблиця А1. Результати розрахунку електричних навантажень до 1000 В головного корпусу машинобудівного підприємства.

№	Назва групи споживачів	Кіл-ть ЕС	Р одного		Р сум.	m	K _n	cosφ	tgφ	Середнє		η _{сф}	K _м	Розрахункове навантаження		
			min	max						P _{ср} , кВт	Q _{ср} , квар			P _p , кВт	Q _p , квар	S _p , кВА
1	Штампувально-механічний цех	100	5	- 200	2800	40	0,25	0,80	0,75	700	525	28	1,38	967,16	525,00	1100,47
2	Арматурний цех	85	1	- 50	1800	50	0,25	0,65	1,17	450	526	72	1,22	550,91	526,11	761,77
3	Ресорний цех	100	5	- 150	2900	30	0,30	0,55	1,52	870	1321	39	1,28	1111,20	1321,08	1726,27
4	Матеріальні склади	20	10	- 30	150	3	0,60	0,90	0,48	90	44	20	1,19	106,86	43,59	115,41
5	Хімічний цех	86	2,2	- 40	1748,75	18	0,67	0,8	0,74	1168	865,9	86	1,1	1244,24	865,87	1515,87
6	Ковальсько-пресой цех (0.4 кВ)	150	10	- 100	3200	10	0,45	0,70	1,02	1440	1469	64	1,14	1647,73	1469,09	2207,54
7	Насосна	4	200	- 200	800	1	0,60	0,85	0,62	480	297	4	1,52	728,17	327,23	798,32
8	Пожежне депо	6	5	- 15	40	3	0,40	0,70	1,02	16	16	6	1,66	26,50	17,96	32,01
9	Ливарний цех (0.4 кВ)	100	10	- 30	1800	3	0,65	0,90	0,48	1170	567	100	1,06	1244,98	566,66	1367,87
10	Заводоуправління	20	5	- 15	75	3	0,70	0,80	0,75	53	39	20	1,13	59,30	39,38	71,19
11	Склад готової продукції	25	1	- 15	75	15	0,60	0,90	0,74	45	33	10	1,28	57,71	36,69	68,39
12	Термічний цех	130	10	- 100	2850	10	0,75	0,90	0,48	2138	1035	57	1,05	2252,33	1035,24	2478,86
13	Електромонтажний цех	30	10	- 30	1700	3	0,35	0,80	0,75	595	446	30	1,28	762,76	446,25	883,71
14	Компресорна	8	250	- 250	2000	1	0,60	0,80	0,75	1200	900	8	1,32	1589,32	990,00	1872,44
Всього по заводу		1191	1	- 400	19313	400	0,63	0,77	0,83	12259	10140	97	1,07	13104,28	10140,26	16569,5

						Aok.
3m	Aok	No	Ticnuc	Dama		

[illegible]

Зм.

Арк.

№

Підпис

Дата

Арк.

Продовження таблиці А2

1	2	3		4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Складське приміщення																

Зм

Арк

№

Підпис

Дата

Арк.

Продовження таблиці А2.

1	2	3		4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Всього										1 457	1 469			1 667	1 478	2 228
Відділення готової продукції																

Зм

Арк

№

Лінійс

Дата

Арк.

Продовження таблиці А2.

1	2	3		4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Всього										1 203	900			1 592	991	1 876
Всього по ТП № 9, 10																
силова	8	250		250	2 000	1	0,60	0,80	0,75	1 200	900	8	1,32	1 589	990	1 872
освітлювальна										3				3	1	
БК 0,4 кВ															0	
Всього на шинах 0,4 кВ ТП 9, 10										1 203	900			1 592	991	1 876
Втрати в трансформаторах														22	106	
Кількість трансформаторів:	3															
Номінальна потужність, кВА:	1000															
Коефіцієнт завантаження K _з =	0,65															
Всього на шинах 10 кВ ТП 9, 10														1 614	1 098	1 952
ТП № 11																
Насосна																
силова	4	200	-	200	800	1	0,60	0,85	0,62	480	297	4	2	728	327	798
освітлювальна										2				2	1	
Всього										482	297			730	328	801
Всього по ТП № 11																
силова	4	200		200	800	1	0,60	0,85	0,62	480	297	4	1,52	728	327	798
освітлювальна										2				2	1	
БК 0,4 кВ															-375	
Всього на шинах 0,4 кВ ТП 11										482	297			730	-47	732
Втрати в трансформаторах														9	43	
Кількість трансформаторів:	1															
Номінальна потужність, кВА:	1000															
Коефіцієнт завантаження K _з =	0,74															
Всього на шинах 10 кВ ТП 11														739	-3	739
ТП № 12																
Ливарний цех (0.4 кВ)																
силова	100	10	-	30	1 800	3	0,65	0,90	0,48	1 170	567	100	1	1 245	567	1 368
освітлювальна										39				44	21	
Всього										1 209	567			1 289	588	1 417
Всього по ТП № 12																
силова	100	10		30	1 800	3	0,65	0,90	0,48	1 170	567	100	1,06	1 245	567	1 368
освітлювальна										39				44	21	

