

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

“Допущено до захисту”
Зав. кафедрою ЕТС та ЕМ
к.т.н., професор
_____ Петро ПЛЄШКОВ
“__” _____ 2026 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ
ВИЩОЇ ОСВІТИ**

на тему:

**Розробка системи електропостачання
деревообробного комбінату
Development of a power supply system for a
woodworking plant**

Виконав здобувач вищої освіти
IV курсу, групи ЕЕ-23мб,
ОПП «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
_____ Іван ФРАНЦ
«__» _____ 2026 р.

Керівник роботи
доцент, к.т.н.
_____ Ігор ПЕРЕВЕРЗЄВ
«__» _____ 2026 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»

Освітньо-професійна програма «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри ЕТС та ЕМ

_____ Петро ПЛІШКОВ

«_____» _____ 2026 р.

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

Франца Івана Олександровича

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи Розробка системи електропостачання деревообробного комбінату

Development of a power supply system for a woodworking plant

2. Керівник роботи Переверзєв Ігор Олексійович, доцент, к.т.н.

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

3. Строк подання роботи до захисту 08.06.2026 р.

4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи розрахунок електричних навантажень; побудова графіків та картограми електричних навантажень; вибір напруги і електричних схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання; розрахунок режимів реактивної потужності; вибір трансформаторів; розрахунок струмів КЗ, вибір обладнання та силових мереж; спеціальний розділ роботи

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 кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Вступ</i>	<i>13.04-17.04</i>	
2	<i>Розрахунок електричних навантажень</i>	<i>18.04-25.04</i>	
3	<i>Побудова графіків електричних навантажень</i>	<i>26.04-28.04</i>	
4	<i>Побудова картограми електричних навантажень</i>	<i>29.04-04.05</i>	
5	<i>Вибір напруги і електричних схем</i>	<i>05.05-09.05</i>	
6	<i>Режими реактивної потужності</i>	<i>10.05-15.05</i>	
7	<i>Вибір трансформаторів</i>	<i>16.05-18.05</i>	
8	<i>Розрахунок струмів КЗ, вибір обладнання та силових мереж системи електропостачання</i>	<i>19.05-24.05</i>	
9	<i>Визначення струмів КЗ у схемах електроживлення електроустановок, які працюють від трифазних вентильних перетворювачів</i>	<i>25.05-31.05</i>	
10	<i>Оформлення презентаційної частини КР</i>	<i>01.06-04.06</i>	
11	<i>Оформлення пояснювальної записки КР</i>	<i>05.06-08.06</i>	

Дата видачі завдання

«___» _____ 2026 р.

Підпис керівника _____

Ігор ПЕРЕВЕРЗЄВ

Завдання прийнято до виконання

«___» _____ 2026 р.

Підпис здобувача _____

Іван ФРАНЦ

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: 66 с.; 9 рис.; 15 табл.; 11 джерел

Франц І.О. Розробка системи електропостачання деревообробного комбінату. – Рукопис.

Кваліфікаційна робота за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», ОПП «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». – Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, 2026 рік.

Актуальність роботи обумовлена необхідністю вдосконалення систем електропостачання деревообробного комбінату шляхом застосування сучасних технічних рішень, спрямованих на підвищення енергоефективності та надійності електропостачання. Особливу увагу приділено питанням компенсації реактивної потужності, вибору оптимальної схеми живлення та забезпечення стійкої роботи електрообладнання в нормальних і аварійних режимах.

У спеціальному розділі досліджено особливості визначення струмів коротких замикань в електроустановках, що працюють від трифазних вентильних перетворювачів, а також проаналізовано вплив випрямних агрегатів на аварійні режими роботи електричних мереж.

Розроблена система електропостачання забезпечує необхідний рівень надійності, економічності та енергоефективності роботи деревообробного комбінату.

Ключові слова: система електропостачання, деревообробний комбінат, електричні навантаження, реактивна потужність, компенсація реактивної потужності, трансформаторна підстанція, струм короткого замикання, вентильний перетворювач, електрична мережа, електрообладнання.

ABSTRACT

Qualification work: 66 p.; 9 Fig.; 15 tables; 11 sources

Frants I. Development of a power supply system for a woodworking plant. – Manuscript.

Qualification work 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, 2026.

The relevance of this work is determined by the need to improve the power supply system of a woodworking plant through the implementation of modern engineering solutions aimed at increasing energy efficiency and reliability of power supply. Particular attention is paid to reactive power compensation, the selection of an optimal power supply scheme, and ensuring the stable operation of electrical equipment under both normal and emergency operating conditions.

A special section investigates the specific features of calculating short-circuit currents in electrical installations supplied by three-phase valve converters. In addition, the influence of rectifier units on emergency operating conditions of electrical networks is analyzed.

The developed power supply system provides the required level of reliability, economic efficiency, and energy performance for the woodworking plant.

Keywords: power supply system, woodworking plant, electrical loads, reactive power, reactive power compensation, transformer substation, short-circuit current, valve converter, electrical network, electrical equipment.

Зміст

	Перелік скорочень	6
1.	Вступ. Коротка характеристика технологічного процесу	7
2.	Розрахунок електричних навантажень	9
2.1.	Розрахунок силових електричних навантажень в електричних мережах до 1000 В	9
2.2.	Розрахунок освітлювального навантаження	9
2.3.	Розрахунок електричних навантажень в силових мережах вище 1000 В	10
3.	Побудова графіків електричних навантажень	20
4.	Побудова картограми електричних навантажень та вибір місця розташування ЦРП	25
5.	Вибір напруги і схеми зовнішнього і внутрішнього електропостачання	28
6.	Компенсація реактивної потужності	35
6.1.	Розрахунок балансу реактивної потужності та вибір пристроїв для її компенсації	35
6.2.	Вибір кількості, потужності та місця розташування пристроїв компенсації реактивної потужності	37
7.	Вибір кількості, потужності трансформаторів	38
7.1.	Вибір кількості та потужності трансформаторів цехових трансформаторних підстанцій	38
7.2.	Компоновка та місце розташування трансформаторних підстанцій	38
8.	Розрахунок струмів коротких замикань і вибір обладнання електроустановок та силових мереж системи електропостачання	39
8.1.	Розрахунок струмів коротких замикань	39
8.2.	Вибір високовольтного обладнання та пристроїв силових мереж	42
9.	Визначення струмів КЗ у схемах електроживлення електроустановок, які працюють від трифазних вентильних перетворювачів	45
9.1.	Специфіка обчислення струмів коротких замикань в електроустановках, де застосовуються вентильні перетворювачі	45
9.2.	Визначення струмів КЗ трифазних вентильних перетворювачів	51
10.	Висновки	58
11.	Перелік посилань	60
	Додатки	62
	Додаток А	63

					Кваліфікаційна робота			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Франц				Розробка системи електропостачання деревообробного комбінату Development of a power supply system for a woodworking plant	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевір.	Переверзев						5	66
						ЦНТУ, гр. ЕЕ-23мб		
Н.контр.	Переверзев							
Затвер	Плещков							

Перелік скорочень

ВРУ – відкрита розподільча установка;
ГЗП – головна знижувальна підстанція;
ДСП – деревостружкова плита;
КЗ – коротке замикання;
КЛ – кабельна лінія;
КП – конденсаторна установка (компенсувальний пристрій);
КРП – комплектний розподільчий пристрій;
КТП – комплектна трансформаторна підстанція;
ЛЕП – лінія електропередачі;
ПЛ – повітряна лінія;
РЗА – релейний захист та автоматика;
РП – розподільчий пункт;
ТВП – трансформатор власних потреб;
ТП – трансформаторна підстанція;
ЦРП – центральний розподільчий пункт;
ВН – висока напруга;
НН – низька напруга;
РПН – регулювання напруги під навантаженням.

						Арх.
						6
Змн.	Арх.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. ВСТУП. КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

Електроенергетика є однією з базових галузей національної економіки, від ефективності функціонування якої залежить стабільна робота промислових підприємств, транспортної інфраструктури, комунального господарства та соціальної сфери. У сучасних умовах розвитку виробництва особливого значення набуває створення надійних, економічно обґрунтованих та енергоефективних систем електропостачання, здатних забезпечувати безперервне живлення технологічних процесів і високу якість електричної енергії.

Деревообробна промисловість належить до енергоємних галузей виробництва, де значна кількість електроприймачів використовується для механічної обробки деревини, сушіння матеріалів, транспортування сировини, роботи вентиляційних та компресорних установок. Безперебійне електропостачання деревообробного комбінату є важливою умовою забезпечення ритмічності виробничого процесу, дотримання технологічних режимів та випуску конкурентоспроможної продукції.

Під час проєктування систем електропостачання промислових підприємств необхідно враховувати не лише величину електричних навантажень, але й вимоги щодо надійності живлення споживачів, мінімізації втрат електроенергії, компенсації реактивної потужності, забезпечення електробезпеки та можливості подальшого розвитку виробництва. Раціональний вибір схеми електропостачання, параметрів трансформаторних підстанцій, кабельних мереж та комутаційного обладнання дозволяє суттєво знизити експлуатаційні витрати та підвищити ефективність роботи підприємства.

Об'єктом дослідження є система електропостачання деревообробного комбінату. Предметом дослідження є режими роботи, параметри та технічні рішення системи електропостачання промислового підприємства.

Деревообробний комбінат (ДОК) спеціалізується на повному циклі переробки лісових ресурсів з використанням сучасних технологій, імпортного устаткування, облицювальної фурнітури і комплектуючих з Німеччини.

						Дрк.
						7
Змн.	Дрк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Основою для виробництва продукції є технологічна, фанерна сировина та ділова деревина ,які постачаються держлісгоспами Черкаської, Чернігівської, Сумської, Полтавської, частково Київської областей.

На даний час ДОК виробляє фанеру клеєну, ДСП, та меблі.

Електропостачання ДОК може здійснюватись від ПС Системи 35/10 кВ

Струм КЗ на шинах підстанції $I'' = 19$ кА відстань до комбінату $L = 4$ км.

Заданий коефіцієнт потужності $\operatorname{tg}\varphi = 0,15$. Споживачі електроенергії відносяться до II і III категорії. Комбінат працює в дві зміни.

Район розміщення комбінату відноситься до III-го кліматичного району.

Всі будівлі і споруди відносяться до V-го ступеня вогнестійкості.

Практичне значення роботи полягає у розробці технічних рішень щодо побудови системи електропостачання деревообробного комбінату, які забезпечують необхідний рівень надійності електропостачання споживачів, зменшення втрат електроенергії та підвищення ефективності використання електроенергетичних ресурсів.

						Арх.
Змн.	Арх.	№ докум.	Підпис	Дата		8

2. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

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

Обчислення електричних навантажень виконаємо методом впорядкованих діаграм [1,2].

Усі обчислення робимо в таблицях (див. Табл. 2.1).

2.2. Розрахунок освітлювального навантаження

Розрахункове освітлювальне навантаження визначаємо через коефіцієнт попиту [1, 2]. Всі розрахунки робимо в Табл.2.2.

Таблиця 2.2 – Розрахунок освітлювального навантаження ДОК

№ п/п	Приміщення	F, м ²	P _{уд} , Вт/м ²	K _c	P _{ро} , кВт	cos φ	tg φ	Q _{ро} , квар
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Головний корпус	2400	16	0,8	30,7	0,8	0,75	23,0
2	Сушильно - заготівельний цех	4500	12	0,8	43,2	0,8	0,75	32,4
3	Інструментальний цех	1000	17	0,8	13,6	0,8	0,75	10,2
4	Склад товарного лісопродажу	1400	5	0,7	4,9	0,7	1,02	5,0
5	Котельня	525	5	0,8	2,1	0,7	1,02	2,1
6	Пожежна водоемність	70	5	0,8	0,3	0,7	1,02	0,3
7	Насосна станція	100	5	0,8	0,4	0,7	1,02	0,4
8	Ремонтно-механічний цех	1200	19	0,8	18,2	0,8	0,75	13,7
9	Склад техматеріалів №1	250	5	0,7	0,9	0,7	1,02	0,9
10	Склад техматеріалів №2	100	5	0,7	0,4	0,7	1,02	0,4
11	Контора біржі сировини	100	17	0,8	1,4	0,8	0,75	1,0
12	Лісопильний цех	650	5	0,8	3	0,8	0,75	2
13	Розкрійний цех	400	16	0,8	5,1	0,8	0,75	3,8
14	Склад пиломатеріалів	650	5	0,7	2,3	0,7	1,02	2,3
15	Цех ДСП (головний корпус)	5070	12	0,8	48,7	0,7	1,02	49,7
16	Цех ДСП (підготовчий)	2450	12	0,8	23,5	0,7	1,02	24,0
17	Адміністративна будівля	300	18	0,8	4,3	0,8	0,75	3,2

						Арх.
						9
Змн.	Арх.	№ докум.	Підпис	Дата		

Продовження таблиці 2.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
18	Фанерний цех	3150	15	0,8	37,8	0,8	0,75	28,4
19	Теплиця	1750	10	0,7	12,3	0,7	1,02	12,5
20	Відділ розкрою	370	16	0,8	4,7	0,8	0,75	3,6
21	Магазин	400	17	0,8	5,4	0,7	1,02	5,5
22	Компресорна	300	6	0,7	1,3	0,8	0,75	0,9
23	Тарний цех	320	12	0,7	2,7	0,8	0,75	2,0
24	Стоянка для електрокарів	520	5	0,7	1,8	0,7	1,02	1,9
25	Сушильня	400	5	0,8	1,6	0,7	1,02	1,6
26	Їдальня	600	17	0,8	8,2	0,7	1,02	8,3
27	Склад ГСМ	370	5	0,7	1,3	0,7	1,02	1,3
28	Пожежне депо	160	10	0,7	1,1	0,7	1,02	1,1
29	Територія	200000	0,1	0,85	17,0	0,7	1,02	17,3
					298			259

2.3. Розрахунок електричних навантажень в силових мережах вище 1000 В

Розрахунок навантаження по підстанціям деревообробного комбінату робимо в табл. 2.3 з урахуванням компенсації реактивної потужності.

						Арх.
						10
Змн.	Арх.	№ докум.	Підпис	Дата		

Табл.2.1 Розрахунок навантаження на шинах 0.4 кВ по ДОК

№п/п	Найменування вузлів і груп електроприймачів	Кількість ЕП	Встановлена потужність		m	K _u	cos φ	tg φ	Середнє навантаження,кВт		n _e	K _M	Розрахункове навантаження, кВт			
			Одного	Σ					P _{CM}	Q _{CM}			P _P	Q _P	S _P	
	Головний корпус															
1	Стружечний верстат	20	75	300	1564	>3	0,40	0,70	1,02	625,6	638,24					
2	Бункер стружки	5	17	90	124	>3	0,50	0,71	0,99	62,0	61,49					
3	Сушильне обладнання	2	140	140	280	<3	0,60	0,90	0,48	168,0	81,37					
4	Змішувач	2	90	90	180	<3	0,40	0,70	1,02	72,0	73,45					
5	Формірувальні машини	5	14	14	70	<3	0,30	0,60	1,33	21,0	28,00					
6	Головний конвеєр	1	68	68	68	<3	0,70	0,70	1,02	47,6	48,56					
7	Обрезний верстат	1	165	165	165	<3	0,40	0,70	1,02	66,0	67,33					
8	Прес	2	2	22	150	>3	0,4	0,7	1,02	60,0	61,21					
9	Верстати ізмельчення	3	110	250	610	<3	0,5	0,7	1,02	305,0	311,16					
10	Вентиляция	6	30	30	180	<3	0,7	0,8	0,75	126,0	94,50					
11	Верстат сортировки	1	150	150	150	<3	0,3	0,7	1,02	45,0	45,91					
12	Пристрій виділення смоли	1	120	120	120	<3	0,5	0,7	1,02	60,0	61,21					
13	Дробильний верстат	2	100	100	100	<3	0,4	0,7	1,02	40,0	40,81					
14	Лінія шліфовки	2	320	320	642	<3	0,5	0,7	1,02	321,0	327,49					
15	Лінія розкрою	1	112	112	112	<3	0,5	0,7	1,02	56,0	57,13					
16	Насоси	8	25	45	285	<3	0,7	0,85	0,62	199,5	123,64					
17	Крани	2	55	55	110	<3	0,3	0,6	1,33	33,0	44,00					
	Всього по корпусу	64	2	320	4910	>3	0,47	0,73	0,94	2307,7	2165,5	31	1,21	2795,0	2165,5	3535,7

Продовження Табл.2.1

№п /п	Найменування вузлів і груп електроприймачів	Кількість ЕП	Встановлена потужність		m	K _u	cos φ	tg φ	Середнє навантаження,кВт		n _e	K _M	Розрахункове навантаження, кВт			
			Одного	Σ					P _{CM}	Q _{CM}			P _P	Q _P	S _P	
	<u>Інструментальний цех</u>															
18	Металоріжучі верстати	10	42,5	79	676	<3	0,2	0,5	1,73	135,20	234,17					
19	Токарний верстат	10	1,5	5	22	>3	0,6	0,8	0,75	13,20	9,90					
20	Вентиляція	5	1,5	35	140	>3	0,5	0,7	1,02	70,00	71,41					
21	Стенди	20	2,5	30	480	>3	0,6	0,8	0,75	288,00	216,00					
22	Транспортер	2	11	11	22	<3	0,6	0,7	1,02	13,20	13,47					
23	Кран	11	116	116	1276	<3	0,2	0,5	1,73	255,20	442,02					
24	Обладнання автоматичної лінії	4	7	7	21	<3	0,6	0,8	0,75	12,60	9,45					
25	Конвеєр	4	9	9	36	<3	0,6	0,8	0,75	21,60	16,20					
26	Ел. візок	1	2,7	2,7	2,7	<3	0,6	0,7	1,02	1,62	1,65					
27	Насосна	1	8	8	8	<3	0,7	0,8	0,75	5,20	3,90					
28	Тр-р зварювальний	2	14	14	28	<3	0,3	0,4	2,68	8,40	22,48					
29	Випрямляч зварювальний	2	12,6	33,3	45,9	<3	0,4	0,5	1,73	18,36	31,80					
30	Ножиці	2	1,5	1,5	3	<3	0,5	0,8	0,75	1,50	1,13					
31	Фрезерний верстат	5	4	28	110	>3	0,6	0,8	0,75	66,00	49,50					
	Всього по цеху	79	1,5	116	2870,6	>3	0,32	0,63	1,23	910,1	1123,1	49	1,24	1124,14	1123,08	1589,03
	<u>Фанерний цех</u>															
32	Кран	1	35	35	35	<3	0,2	0,5	1,73	7,00	12,12					
33	Флек ВКС-3000	12	1,5	75	104,5	>3	0,4	0,6	1,33	41,80	55,73					
34	Тельфер	2	5,5	5,5	11	<3	0,3	0,5	1,73	3,30	5,72					
35	Сушка СУР-4	15	1,5	35	65	>3	0,6	0,9	0,48	39,00	18,89					