Зм

Арк

№

Підпис

Дата

Арк.

Продовження таблиці А2.

1	2	3		4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
БК 0,4 кВ															-150	
Всього на шинах 0,4 кВ ТП 12										1 209	567			1 289	438	1 361
Втрати в трансформаторах														16	79	
Кількість трансформаторів:	2															
Номінальна потужність, кВА:	1000															
Коефіцієнт завантаження K_z =	0,70															
Всього на шинах 10 кВ ТП 12														1 305	517	1 404
ТП № 13																
Електроцех																

Зм

Арк

№

Підпис

Дата

Арк.

Продовження таблиці А2.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
ІЛК-6	4	3 000	3 000	12 000	1	0,70	0,35	2,68	8 400	22 482	4	1	11 405	24 730	27 233
ДСП-5	4	2 800	2 800	11 200	1	0,75	0,90	0,48	8 400	4 068	4	1	10 657	4 475	11 558
Всього високовольтного навантаження													22 062	29 205	
Всього по заводу на шинах 10кВ													33 635	34 232	47 991
Потужність КП 10,5 кВ														-29 700	
Всього на шинах 10 кВ з урахуванням КП													33 635	4 532	33 940

ДОДАТОК Б

						Арк.
						85
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця Б1 - Навантаження підприємства у відсотках від максимуму

№	Робочі дні		Вихідні дні	
	P, %	Q, %	P, %	Q, %
1	85	90	65	80
2	85	90	65	80
3	85	90	65	80
4	85	90	65	80
5	85	90	65	80
6	85	90	65	80
7	85	90	65	80
8	85	100	65	80
9	100	100	55	80
10	100	100	55	70
11	100	90	55	70
12	85	90	55	70
13	85	100	55	70
14	100	100	55	70
15	100	100	55	70
16	100	95	55	70
17	90	95	55	70
18	90	95	65	80
19	90	95	65	80
20	90	95	65	80
21	90	95	65	80
22	90	90	65	80
23	85	90	65	80
24	85	90	65	80

3M		
----	--	--

[illegible]

App.	
------	--

Продовження таблиці Б2.

№	Зимові дні						Літні дні					
	Робочі дні			Вихідні дні			Робочі дні			Вихідні дні		
	<i>P, кВт</i>	<i>Q, кВар</i>	<i>S, кВА</i>	<i>P, кВт</i>	<i>Q, кВар</i>	<i>S, кВА</i>	<i>P, кВт</i>	<i>Q, кВар</i>	<i>S, кВА</i>	<i>P, кВт</i>	<i>Q, кВар</i>	<i>S, кВА</i>
20	30272	32519	44428	21863	27385	35042	25732	27642	37765	18584	23277	29786
21	30272	32519	44428	21863	27385	35042	25732	27642	37765	18584	23277	29786
22	30272	30808	43192	21863	27385	35042	25732	26187	36714	18584	23277	29786
23	28591	30808	42031	21863	27385	35042	24302	26187	35726	18584	23277	29786
24	28591	30808	42031	21863	27385	35042	24302	26187	35726	18584	23277	29786