Продовження Табл.2.1

№п /п	Найменування вузлів і груп електроприймачів	Кількість ЕП	Встановлена потужність			m	K _u	cos φ	tg φ	Середнє навантаження,кВт		n _e	K _M	Розрахункове навантаження, кВт		
			Одного	Σ	P _{CM}					Q _{CM}	P _P			Q _P	S _P	
36	Бревнотаска	2	18	30	48	<3	0,3	0,7	1,02	14,40	14,69					
37	Піла поперечного різy	5	3,3	55	108	>3	0,4	0,7	1,02	43,20	44,07					
38	ЛУ-17	14	1,5	28	105	>3	0,4	0,7	1,02	42,00	42,85					
39	Дробилка	8	1,5	25	65	>3	0,3	0,7	1,02	19,50	19,89					
40	Прес П7146	21	1,5	22	50,5	>3	0,4	0,7	1,02	20,20	20,61					
41	Обрізка	18	1,5	45	87	>3	0,3	0,7	1,02	26,10	26,63					
42	Верстат наборки	14	2,2	4,8	21	<3	0,3	0,7	1,02	6,30	6,43					
43	Клієварка	1	11	11	11	<3	0,4	0,9	0,48	4,40	2,13					
44	Компресор	13	1,5	15	127	>3	0,7	0,8	0,75	88,90	66,68					
	Всього по цеху	126	1,5	75	838	>3	0,42	0,73	0,94	356,1	336,4	22	1,28	456,72	336,44	567,26
	Цех ДСП(головний корпус)															
45	Форматно-розпiлюв. Верстат	6	2	5	24	<3	0,6	0,7	1,02	14,40	14,69					
46	Кромкообліщувочна лінія	4	30	75	210	<3	0,6	0,7	1,02	126,00	128,55					
47	Форцовочний верстат	5	4	4	20	<3	0,4	0,7	1,02	8,00	8,16					
48	Лісточний верстат ЛС-8	2	7	7	14	<3	0,6	0,7	1,02	8,40	8,57					
49	Токарний по дереву	3	5	5	15	<3	0,3	0,6	1,33	4,50	6,00					
50	Рейсмусний верстат	6	4	4	24	<3	0,6	0,7	1,02	14,40	14,69					
51	Фуговальний верстат	8	5	5	40	<3	0,5	0,7	1,02	20,00	20,40					
52	Торцевальний верстат	4	5	5	20	<3	0,3	0,7	1,02	6,00	6,12					
53	Прес	12	2	63	150	>3	0,4	0,6	1,33	60,00	80,00					
54	Долбiжно-сверлильний верстат	3	2	2	6	<3	0,3	0,6	1,33	1,80	2,40					

Продовження Табл.2.1

№п /п	Найменування вузлів і груп електроприймачів	Кількість ЕП	Встановлена потужність			m	K _u	cos φ	tg φ	Середнє навантаження,кВт		n _e	K _M	Розрахункове навантаження, кВт		
			Одного	Σ	P _{CM}					Q _{CM}	P _P			Q _P	S _P	
55	Циркулярка	6	4	4	24	<3	0,5	0,7	1,02	12,00	12,24					
56	Фрезерний верстат ПСШ-4	12	4	4	48	<3	0,4	0,7	1,02	19,20	19,59					
57	Шліфовалка	16	1,5	4	52	<3	0,4	0,7	1,02	20,80	21,22					
58	Прісадочний верстат	2	1,5	1,5	3	<3	0,4	0,7	1,02	1,20	1,22					
59	Компресор	3	4	4	12	<3	0,7	0,8	0,75	8,40	6,30					
60	Кромко облицовочна машина	20	1,5	2,2	17,2	<3	0,4	0,7	1,02	6,88	7,02					
61	Термоблок нагріву клію	3	1,5	1,5	4,5	<3	0,6	0,9	0,48	2,70	1,31					
62	Вентилятори	6	2,2	5	24,4	<3	0,7	0,8	0,75	17,08	12,81					
	Всього по цеху	121	1,5	75	708,1	>3	0,50	0,69	1,06	351,8	371,3	19	1,26	443,59	371,30	578,48
	Ремонтно-механічний цех															
63	Металоріжучі верстати	72	2,5	100	3000	>3	0,16	0,5	1,73	480,00	831,38					
64	Зварювальні трансформатори	11	3	38	338	>3	0,35	0,6	1,33	118,30	157,73					
65	Вентилятори	12	2,5	20	110	>3	0,70	0,8	0,75	77,00	57,75					
	Всього по цеху	95	2,5	100	3448	>3	0,20	0,54	1,55	675,3	1046,9	69	1,28	863,72	1046,87	1357,18
	Цех ДСП (підготовчий)															
66	Деревооброблюючі верстати	96	2,5	120	1030	>3	0,55	0,8	0,88	566,50	499,61					
67	Сушильні камери	25	2	20	480	>3	0,50	0,8	0,75	240,00	180,00					
68	Вентилятори	5	3	20	100	>3	0,70	0,8	0,75	70,00	52,50					
	Всього по цеху	126	2	120	1610	>3	0,54	0,77	0,84	876,5	732,1	27	1,19	1041,78	732,11	1273,30
	Лісопільний цех															
69	Бревнотаска	3	18	30	78	<3	0,3	0,7	1,02	23,40	23,87					
70	Конвеєр	2	68	68	136	<3	0,7	0,6	1,33	95,20	126,93					
71	Пристрій розпилювання ДЦ-10	6	75	100	550	<3	0,4	0,7	1,02	220,00	224,44					

Продовження Табл.2.1

№п /п	Найменування вузлів і груп електроприймачів	Кількість ЕП	Встановлена потужність		m	K _u	cos φ	tg φ	Середнє навантаження,кВт		n _e	K _M	Розрахункове навантаження, кВт			
			Одного	Σ					P _{CM}	Q _{CM}			P _P	Q _P	S _P	
72	Бункер стружки	6	17	90	141	>3	0,5	0,7	1,02	70,50	71,92					
73	Вентилятори	8	90	30	180	<3	0,7	0,8	0,75	126,00	94,50					
	Всього по цеху	25	17	100	1085	>3	0,49	0,70	1,01	535,1	541,7	22	1,24	665,16	541,68	857,82
	Сушильно-заготівельний цех															
74	Сушильне обладнання	8	15	30	110	<3	0,5	0,9	0,48	55,00	26,64					
75	Крани	4	55	55	220	<3	0,3	0,6	1,33	66,00	88,00					
76	Вентиляція	4	30	30	120	<3	0,7	0,8	0,75	84,00	63,00					
	Всього по цеху	41	15	55	450	>3	0,46	0,76	0,87	205,0	177,6	16	1,31	269,43	177,64	322,72
	Розкрийний цех															
77	Конвеєр	2	68	68	136	<3	0,6	0,6	1,33	81,60	108,80					
78	Лінія розкрою	4	60	112	344	<3	0,5	0,7	1,02	172,00	175,48					
79	Циркулярка	12	4	4	48	<3	0,5	0,7	1,02	24,00	24,48					
80	Вентиляція	6	30	30	180	<3	0,7	0,8	0,75	126,00	94,50					
	Всього по цеху	24	4	112	708	>3	0,57	0,71	1,00	403,6	403,3	13	1,27	513,61	403,26	653,00
	Котельня															
81	Димосос	6	30	30	180	<3	0,50	0,8	0,75	90,00	67,50					
82	Насоси	8	2,2	55	224	>3	0,40	0,8	0,75	89,60	67,20					
83	Пристрій перекачки мазуту	2	10	10	20	<3	0,30	0,6	1,33	6,00	8,00					
84	Зварювальний трансформатор	1	17	17	17	<3	0,70	0,8	0,75	11,90	8,93					
85	Вентилятори	6	11	11	66	<3	0,70	0,8	0,75	46,20	34,65					
	Всього по цеху	23	2,2	55	507	>3	0,48	0,79	0,76	243,7	186,3	18	1,28	310,86	186,28	362,40

Продовження Табл.2.1

№п /п	Найменування вузлів і груп електроприймачів	Кіль кість ЕП	Встановлена потужність		m	K_u	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	Середнє навантаження,кВт		n_e	K_M	Розрахункове навантаження, кВт			
			Одного	Σ					P_{CM}	Q_{CM}			P_P	Q_P	S_P	
	Компресорна															
86	Електричні задвижки	50	0,3	3	99	>3	0,10	0,4	2,29	9,90	22,68					
87	Дросельна задвижка компресора	8	0,12	0,37	1,4	>3	0,13	0,4	2,29	0,18	0,42					
88	Повітряні компресори	5	200	200	1000	<3	0,70	0,9	0,48	700,00	339,03					
89	Вентилятори	8	3	17	80	>3	0,70	0,8	0,75	56,00	42,00					
	Всього по цеху	71	0,12	200	1180,4	>3	0,65	0,88	0,53	766,1	404,1	12	1,22	936,52	404,13	1020,00
90	Насосна	6	3	40	85	>3	0,50	0,80	0,75	42,50	31,88	4	1,66	70,61	35,06	78,84
91	Адміністративна будівля	17	1,5	3	35	<3	0,50	0,80	0,75	17,50	13,13	17	1,28	22,32	13,13	25,89
92	Їдальня	35	1,5	7,5	95	>3	0,50	0,80	0,75	47,50	35,63	25	1,22	57,88	35,63	67,97
93	Стоянка електрокарів	23	1,5	25	370	>3	0,40	0,70	1,02	148,00	150,99	23	1,30	191,70	150,99	244,03
94	Контора біржі сировини	11	1,5	3	25	<3	0,50	0,80	0,75	12,50	9,38	11	1,36	16,96	9,38	19,38
95	Теплиця	16	1,5	4,5	45	>3	0,60	0,90	0,48	27,00	13,08	16	1,22	32,87	13,08	35,38
96	Магазин	6	1,5	17	30,7	>3	0,50	0,80	0,75	15,35	11,51	4	1,75	26,80	12,66	29,64
97	Тарний цех	28	1,5	5	48	>3	0,40	0,70	1,02	19,20	19,59	19	1,33	25,49	19,59	32,15
	Всього:на 0,4кВ по ДОК	937	0,12	320	19048,8	>3	0,42	0,72	0,98	7960,472	7773,44	119	1,11	8853,7	7773,4	11782,0

Табл.2.3 Розрахунок навантаження по підстанціям ДОК

№п/п	Найменування вузлів і груп електроприймачів	Кількість ЕП	Встановлена потужність			m	K _u	cos φ	tg φ	Середнє навантаження,кВт		n _e	K _M	Розрахункове навантаження, кВт		
			Одного	Σ	P _{CM}					Q _{CM}	P _P			Q _P	S _P	
	КТП-1,КТП-2 (4 × 1000)															
1	Головний корпус	64	2	320	4910	>3	0,47	0,729	0,94	2307,7	2165,51					
2	Магазин	6	1,5	17	30,7	>3	0,50	0,80	0,75	15,35	11,51					
	Всього по позиціям 1-2	70	1,5	320	4940,7	>3	0,47	0,73	0,94	2323,05	2177,02	31	1,21	2811,59	2177,02	3555,90
3	Освітлення													36,1	28,5	
4	Компенсація														-1280	
	Всього на 0.4 кВ													2847,69	925,5	2994,31
	Втрати в тр-рах													57,8	286,6	
	Всього на 10 кВ													2905,5	1212,1	3148,17
	КТП-3 (2 × 1000)															
5	Лісопильний цех	25	17	100	1085	>3	0,49	0,70	1,01	535,10	541,68					
6	Розкрійний цех	24	4	112	708	>3	0,57	0,71	1,00	403,60	403,26					
7	Цех ДСП (головний корпус)	121	1,5	75	708,1	>3	0,50	0,69	1,06	351,76	371,30					
8	Теплиця	16	1,5	4,5	45	>3	0,60	0,90	0,48	27,00	13,08					
	Всього по позиціям 5-8	186	1,5	112	2546,1	>3	0,52	0,70	1,01	1317,46	1329,31	45	1,15	1515,21	1329,31	2015,67
9	Освітлення													76,3	75,3	
10	Компенсація														-640	
	Всього на 0.4 кВ													1591,51	764,6	1765,65
	Втрати в тр-рах													22,7	125,7	
	Всього на 10 кВ													1614,2	890,3	1843,47
	КТП-4 (2 × 1000)															
11	Ремонтно-механічний цех	95	2,5	100	3448	>3	0,20	0,54	1,55	675,30	1046,87					
12	Фанерний цех	126	1,5	75	838	>3	0,42	0,73	0,94	356,10	336,44					
	Всього по позиціям 11-12	221	1,5	100	4286	>3	0,24	0,60	1,34	1031,40	1383,30	86	1,21	1252,05	1383,30	1865,78
13	Освітлення													56	42,1	

Продовження Табл.2.3

№п/п	Найменування вузлів і груп електроприймачів	Кількість ЕП	Встановлена потужність			m	K_u	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	Середнє навантаження, кВт		n_e	K_M	Розрахункове навантаження, кВт		
			Одного		Σ					P_{CM}	Q_{CM}			P_P	Q_P	S_P
14	Компенсація														-640	
	Всього на 0.4 кВ													1308,05	785,4	1525,73
	Втрати в тр-рах													18,0	104,0	
	Всього на 10 кВ													1326,0	889,4	1596,68
	<u>КТП-5 (2 × 1000)</u>															
15	Котельня	23	2,2	55	507	>3	0,48	0,79	0,76	243,70	186,28					
16	Контора біржі сировини	11	1,5	3	25	<3	0,50	0,80	0,75	12,50	9,38					
17	Цех ДСП (підготовчий)	126	2	120	1610	>3	0,54	0,77	0,84	876,50	732,11					
18	Тарний цех	28	1,5	5	48	>3	0,40	0,70	1,02	19,20	19,59					
19	Їдальня	35	1,5	7,5	95	>3	0,50	0,80	0,75	47,50	35,63					
	Всього по позиціям 15-19	223	1,5	120	2285	>3	0,52	0,77	0,82	1199,40	982,97	38	1,16	1394,54	982,97	1706,16
20	Освітлення													42,1	41,6	
21	Компенсація														-640	
	Всього на 0.4 кВ													1436,64	384,6	1487,22
	Втрати в тр-рах													17,3	100,8	
	Всього на 10 кВ													1453,9	485,4	1532,80
	<u>КТП-6 (2 × 1000)</u>															
22	Сушильно - заготівельний цех	41	15	55	450	>3	0,46	0,76	0,87	205,00	177,64					
23	Інструментальний цех	79	1,5	116	2870,6	>3	0,32	0,63	1,23	910,08	1123,08					
	Всього по позиціям 22-23	120	1,5	116	3320,6	>3	0,34	0,65	1,17	1115,08	1300,72	57	1,21	1345,42	1300,72	1871,37
24	Освітлення													57,1	55,7	
25	Компенсація														-640,00	
	Всього на 0.4 кВ													1402,52	716,4	1574,91

Продовження Табл.2.3

№п/п	Найменування вузлів і груп електроприймачів	Кількість ЕП	Встановлена потужність		m	K _u	cos φ	tg φ	Середнє навантаження,кВт		n _e	K _M	Розрахункове навантаження, кВт			
			Одного	Σ					P _{CM}	Q _{CM}			P _P	Q _P	S _P	
	Втрати в тр-рах												18,9	108,2		
	Всього на 10 кВ												1421,41	824,6	1643,29	
	<u>КТП-7 (2 × 1000)</u>															
26	Насосна станція	6	3	40	85	>3	0,50	0,80	0,75	42,50	31,88					
27	Адміністративна будівля	17	1,5	3	35	<3	0,50	0,80	0,75	17,50	13,13					
28	Компресорна	71	0,12	200	1180,4	>3	0,65	0,88	0,53	766,08	404,13					
29	Стоянка для електрокарів	23	1,5	25	370	>3	0,40	0,70	1,02	148,00	150,99					
	Всього по позиціям 26-29	117	0,12	200	1670,4	>3	0,58	0,85	0,62	974,08	600,12	17	1,22	1191,11	600,12	1333,75
30	Освітлення												30,2	28,4		
31	Компенсація													-640		
	Всього на 0.4 кВ												1221,31	-11,5	1221,36	
	Втрати в тр-рах												13,0	81,0		
	Всього на 10 кВ												1234,3	69,5	1236,22	
	<u>Всього по заводу</u>															
	Силова	937	0,12	320	19048,8	>3	0,42	0,72	0,98	7960,5	7773,44	119	1,11	8853,7	7773,4	11782,0
	Освітлення												298	259		
	Компенсація 0.4 кВ													-4480		
	Всього на 0.4 кВ												9151,7	3552,4	9817,0	
	Втрати в тр-рах												110,40	636,90		
	Всього на 10 кВ												9262,1	4189,3		
	Компенсація 10 кВ													-2800		
	<u>Всього на шинах 10 кВ з урахуванням КУ</u>												9262,1	1389,3	9365,8	

3. ПОБУДОВА ГРАФІКІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

При побудові добового графіка реактивного навантаження враховуємо вимоги по компенсації реактивної потужності в режимі максимуму $\operatorname{tg}\varphi = 0,15$.

Розрахункове активне навантаження на шинах 10 кВ РП-2 підприємства

$$P_{p10} = P_{p04} + P_{po} + \Delta P_{mp} + \Delta P_{10}, \quad (3.1)$$

де $P_{p04} = 8853,7$ кВт – силове навантаження на 0,4 кВ (табл. 2.1);

$P_{po} = 298$ кВт – розрахункова потужність освітлення (табл. 2.2);

ΔP_{mp} – втрати на трансформаторах;

P_{10} – високовольтне навантаження.

Втрати на трансформаторах ($N = 14$ шт) із середнім коефіцієнтом навантаження 0,7 $S_n = 1000$ кВА

$$\Delta P_{mp} = (\Delta P_{xx} + \Delta P_{кз} \cdot K_3^2) \cdot 14 = (2 + 12 \cdot 0,7^2) \cdot 14 = 110,4 \text{ кВт}$$

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

Розрахункове навантаження по (3.1) складає

$$P_{p10} = 8853,7 + 298 + 110,4 = 19262,1 \text{ кВт}$$

З урахуванням компенсації ($\operatorname{tg}\varphi = 0,15$) реактивне навантаження на шинах 10 кВ складає

$$Q_{p10} = P_{p10} \cdot \operatorname{tg}\varphi = 19262,1 \cdot 0,15 = 2889,3 \text{ кВар}$$

Відповідні графіки наведені на рис. 3.1 – 3.4.

Всі розрахунки зводимо до табл. 3.1.

Визначимо з річного графіка витрати активної та реактивної енергії

$$\begin{aligned} W_e = \sum_{i=1} P_i \cdot \tau_i = & 9262 \cdot 148 + 8640 \cdot 296 + 8340 \cdot 106 + 7780 \cdot 212 + 7410 \cdot 1036 + \\ & + 6790 \cdot 296 + 6670 \cdot 742 + 6170 \cdot 444 + 6110 \cdot 212 + 5550 \cdot 318 + 4940 \cdot 296 + \\ & + 4450 \cdot 212 + 3700 \cdot 296 + 3330 \cdot 212 + 3090 \cdot 740 + 2780 \cdot 530 + 1390 \cdot 2664 = 38566816 \text{ кВт} \cdot \text{год} \end{aligned}$$