Таблиця БЗ - Річний графік навантаження за тривалістю

№	P, кВт	T, днів	T*P	T	№	P, кВт	T, днів	T*P	T
1	33636	147	4944492	147	29	28591	147	4202877	4011
2	33636	147	4944492	294	30	28591	147	4202877	4158
3	33636	147	4944492	441	31	25732	105	2701860	4263
4	33636	147	4944492	588	32	25732	105	2701860	4368
5	33636	147	4944492	735	33	25732	105	2701860	4473
6	33636	147	4944492	882	34	25732	105	2701860	4578
7	30272	147	4449984	1029	35	25732	105	2701860	4683
8	30272	147	4449984	1176	36	25732	105	2701860	4788
9	30272	147	4449984	1323	37	24302	105	2551710	4893
10	30272	147	4449984	1470	38	24302	105	2551710	4998
11	30272	147	4449984	1617	39	24302	105	2551710	5103
12	30272	147	4449984	1764	40	24302	105	2551710	5208
13	28591	105	3002055	1869	41	24302	105	2551710	5313
14	28591	105	3002055	1974	42	24302	105	2551710	5418
15	28591	105	3002055	2079	43	24302	105	2551710	5523
16	28591	105	3002055	2184	44	24302	105	2551710	5628
17	28591	105	3002055	2289	45	24302	105	2551710	5733
18	28591	105	3002055	2394	46	24302	105	2551710	5838
19	28591	147	4202877	2541	47	24302	105	2551710	5943
20	28591	147	4202877	2688	48	24302	105	2551710	6048
21	28591	147	4202877	2835	49	21863	65	1421095	6113
22	28591	147	4202877	2982	50	21863	65	1421095	6178
23	28591	147	4202877	3129	51	21863	65	1421095	6243
24	28591	147	4202877	3276	52	21863	65	1421095	6308
25	28591	147	4202877	3423	53	21863	65	1421095	6373
26	28591	147	4202877	3570	54	21863	65	1421095	6438
27	28591	147	4202877	3717	55	21863	65	1421095	6503
28	28591	147	4202877	3864	56	21863	65	1421095	6568

Продовження таблиці Б.3

№	P, кВт	T, днів	T*P	T	№	P, кВт	T, днів	T*P	T
57	21863	65	1421095	6633	86	18500	65	1202500	8263
58	21863	65	1421095	6698	87	18500	65	1202500	8328
59	21863	65	1421095	6763	88	15725	48	754800	8376
60	21863	65	1421095	6828	89	15725	48	754800	8424
61	21863	65	1421095	6893	90	15725	48	754800	8472
62	21863	65	1421095	6958	91	15725	48	754800	8520
63	21863	65	1421095	7023	92	15725	48	754800	8568
64	18584	48	892032	7071	93	15725	48	754800	8616
65	18584	48	892032	7119	94	15725	48	754800	8664
66	18584	48	892032	7167	95	15725	48	754800	8712
67	18584	48	892032	7215	96	15725	48	754800	8760
68	18584	48	892032	7263					
69	18584	48	892032	7311					
70	18584	48	892032	7359					
71	18584	48	892032	7407					
72	18584	48	892032	7455					
73	18584	48	892032	7503					
74	18584	48	892032	7551					
75	18584	48	892032	7599					
76	18584	48	892032	7647					
77	18584	48	892032	7695					
78	18584	48	892032	7743					
79	18500	65	1202500	7808					
80	18500	65	1202500	7873					
81	18500	65	1202500	7938					
82	18500	65	1202500	8003					
83	18500	65	1202500	8068					
84	18500	65	1202500	8133					
85	18500	65	1202500	8198					

ДОДАТОК В

						Арк.
						91
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зм		
Док		
№		
Підпис		
Дата		
Док.		

Таблиця В1. Розрахунок картограми навантаження

№ п/п	Найменування	Р _{рсил} , кВт	Р _{росв} , кВт	Р _р , кВт	m	R, мм	□	x, м	y, м	Р*x, кВт м	Р*y, кВт м
1	Штампувальний цех	967,16	20,948	988,71	0,5	25,09	7,85	105,00	240,00	103814,56	237290,43
2	Механічний цех	550,91	11,97	563,91	0,5	18,95	8,30	150,00	180,00	84586,47	101503,76
3	Інструментальний цех	1111,20	18,81	1130,35	0,5	26,83	6,10	150,00	132,00	169553,02	149206,66
4	Складське приміщення	106,86	3,24	109,88	0,5	8,36	9,91	150,00	87,00	16482,59	9559,90
5	Експериментальний цех	1244,24	21,375	1288,37	0,5	28,64	12,33	150,00	132,00	193255,32	170064,68
6	Ковальсько-пресовий корпус	1647,73	18,05	1666,81	0,5	32,57	4,12	150,00	87,00	250021,46	145012,45
7	ІЛК-6	11404,60	2,2624	11404,60	0,5	85,21	0,00	150,00	87,00	1710690,69	992200,60
8	Насосна	728,17	6,336	730,24	0,5	21,56	1,02	330,00	255,00	240977,90	186210,20
9	Депо	26,50	40,86	32,14	0,5	4,52	63,22	405,00	165,00	13017,86	5303,57
10	Ливарний цех	1244,98	7,144	1289,10	0,5	28,65	12,32	300,00	75,00	386729,99	96682,50
11	ДСП-5	10657,00	1,716	10657,00	0,5	82,37	0,00	300,00	75,00	3197098	799274,73
12	Адміністрація	59,30	20,33	65,78	0,5	6,47	35,46	60,00	279,00	3947,04	18353,76
13	Відділення готової продукції	57,71	5,9451	59,13	0,5	6,14	8,59	450,00	234,00	26606,66	13835,47
14	Термічний цех	2252,33	3,144	2272,44	0,5	38,04	3,19	330,00	219,00	749906,43	497665,18
15	Електроцех	762,76	5,62	768,58	0,5	22,12	2,73	465,00	84,00	357391,32	64561,01
16	Компресорна	1589,32	20,948	1592,22	0,5	31,84	0,66	303,00	156,00	482443,12	248386,56
17	Територія	0,00	11,97	6,28	0,5	2,00	360,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Всього по заводу	34410,79	214,76	34625,56						7986523,37	3735111,45

ДОДАТОК Г

						Арк.
						93
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця Г1. Розташування низьковольтних КП

ТП	n	P _p	Q _p	Q _{пр}	Q _{кп}	Q _{кп(ст)}	Q _p - Q _{кп}	K _з	S _p	Тип і потужн. БСК	K _i , тис грн
ТП № 1, 2	3	1 604	1 207	1355,66	0	0	1 207	0,67	2007,16	-	0
ТП № 3	2	1 245	1 445	639,69	805	800	645	0,70	1402,48	2х400	251,2
ТП № 4	2	1 278	947	572,49	374	400	547	0,69	1389,69	2х200	139
ТП № 5, 6	3	1 735	1 608	1183,85	424	525	1 083	0,68	2044,65	3х100, 3х75	196,8
ТП № 7, 8	3	2 301	1 182	0,00	1 182	1 200	-18	0,77	2300,87	3х400	376,8
ТП № 9, 10	3	1 610	1 080	1348,44	0	0	1 080	0,65	1938,52	-	0
ТП № 11	1	739	372	0,00	372	375	-3	0,74	739,20	2х150, 1х75	139,5
ТП № 12	2	1 304	662	509,14	153	150	512	0,70	1400,94	2х75	58,2
ТП № 13	1	781	512	0,00	512	500	12	0,78	781,54	2х250	164,1

Таблиця Г2. Розрахунок затрат на компенсацію РП.

Показник	Варіант		
	1	2	3
Потужність компенсуючих пристроїв в мережі 0,4 кВ	3950	2 750	1 950
Потужність компенсуючих пристроїв в мережі 10 кВ	29 700	31 500	31 950
Генерація реактивної потужності СД	0	0	0
Споживання реактивної потужності від енергосистеми	5 044	5 044	5 044
Всього по балансу	33 650	34 250	33 900
Затрати на компенсацію синхронними двигунами	0	0	0
Затрати на компенсацію БСК	2162,3	1 660,30	1 686,19
Сумарні затрати на компенсацію	2,162,3	1 660,30	1 686,19

ДОДАТОК Е

						Арк.
						95
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця Е1. Попередній вибір кабельних ліній 10 кВ