						Арх.
						20
Змн.	Арх.	№ докум.	Підпис	Дата		

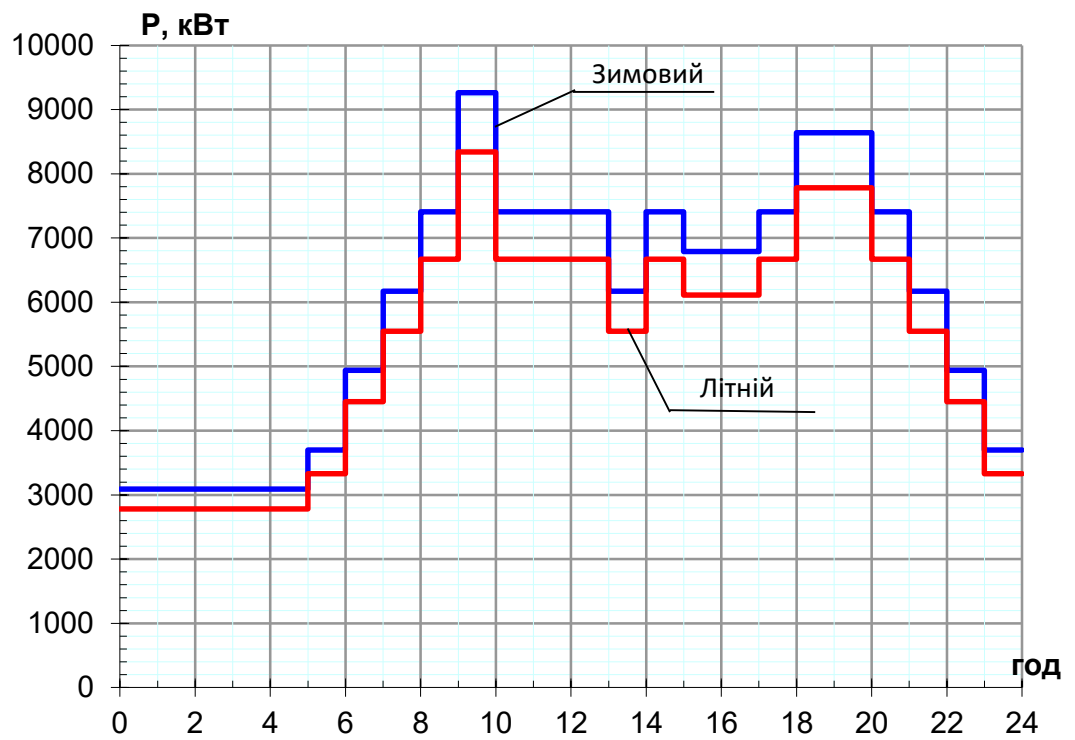


Рис.3.1 Добовий графік активного навантаження

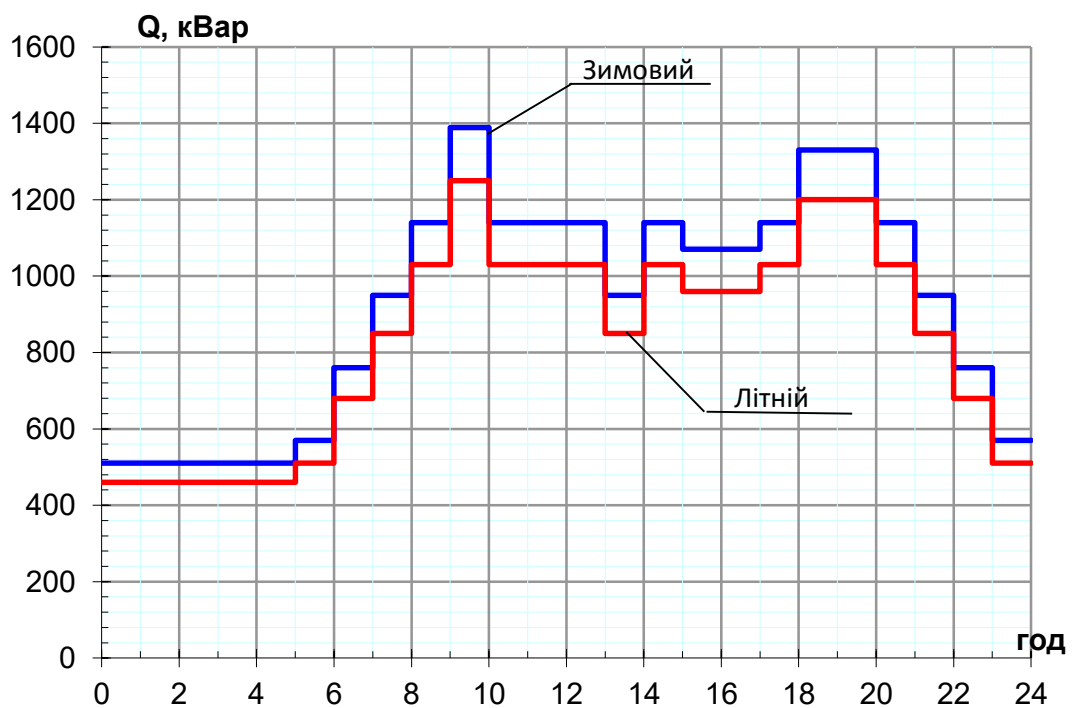


Рис.3.2 Добовий графік реактивного навантаження

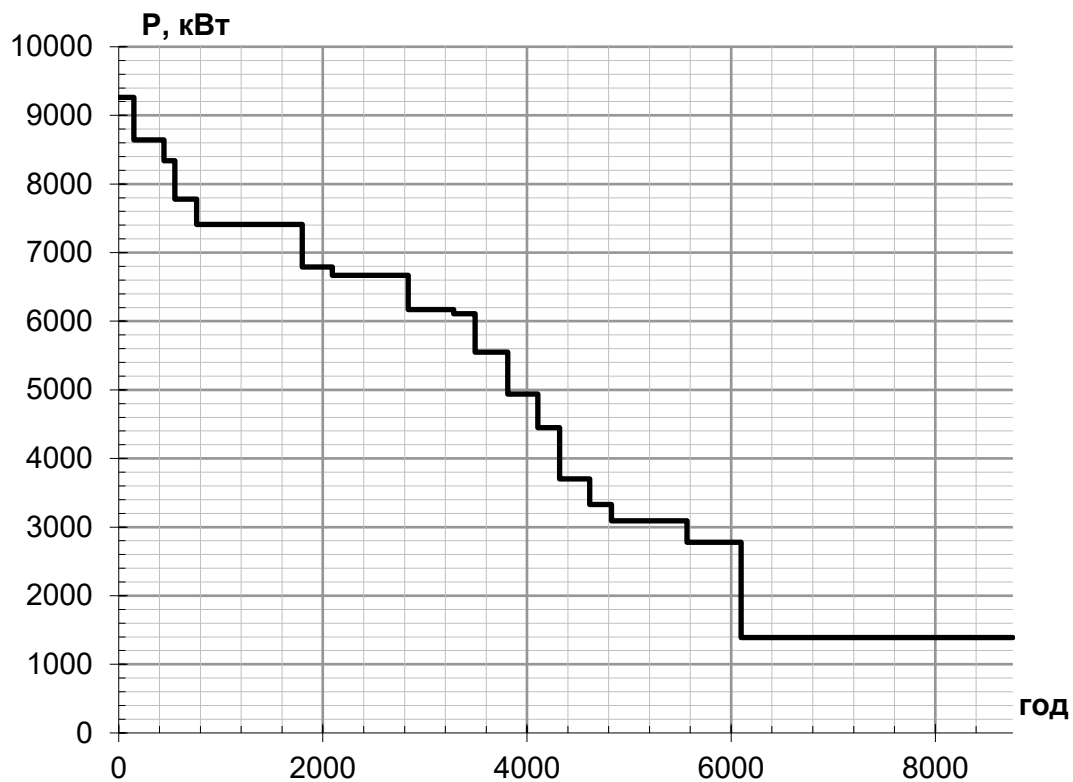


Рис.3.3 Річний графік по тривалості активної потужності.

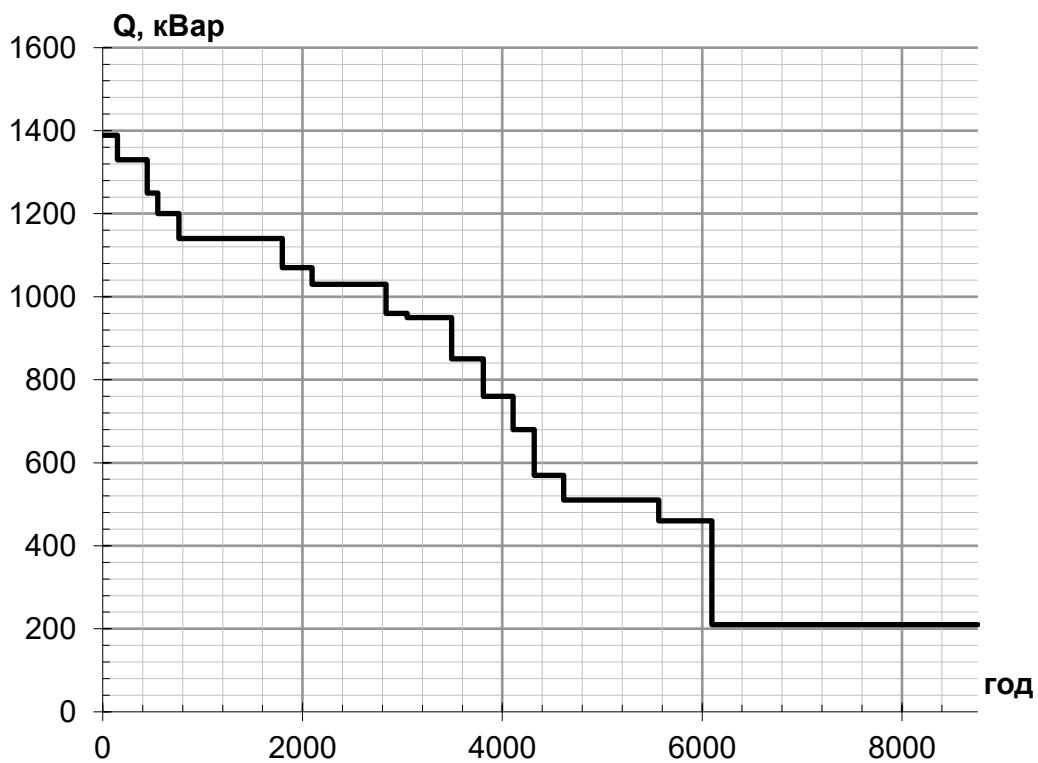


Рис.3.4 Річний графік по тривалості реактивної потужності

Таблиця 3.1 – Розрахунок річного графіка по тривалості

P , кВт	t , час	Q , квар	t , год
1	2	3	4
9262	148	1389	148
8640	296	1330	296
8340	106	1250	106
7780	212	1200	212
7410	1036	1140	1036
6790	296	1070	296
6670	742	1030	742
6170	444	960	212
6110	212	950	444
5550	318	850	318
4940	296	760	296
4450	212	680	212
3700	296	570	296
3330	212	510	952
3090	740	460	530
2780	530	210	2664
1390	2664	0	0
	8760		8760
$W_{\Gamma} = 38\,566\,816$		$V_{\Gamma} = 5\,970\,392$	

$$V_{\varepsilon} = \sum_{i=1} Q_i \cdot \tau_i = 1389 \cdot 148 + 1330 \cdot 296 + 1250 \cdot 106 + 1200 \cdot 212 + 1140 \cdot 1036 + \\ + 1070 \cdot 296 + 1030 \cdot 742 + 960 \cdot 212 + 950 \cdot 444 + 850 \cdot 318 + 760 \cdot 296 + \\ + 680 \cdot 212 + 570 \cdot 296 + 510 \cdot 952 + 460 \cdot 530 + 210 \cdot 2664 = 5970392 \text{кВар} \cdot \text{год}$$

Кількість годин максимального навантаження складає

$$T_{\text{м}} = \frac{\sqrt{W_{\varepsilon}^2 + V_{\varepsilon}^2}}{S_{\text{м}}} = \frac{\sqrt{38566816^2 + 5970392^2}}{9365,8} = 4167 \text{ год}$$

						Арх.
Змн.	Арх.	№ докум.	Підпис	Дата		23

де

$$S_{\text{м}} = \sqrt{P_{\text{п10}}^2 + Q_{\text{п10}}^2} = \sqrt{9262,1^2 + 1389,3^2} = 9365,8 \text{ кВА}$$

$$\tau_{\text{м}} = \left(0,124 + \frac{T_{\text{м}}}{10000}\right)^2 \cdot 8760 = \left(0,124 + \frac{4167}{10000}\right)^2 \cdot 8760 = 2561 \text{ год}$$

						Арх.
						24
Змн.	Арх.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. ПОБУДОВА КАРТОГРАМИ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ТА ВИБІР МІСЦЯ РОЗТАШУВАННЯ ЦРП

Координати центра електричних навантажень промислового підприємства визначають як центр тяжіння плоских фігур

$$X_0 = \frac{\sum_i^n P_i \cdot X_i}{\sum P} \quad (4.1)$$

$$Y_0 = \frac{\sum_i^n P_i \cdot Y_i}{\sum P} \quad (4.2)$$

Розрахунок картограми виконаний та наведений у вигляді таблиці.

Таблиця 4.1 – Розрахунок картограми навантажень

№ п/п	Приміщення	P _{осв} , кВт	P _{сум} , кВт	α, град	R, см	X, см	Y, см
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Головний корпус	30,7	2825,7	4	6,7	10	38
2	Сушильно - заготівельний цех	43,2	312,6	50	2,4	16	41
3	Інструментальний цех	13,6	1137,7	4	4,3	17	31
4	Склад товарного лісопродажу	4,9	4,9	360	0,4	14	28
5	Котельня	2,1	313	2	2,2	39	32
6	Пожежна водоемність	0,3	0,3	360	0,1	14	34
7	Насосна станція	0,4	71	2	1,1	17	34
8	Ремонтно-механічний цех	18,2	881,9	7	3,8	32	31,5
9	Склад техматеріалів №1	0,9	0,9	360	0,2	51	30
10	Склад техматеріалів №2	0,4	0,4	360	0,1	60	21
11	Контора біржі сировини	1,4	18,4	27	0,6	54	22
12	Лісопильний цех	3	668,2	2	3,3	28	24,5
13	Розкрійний цех	5,1	518,7	4	2,9	21,5	24,5
14	Склад пиломатеріалів	2,3	2,3	360	0,3	11	20
15	Цех ДСП (головний корпус)	48,7	492,3	36	2,9	27	20
16	Цех ДСП (підготовчий)	23,5	1065,3	8	4,2	39	22
17	Адміністративна будівля	4,3	46,6	33	0,9	22	50
18	Фанерний цех	37,8	494,5	28	2,9	36	38,5
19	Теплиця	12,3	45,2	98	1,0	12	23,5

Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4	5	6	7	8
20	Склад вугілля	4,7	4,7	360	0,4	21	43
21	Магазин	5,4	32,2	60	0,8	8	45
22	Компресорна	1,3	937,8	0,5	3,9	53	46
23	Тарний цех	2,7	28,2	34	0,7	60	44,5
24	Стоянка для електрокарів	1,8	193,8	3	1,8	27	45
25	Склад круглого лісу	1,6	1,6	360	0,2	44,5	39
26	Їдальня	8,2	66,1	45	1,1	53,5	38,5
27	Склад ГСМ	1,3	1,3	360	0,2	62,5	37
28	Пожежне депо	1,1	1,1	360	0,2	24	32
			10166,7			25,6	33,3

Визначаємо центр електричних навантажень

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot X_i}{\sum_{i=1}^n P_i} = \frac{2826 \cdot 10 + 313 \cdot 16 + 1138 \cdot 17 + 4,9 \cdot 14 + 313 \cdot 39 + 0,3 \cdot 14 + 71 \cdot 17 + 882 \cdot 32 + 0,9 \cdot 51 + 0,4 \cdot 60 + 18 \cdot 54 + 668 \cdot 28 + 519 \cdot 21,5 + 2,3 \cdot 11 + 492 \cdot 27 + 1065 \cdot 39 + 46 \cdot 22 + 496 \cdot 36 + 45 \cdot 12 + 5 \cdot 21 + 32 \cdot 8 + 938 \cdot 53 + 28 \cdot 60 + 194 \cdot 27 + 2 \cdot 44,5 + 66 \cdot 53,5 + 1,3 \cdot 62,5 + 1,1 \cdot 24}{10166,7} = 25,6 \text{ см}$$

$$Y = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot Y_i}{\sum_{i=1}^n P_i} = \frac{2826 \cdot 38 + 313 \cdot 41 + 1138 \cdot 31 + 4,9 \cdot 28 + 313 \cdot 32 + 0,3 \cdot 34 + 71 \cdot 34 + 882 \cdot 31,5 + 0,9 \cdot 30 + 0,4 \cdot 21 + 18 \cdot 22 + 668 \cdot 24,5 + 519 \cdot 24,5 + 2,3 \cdot 20 + 492 \cdot 20 + 1065 \cdot 22 + 46 \cdot 50 + 496 \cdot 38,5 + 45 \cdot 23,5 + 5 \cdot 43 + 32 \cdot 45 + 938 \cdot 46 + 28 \cdot 44,5 + 194 \cdot 45 + 2 \cdot 39 + 66 \cdot 38,5 + 1,3 \cdot 37 + 1,1 \cdot 32}{10166,7} = 33,3 \text{ см}$$

Після визначення значень x та y , тобто центру електричних навантажень промислового підприємства, можемо встановити місце для розташування ЦРП. Зазвичай ЦРП розміщують у точці центру електричних навантажень. Однак під час будівництва ЦРП на підприємстві її розміщують зі зсувом від цього центру у напрямку джерела живлення.

						Арх.
						26
Змн.	Арх.	№ докум.	Підпис	Дата		

У цьому випадку висока напруга буде максимально наближена до центру споживання електроенергії, а розподільчі мережі матимуть мінімальну довжину. Однак, якщо з певних причин, таких як технологічні чи архітектурні особливості, неможливо розмістити джерело живлення безпосередньо в центрі електричних навантажень, його зміщення призводить до зростання річних приведених витрат на систему електропостачання, спричинених цим фактором.

						Арх.
						27
Змн.	Арх.	№ докум.	Підпис	Дата		

5. ВИБІР НАПРУГИ І СХЕМИ ЗОВНІШНЬОГО І ВНУТРІШНЬОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Розумне створення системи електропостачання для промислового підприємства головним чином залежить від правильного вибору напруги та схеми зовнішнього електропостачання.

Вибір напруги понад 1000 В не може бути зроблений без врахування всієї схеми електропостачання. Тому розглядаються різні схеми електропостачання з різними комбінаціями напруг окремих частин. Найдешевший варіант визначається через техніко-економічне порівняння цих варіантів.

З цього ми плануємо два варіанти зовнішнього електропостачання для підприємства, як показано на рисунку 5.1.

Критерієм економічності схеми електропостачання являється мінімум приведених витрат.

$$Z_{прив} = E_n \cdot K_i + C_i + C_{номі} + U_i$$

де C_i , K_i - поточні витрати по передачі і розподілу енергії та сумарні капіталовкладенні в i -й варіант;

$C_{втр}$ - вартість втрат енергії;

E_n - нормативний коефіцієнт ефективності;

ВАРІАНТ І. Живлення виконується від шин 10 кВ, кабелями напругою 10 кВ

Розрахунковий струм в лінії при $S_p = 9365,8$ кВА, див.гл.3.