№ КЛ	S_p , кВА	n	I_p , А	$I_{p.ав}$, А	$F_{ек,2}$ мм ²	Марка кабеля	$I_{дон}$, А
КЛ 1, 2, 3	2025,08	3	37,12	74,23	33,74	ААШВ-3 х (3 х 50)	105
КЛ 4, 5	1404,95	2	38,63	77,25	35,11	ААШВ-2 х (3 х 50)	105
КЛ 6, 7	1393,41	2	38,31	76,62	34,83	ААШВ-2 х (3 х 50)	105
КЛ 8, 9, 10	2057,50	3	37,71	75,42	34,28	ААШВ-3 х (3 х 50)	105
КЛ 11, 12, 13	2300,96	3	42,17	84,35	38,34	ААШВ-3 х (3 х 50)	105
КЛ 14, 15, 16	1951,92	3	35,78	71,55	32,52	ААШВ-3 х (3 х 50)	105
КЛ 17	739,23	1	40,65	40,65	36,95	ААШВ-1 х (3 х 50)	105
КЛ 18, 19	1403,96	2	38,6	77,2	35,09	ААШВ-2 х (3 х 50)	105
КЛ 20	781,55	1	42,97	42,97	39,07	ААШВ-1 х (3 х 50)	105
КЛ 21, 22, 23, 24	11 558	4	158,9	158,9	144,4	ААШВ-4 х (3 х 150)	210
КЛ 25, 26, 27, 28	11 559	4	158,9	158,9	144,5	ААШВ-4 х (3 х 150)	210

Таблиця Е2. Результати розрахунку параметрів кабельних ліній 10 кВ

№ КЛ	l , км	r_0 , Ом/км	x_0 , Ом/км	R , Ом	X , Ом
1	0,075	0,62	0,09	0,0465	0,00675
3	0,075	0,62	0,09	0,0465	0,00675
4	0,141	0,62	0,09	0,08742	0,01269
6	0,252	0,62	0,09	0,15624	0,02268
8	0,045	0,62	0,09	0,0279	0,00405
11	0,081	0,62	0,09	0,05022	0,00729
13	0,081	0,62	0,09	0,05022	0,00729
14	0,159	0,62	0,09	0,09858	0,01431
17	0,228	0,62	0,09	0,14136	0,02052
18	0,21	0,62	0,09	0,1302	0,0189
21	0,21	0,21	0,08	0,0441	0,0168
25	0,045	0,21	0,08	0,00945	0,0036

Таблиця ЕЗ. Результати розрахунку струмів КЗ

<i>№ т. КЗ</i>	<i>R, Ом</i>	<i>X, Ом</i>	<i>I_к" , кА</i>	<i>T_а, с</i>	<i>K_у</i>	<i>i_{уд}, кА</i>
1	2,604	1,806	20,952	0,0046	1,113	32,987
2	0,038	0,487	13,005	0,0411	1,784	32,815
3	0,084	0,494	12,683	0,0187	1,585	20,106
4	0,084	0,494	12,683	0,0187	1,585	20,106
5	0,125	0,500	12,332	0,0127	1,455	17,949
6	0,194	0,510	11,648	0,0084	1,303	15,174
7	0,066	0,491	12,823	0,0238	1,657	21,252
8	0,088	0,494	12,653	0,0179	1,572	19,891
9	0,088	0,494	12,653	0,0179	1,572	19,891
10	0,136	0,501	12,228	0,0117	1,426	17,434
11	0,179	0,507	11,803	0,0090	1,330	15,701
12	0,168	0,506	11,917	0,0096	1,353	16,120
13	0,082	0,504	12,446	0,0196	1,601	19,920
14	0,047	0,490	12,889	0,0331	1,739	22,420

Зм	
Арк	
№	
Підпис	
Дата	
Адк.	

Таблиця Е4. Вибір кабелів напругою 10 кВ

№ КЛ	$S_p, \text{кВА}$	n	$I_p, \text{А}$	$I_{p.ав}, \text{А}$	$F_{ек}, \text{мм}^2$	Марка кабеля	$I_{дон}, \text{А}$	K_n	$K_n I_{дон}$	K_3	$K_{ан}$	K'_n	$K_{ан} K'_n I_{дон}$	$B_{ю}, \text{кА}^2 \text{с}$	$F_{мин}, \text{мм}^2$
КЛ 1, 2, 3	2025,08	3	37,12	74,23	33,743	ААШВ-3 х (3 х 95)	101	0,92	93,104	0,399	1,3	0,95	124,982	76,36	92,3
КЛ 4, 5	1404,95	2	38,63	77,25	35,115	ААШВ-2 х (3 х 95)	101	0,92	93,104	0,415	1,3	1	131,56	76,36	92,3
КЛ 6, 7	1422,87	2	39,12	78,24	35,563	ААШВ-2 х (3 х 95)	101	0,92	93,104	0,420	1,3	1	131,56	68,6	88,08
КЛ 8, 9, 10	2057,50	3	37,71	75,42	34,283	ААШВ-3 х (3 х 95)	101	0,92	93,104	0,405	1,3	0,95	124,982	58,8	81,6
КЛ 11, 12, 13	2300,96	3	42,17	84,35	38,339	ААШВ-3 х (3 х 90)	101	0,92	93,104	0,453	1,3	0,95	124,982	81,44	95,00
КЛ 14, 15, 16	1951,92	3	35,78	71,55	32,524	ААШВ-3 х (3 х 95)	101	0,92	93,104	0,384	1,3	0,95	124,982	75,52	92,44
КЛ 17	739,23	1	40,65	40,65	36,952	ААШВ-1 х (3 х 95)	101	0,92	93,104	0,437	1,3	-	-	75,52	92,44
КЛ 18, 19	1403,96	2	38,6	77,2	35,09	ААШВ-2 х (3 х 95)	101	0,92	93,104	0,415	1,3	1	131,56	66,8	86,96
КЛ 20	781,55	1	42,97	42,97	39,067	ААШВ-1 х (3 х 95)	101	0,92	93,104	0,462	1,3	-	-	60,8	82,92
КЛ 21, 22, 23, 24	11558,48	4	158,9	158,9	144,44	ААШВ-4 х (3 х 150)	184	0,92	169,28	0,939	1,3	0,87	208,104	62,24	84
КЛ 25, 26, 27, 28	11559,04	4	158,9	158,9	144,45	ААШВ-4 х (3 х 150)	184	0,92	169,28	0,939	1,3	0,87	208,104	74,12	91,6

Таблиця Е5. Вибір вимикачів напругою 110 кВ

Параметр вимикачі	Умови вибору	Розрахунок
Номинальна напруга	$U_{уст} \leq U_{ном}$	$110 \leq 110$
Довготривалий номінальний струм	$I_{роб.форс} \leq I_{ном}$	$183.7 \leq 3150$
Номинальний струм динамічної стійкості: - симетричний:	$I'' \leq I_{дин.ст}$	$20.95 \leq 52$
- асиметричний:	$i_y \leq 1.8\sqrt{2}I_{дин.ст}$	$32.987 \leq 132.27$
Номинальний струм відключення: - симетричний	$I_{н\tau} \leq I_{ном.відкл}$	$20.95 \leq 40$
- асиметричний	$\sqrt{2}I_{н\tau} + i_{a\tau} \leq \sqrt{2}I_{ном.відкл}(1 - \beta_n)$	$\sqrt{2} \cdot 2.95 + 0.02881 \leq \sqrt{2} \cdot 20 \cdot (1 - 0.3)$ $29.7 \leq 36.8$

Таблиця Е6. Вибір ввідного вимикача напругою 10.5 кВ

Параметр вимикачі	Умови вибору	Розрахунок
Номинальна напруга	$U_{уст} \leq U_{ном}$	$10.5 \leq 11$
Довготривалий номінальний струм	$I_{роб.форс} \leq I_{ном}$	$2426 \leq 2500$
Номинальний струм динамічної стійкості: - симетричний:	$I'' \leq I_{дин.ст}$	$13 \leq 102$
- асиметричний:	$i_y \leq 1.8\sqrt{2}I_{дин.ст}$	$32.815 \leq 259.65$
Номинальний струм відключення: - симетричний	$I_{н\tau} \leq I_{ном.відкл}$	$13 \leq 31.5$
- асиметричний	$\sqrt{2}I_{н\tau} + i_{a\tau} \leq \sqrt{2}I_{ном.відкл}(1 - \beta_n)$	$\sqrt{2} \cdot 13 + 4.297 \leq \sqrt{2} \cdot 31.5 \cdot (1 - 0.4)$ $22.689 \leq 26.729$
Номинальний тепловий імпульс (термічна стійкість)	$B_k \leq I_{TH}^2 t_{TH}$	$209.75 \leq 4800$