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3}U_n} = \frac{9365,8}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 541 \text{ А}$$

Переріз визначимо при $T_m < 5000$, $j_{ек} = 1,4$

$$F_{ек} = \frac{I_p}{4 \cdot j_{ек}} = \frac{541}{4 \cdot 1,4} = 96,6 \text{ мм}^2$$

						Арх.
						28
Змн.	Арх.	№ докум.	Підпис	Дата		

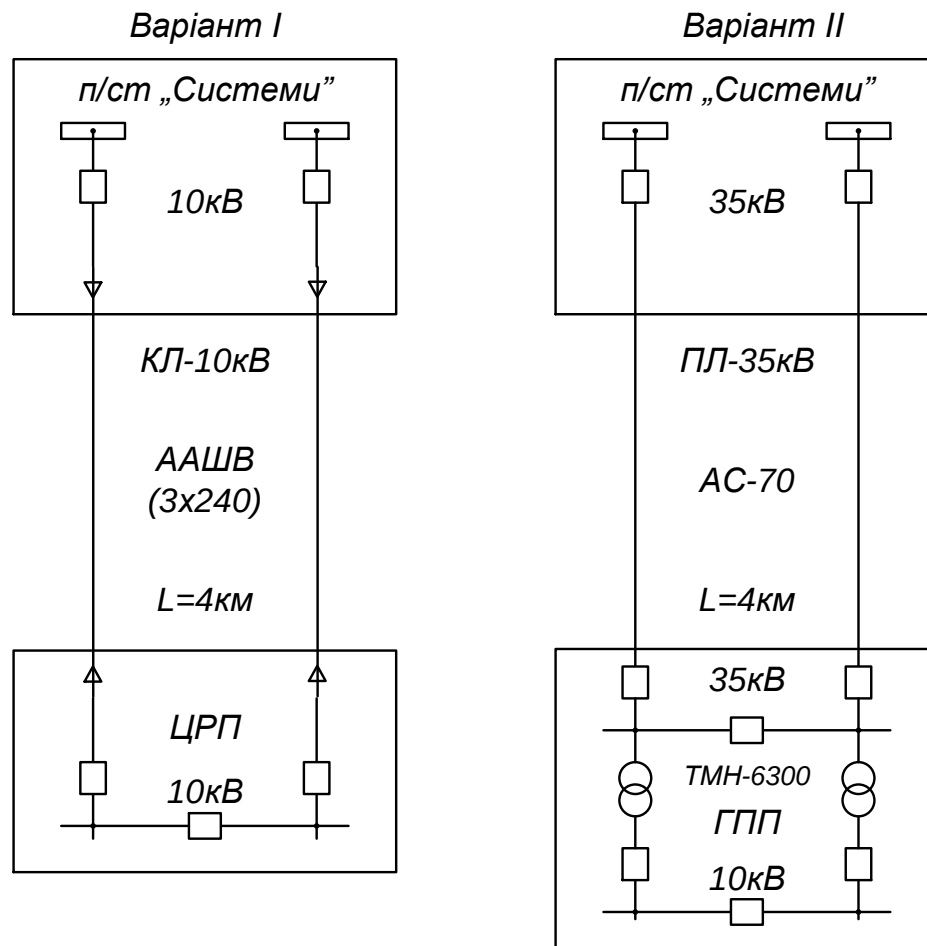


Рис.5.1 Схеми зовнішнього електропостачання

Приймаємо 2 кабельних лінії перерізом 240мм² кожна, марка ААШВ (3х240), допустимий струм нагріву $I_{д, доп.} = 355$ А.

$$I = I_{д, доп.} \cdot K_{ап} = 355 \cdot 1,3 = 403 \text{ А}$$

де $K_{ап}$ - коефіцієнт аварійного перевантаження

Вартість втрат активної електроенергії

$$C_{втр} = C_0 \cdot \Delta E, \quad (5.1)$$

$$C_0 = 10,23 \text{ грн/кВт год} \quad (\text{II клас})$$

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

Втрати активної енергії

$$\Delta E = \Delta P_M \cdot \tau_M, \quad (5.2)$$

$$\Delta P_M = 3 \cdot l^2 \cdot R_0 \cdot l \cdot 10^{-3}, \text{ кВт}, \quad (5.3)$$

де l - загальна довжина кабелю $l = 4 \text{ км}$

R_0 - 0,129 Ом/км - питомий опір .

Згідно (5.3) і (5.2) при $T_M = 4167 \text{ год}$, $\tau_M = 2561 \text{ год}$. (див. розділ 3)
отримуємо

$$\Delta P_M = 3 \left(\frac{541}{4} \right)^2 \cdot 2 \cdot 0,129 \cdot 4 \cdot 10^{-3} = 226,54 \text{ кВт}$$

$$C_{\text{втр}} = C_0 \cdot \Delta P_M \cdot \tau_M = 10,23 \cdot 226,54 \cdot 2561 \cdot 10^{-3} = 5935 \text{ тис. грн.}$$

ВАРІАНТ 2 Живлення ДОК виконується від ВРУ-35 кВ по повітряній лінії рис. 5.1.

Розрахунковий струм в лінії

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} U_n} = \frac{9365,8}{\sqrt{3} \cdot 37} = 154 \text{ А}$$

Переріз проводу визначаємо по економічній щільності струму $j_{\text{ек}} = 1,1$

$$F_{\text{ек}} = \frac{I_p}{j_{\text{ек}} \cdot 2} = \frac{154}{1,1 \cdot 2} = 65 \text{ мм}^2$$

Приймаємо дволанцюгову ЛЕП з проводами АС-70 мм^2 ,

$$I_{\text{д.доп}} = 265 \text{ А}, R_0 = 0,428 \text{ Ом/км}$$

На ГЗП попередньо вибираємо два трансформатора потужністю $S_n = 6,3 \text{ МВА}$ кожен. Тип ТМН-6300, $U_{\text{ВН}} = 35 \text{ кВ}$, $U_{\text{НН}} = 11 \text{ кВ}$,

$$\Delta P_K = 46,5 \text{ кВт}, \Delta P_{\text{хх}} = 9,25 \text{ кВт}, U_K = 7,5\%, I_{\text{хх}} = 0,6$$

Завантаження трансформаторів в номінальному режимі

$$K_s = \frac{S_p}{2 \cdot S_{\text{ном}}} = \frac{9365,8}{2 \cdot 6300} = 0,74$$

Перевіряємо трансформатор на допустиме перевантаження в аварійному режимі

$$S_{\text{доп}} = 1,4 \cdot S_{\text{ном}} \cdot 6300 = 8820 \text{ кВА}$$

						Арх.
						30
Змн.	Арх.	№ докум.	Підпис	Дата		

Втрати енергії в лінії 35кВ

$$\Delta E_{\text{л}} = \Delta P_{\text{л}} \cdot \tau_{\text{н}} = 60,9 \cdot 2561 = 155972 \text{ кВт год}$$

$$\text{де } \Delta P_{\text{л}} = 3 \cdot I^2 \cdot R_0 \cdot l \cdot 10^{-3} = 3 \left(\frac{154}{2} \right)^2 \cdot 2 \cdot 0,428 \cdot 4 \cdot 10^{-3} = 60,9 \text{ кВт}$$

Втрати енергії в трансформаторах:

$$\Delta E_{\text{тр}} = 2(\Delta P_{\text{хх}} \cdot T_{\text{в}} + \Delta P_{\text{к}} \cdot \tau_{\text{н}} \cdot K_3^2) =$$

$$= 2(9,25 \cdot 8760 + 46,5 \cdot 2561 \cdot 0,74^2) = 289679 \text{ кВт*год}$$

Сумарні витрати:

$$\Delta E = \Delta E_{\text{л}} + \Delta E_{\text{тр}} = 155972 + 289679 = 445651 \text{ кВт*год}$$

Вартість витрат:

$$C_{\text{втр}} = \Delta E \cdot C_0 = 445651 \cdot 8,65 \cdot 10^{-3} = 3854 \text{ тис.грн}$$

$$C_0 = 8,65 \text{ грн./кВт*год. (I клас).}$$

Витрати по варіантах наведені в Табл. 5.1-5.3.

Табл. 5.1 Розрахунок капітальних вкладень

варіант	Елементи схеми	Кількість довжина	Вартість, од.тис.грн.	Вартість всього тис.грн.
1	Шкаф серії КРУ, з вимикачем на п/ст джерела 10 кВ	2	90	180
	Кабель ААШВ-240 ,км	8	306	2448
	Траншея,км	4	72	288
	Всього			2916
2	Шкаф з вимикачем 35кВ на п/ст системи	2	180	360
	Дволанцюгова лінія 35кВ на залізобетонних опорах,км	4	1050	4200
	ВРУ-35, комплектне	1	960	960
	Силовий трансформатор ТМН-6300/35	2	1350	2700
	Всього			8220

Табл. 5.2 Розрахунок поточних витрат

варіант	Елементи схеми	K _ж , тис.грн.	P _а , %	C _{аж} , тис.грн.	P _э , тис.грн.	C _{эж} , тис.грн.	C _ж , тис.грн.
1	Шкаф серії КРУ, з вимикачем	180	15	27	5	9	36
	Кабельна лінія з урахуванням траншеї	2736	5	136,8	5	136,8	273,6
	Всього						309,6
2	Шкаф з вимикачем 35кВ	360	15	54	5	18	72
	Лінія 35кВ	4200	5	210	5	210	420
	ВРУ-35кВ	960	15	144	5	48	192
	Трансформатори ТМН-6300	2700	15	405	5	135	540
	Всього						1224

Можливий збиток від перерви в електропостачанні

ВАРІАНТ I Параметри потоку відмови одного ланцюга

$$\lambda_{\alpha} = \sum_1^3 \lambda_{ав} = 2\lambda_{акл} + \lambda_{акл} = 2 \cdot 0,02 + 0,8 = 0,84 \text{ од/рік}$$

де $\lambda_{ав}$ - пошкодження комірки з вимикачем $\lambda_{ав} = 0.02$

$\lambda_{акл}$ - пошкодження кабельної лінії $\lambda_{акл} = 8 \text{ од/рік на } 100\text{км}$, тоді

$$\lambda_{акл} = 8/100 \cdot 4 \cdot 2 = 0,32$$

Середній час відновлення одного ланцюга

$$T_{\epsilon} = \frac{\sum_1^3 \lambda_{ai} \cdot T_{ei}}{\lambda_{\alpha}} = \frac{2 \cdot 0,02 \cdot 1,1 \cdot 10^{-3} + 0,36 \cdot 7 \cdot 10^{-3}}{0,36} = 7,12 \cdot 10^{-3}$$

$T_{вв} = 1,1 \cdot 10^{-3}$ - час відновлення комірки з вимикачем;

$T_{вкл} = 7,0 \cdot 10^{-3}$ - час відновлення кабельної лінії.

Коефіцієнт планового простою, одного ланцюга

$$K_{\Pi} = 1,2 \cdot K_{\Pi\Gamma} = 1,2 \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 2,4 \cdot 10^{-3}$$

де $K_{пт}$ - коефіцієнт планового простою елемента ланцюга, який має найбільший час планового простою, відн. од.

$K_{пт} = K_{пв} = 2 \cdot 10^{-3}$ - коефіцієнт планового простою комірки з вимикачем.