Таблиця Е7. Вибір секційного вимикача напругою 10.5 кВ

Параметр вимикачі	Умови вибору	Розрахунок
Номінальна напруга	$U_{уст} \leq U_{ном}$	$10.5 \leq 11$
Довготривалий номінальний струм	$I_{роб.форс} \leq I_{ном}$	$1213 \leq 1600$
Номінальний струм динамічної стійкості: - симетричний: - асиметричний:	$I'' \leq I_{дин.ст}$ $i_y \leq 1.8\sqrt{2}I_{дин.ст}$	$13 \leq 80$ $32.815 \leq 203.65$
Номінальний струм відключення: - симетричний - асиметричний	$I_{нт} \leq I_{ном.відкл}$ $\sqrt{2}I_{нт} + i_{ат} \leq \sqrt{2}I_{ном.відкл}(1 - \beta_n)$	$13 \leq 31.5$ $\sqrt{2} \cdot 13 + 4.297 \leq \sqrt{2} \cdot 31.5 \cdot (1 - 0.35)$ $22.689 \leq 28.956$
Номінальний тепловий імпульс (термічна стійкість)	$B_k \leq I_{ТН}^2 t_{ТН}$	$142.16 \leq 2976.8$

Таблиця Е8. Вибір вимикачів на відгалуженнях 10.5 кВ

Параметр вимикачі	Умови вибору	Розрахунок
Номінальна напруга	$U_{уст} \leq U_{ном}$	$10.5 \leq 11$
Довготривалий номінальний струм	$I_{роб.форс} \leq I_{ном}$	$158.9 \leq 630$
Номінальний струм динамічної стійкості: - симетричний: - асиметричний:	$I'' \leq I_{дин.ст}$ $i_y \leq 1.8\sqrt{2}I_{дин.ст}$	$13 \leq 52$ $32.815 \leq 132.27$
Номінальний струм відключення: - симетричний - асиметричний	$I_{нт} \leq I_{ном.відкл}$ $\sqrt{2}I_{нт} + i_{ат} \leq \sqrt{2}I_{ном.відкл}(1 - \beta_n)$	$13 \leq 20$ $\sqrt{2} \cdot 13 + 4.297 \leq \sqrt{2} \cdot 20 \cdot (1 - 0.3)$ $22.689 \leq 29.799$
Номінальний тепловий імпульс (термічна стійкість)	$B_k \leq I_{ТН}^2 t_{ТН}$	$74.5 \leq 1200$

Таблиця Е9. Вибір розрядників.

Тип	Ном. напруга, кВ	Ном. допустима напруга (діюче значення),кВ	Пробивна напруга при $f = 50$ Гц		Імпульс пробивної напруги , не більше, кВ	Найбільша залишкова напруга, кВ, при імпульсі струму з довжиною фронту хвилі 8 мкс та амплітуді, А		
			Не менше	Не більше		3000	5000	10000
РВМГ- 110М	110	100	170	195	260	245	265	295

Таблиця Е10. Вибір роз'єднувача напругою 110 кВ

Параметр роз'єднувача	Умови вибору	Розрахунок
Номінальна напруга	$U_{уст} \leq U_{ном}$	$110 \leq 110$
Довготривалий номінальний струм	$I_{роб.форс} \leq I_{ном}$	$183.7 \leq 1000$
Номінальний струм динамічної стійкості:	$i_y \leq I_{дин.ст}$	$32.989 \leq 80$
Номінальний тепловий імпульс (термічна стійкість)	$B_k \leq I_{TH}^2 t_{TH}$	$256.2 \leq 2976.8$

Таблиця Е11. Вибір трансформатора власних потреб

№ п/п	Споживачі	$P_{ном},$ кВт	n	$P_{сум},$ кВт	$\cos \varphi$	$\tan \varphi$	$P_{уст},$ кВт	$Q_{уст},$ кВар
1	Електродвигуни обдуву трансформаторів номі- нальною потужністю	7	4	28	0,8	0,75	28	21
2	Пристрої підігріву вими- качів 110 кВ	1,75	3	5,25	0,97	0,25	5,25	1,32
3	Пристрої підігріву комі- рок КРП	1,15	37	42,6	0,97	0,25	42,6	10,7
4	Опалення і освітлення приміщення оператив- ного персоналу	5,5	3	16,5	0,97	0,25	16,5	4,14
5	Зовнішнє освітлення	1,75	3	5,25	0,97	0,25	5,25	1,32
	Всього						110	41,6