Коефіцієнт аварійного простою одного ланцюга

$$K_{\alpha} = \lambda_{\alpha} \cdot T_{\alpha} = 0,36 \cdot 7,12 \cdot 10^{-3} = 2,56 \cdot 10^{-3}$$

$$K_{ап} = 0,5 \cdot \lambda_{\alpha} \cdot K_{п}^2 = 0,5 \cdot 0,36 \cdot 2,4^2 \cdot 10^{-6} = 1,037 \cdot 10^{-6}$$

Коефіцієнт аварійного простою двох ланцюгів

$$K_a^{(2)} = K_a^2 + 2 K_{ап} = 2,56^2 \cdot 10^{-6} + 2 \cdot 1,037 \cdot 10^{-6} = 8,63 \cdot 10^{-6}$$

Середній час аварійного простою

$$T_a = K_a^{(2)} \cdot 8760 = 8,63 \cdot 8750 = 0,082$$

Збиток від перерви в електропостачанні

$$Y = Y_0 \cdot P_{сг} \cdot T_a = 85 \cdot 4477 \cdot 0,08 = 30400 \text{ грн.}$$

де Y_0 - збиток від аварійного недовідпуску електроенергії

$$Y_0 = 85 \text{ грн./кВт*год.}$$

$$P_{сг} = \frac{P_p \cdot T_m}{8760} = \frac{9365,8 \cdot 4167}{8760} = 4477 \text{ кВт}$$

де $P_{сг}$ - середньорічне навантаження

Розрахунок вірогідного збитку від перерви в електропостачанні варіанта

II виконуємо аналогічно.

Всі результати значення по варіантах зводимо до таблиці 5.3

Табл. 5.3 Техніко-економічні показники варіантів

Показники	Варіант	
	1	2
Капітальні вкладення, тис.грн.	2916	8220
Поточні витрати, тис.грн.	309,6	1224
Вартість втрат електроенергії, тис.грн.	5935	3854
Збиток, тис.грн.	30,4	24
Приведені витрати, тис.грн.	6088	6624,92

Техніко-економічне порівняння варіантів дає можливість обрати варіант I тобто живлення ДОК здійснюється по КЛ-10 кВ з спорудженням ЦРП.

Вибір напруги і схем внутрішнього електропостачання

Вибір напруги для внутрішнього електропостачання чітко визначається попереднім розрахунком, тобто ми обираємо напругу 10 кВ.

Розподіл електроенергії на ДОК може здійснюватись за радіальною, магістральною або змішаною схемою, в залежності від того, де розташовані навантаження, яка споживається потужність та яка надійність електропостачання.

						Арх.
						34
Змн.	Арх.	№ докум.	Підпис	Дата		

6. КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ

6.1 Розрахунок балансу реактивної потужності та вибір пристроїв для її компенсації

На ЦРП деревообробного комбінату на шинах 10 кВ передбачають підтримувати $\text{tg } \varphi = 0,15$.

Без врахування компенсації, реактивне навантаження на шинах 10 кВ складає

$$Q_{0,4} = Q_{p0,4} + Q_{po} = 7773,4 + 259 = 8032,4 \text{ кВар}$$

$$Q_{10} = Q_{0,4} + \Delta Q_{mp} + Q_{p10} = 8032,4 + 657 + 0 = 8689,4 \text{ кВар}$$

Реактивні втрати в трансформаторах ΔQ_{mp} складають:

$$\Delta Q_{mp} = \left(\frac{U_{\kappa\%}}{100} \cdot \frac{S^2}{S_n} + \frac{I_{xx\%}}{100} \cdot S_n \right) \cdot n = \left(\frac{5,5}{100} \cdot 0,7^2 \cdot 1000 + \frac{2}{100} \cdot 1000 \right) \cdot 14 = 657 \text{ кВар}$$

Тоді

$$Q_{\kappa\gamma} = 8689,4 - 9262,1 \cdot 0,15 = 7300 \text{ кВар}$$

Визначимо мінімальну кількість трансформаторів

$$N_0 = \frac{P}{\beta \cdot S_n} = \frac{9151,8}{0,7 \cdot 1000} = 13,07 \approx 14 \text{ шт.}$$

де P - активна споживання в мережах до 1 кВ ($P_{04}=9151,8$ кВт)

Величини Z_{1n} і $Z_{1\kappa}$ визначаються за формулами:

$$Z_{1\kappa} = E \cdot K_{\kappa\gamma} \cdot \left(\frac{U_{\kappa\%}}{U_*} \right)^2 + C_0 \cdot \Delta P_{\kappa\gamma} \quad (6.1)$$

$$Z_{1n} = E \cdot K_{\kappa n} \cdot \left(\frac{U_{\kappa\%}}{U_*} \right)^2 + C_0 \cdot \Delta P_{\kappa n} \quad (6.2)$$

Визначаємо питому вартість втрат по тарифу на електроенергію:

$$C_0 = C'_0 \cdot \tau_m = 10,23 \cdot 2561 = 26199 \text{ грн}$$

Визначимо Z_{1n} і $Z_{1\kappa}$ по (6.1) і (6.2) з урахуванням $U_{\kappa\%}=1,05$ для напруги 10 кВ, $U_{\kappa\%}=1$ для напруги 0,4 кВ, $U=1$, $C_0 = 10,23$ тис. грн./мВт

$$Z_{1\kappa} = 0,3218 \cdot \left(\frac{1,05}{1} \right)^2 + 26,199 \cdot 2,5 = 77,85 \text{ тис.грн./мВар}$$

					Арх.
Змн.	Арх.	№ докум.	Підпис	Дата	35

$$Z_{1н} = 0,32 \cdot 36 \cdot \left(\frac{1}{1}\right)^2 + 26,199 \cdot 4,5 = 129,42 \text{ тис.грн./мВар}$$

Втрати активної потужності в трансформаторах визначаємо, як

$$\Delta P_{mn} = \frac{Q_1^2}{U_{ном}^2} R_{тр\Sigma}, \quad (6.3)$$

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

ВАРІАНТ I

Встановлюємо трансформатори $S_n = 1000$ кВ А із коефіцієнтом завантаження 0,7

$$Q_1 = \sqrt{(N \cdot \beta \cdot S_n)^2 - P^2} \quad (6.4)$$

Тоді по (6.4)

$$Q_1 = \sqrt{(14 \cdot 0,7 \cdot 1,0)^2 - 9,1517^2} = 3,505 \text{ мВар}$$

Потужність конденсаторних батарей на 0,4 кВ

$$Q_{кн} = Q_{p0,4} - Q_1 = 8032,4 - 3505 = 4527,4 \text{ кВар}$$

Потужність компенсації на 10 кВ

$$Q_{кв} = Q_{ку} - Q_{кн} = 7300 - 4527,4 = 2772,6 \text{ кВар}$$

Відповідно до (6.3) маємо

$$\Delta P_{тн} = \frac{3505^2}{10^2} \cdot \frac{12,2}{14} \cdot 10^{-4} = 10,7 \text{ кВт}, \quad (6.3)$$

Тоді відповідно витрати складають

$$Z_1 = 4,527 \cdot 129,42 + 2,773 \cdot 77,85 + 10,7 \cdot 26,199 = 1082,3 \text{ тис. грн.}$$

Таблиця 6.1 – Порівняння варіантів компенсації реактивної потужності

Кількість тр-рів		Q_1	$Q_{кн}$	$Q_{кв}$	K_m	$\Delta P_{ТП}$	З
шт.		мВар	мВар	мВар	тис.грн.	кВт	тис.грн.
14		3,505	4,527	2,773	-	10,707	1082,278
15		5,147	2,885	4,415	96,000	21,550	1312,400
16		6,456	1,576	5,724	144,000	31,786	1528,412

Обираємо варіант 1 $N = 14$ трансформаторів, $Q_{кн} = 4527$ кВар,

$Q_{кв} = 2773$ кВар.

						Арх.
						36
Змн.	Арх.	№ докум.	Підпис	Дата		

6.2 Вибір кількості, потужності та місця розташування пристроїв компенсації реактивної потужності

На ЦРП встановлюємо прилади компенсації на 10 кВ 2 х 1400 кВар тип УК-10-1400ЛУ

На низькій стороні обираємо комплектні конденсаторні прилади тип УК-0,38-360 Н 16 штук.

Потужність КП на 0,4 кВ складає

$$Q_{кн} = 14 \cdot 320 = 4480 \text{ кВар}$$

$$Q_{кв.бк.} = 2 \cdot 1400 = 2800 \text{ кВар}$$

Таблиця 6.2 Вибір кількості і місця розташування КП

Номер КТП	Кількість тр-рів	$S_{н.тр.}$, кВ А	$Q_{ку}$, кВ А	Місце встановлення
КТП-1	2	1000	2 х 320	На шинах ТП 0,4 кВ
КТП-2	2	1000	2 х 320	На шинах ТП 0,4 кВ
КТП-3	2	1000	2 х 320	На шинах ТП 0,4 кВ
КТП-4	2	1000	2 х 320	На шинах ТП 0,4 кВ
КТП-5	2	1000	2 х 320	На шинах ТП 0,4 кВ
КТП-6	2	1000	2 х 320	На шинах ТП 0,4 кВ
КТП-7	2	1000	2 х 320	На шинах ТП 0,4 кВ

7. ВИБІР КІЛЬКОСТІ, ПОТУЖНОСТІ ТРАНСФОРМАТОРІВ

7.1 Вибір кількості та потужності трансформаторів цехових трансформаторних підстанцій

Кількість трансформаторів цехових трансформаторних підстанцій визначається вимогами до надійності електропостачання. Найкращим рішенням з огляду на це є встановлення двох трансформаторів, що забезпечує практично безперебійне живлення цеху.

Номінальну потужність трансформаторів ТП обирають відповідно до питомої щільності навантаження підприємства.

При щільності навантаження до 0,2 кВА/м² доцільно використовувати трансформатори потужністю 1000 кВА.

7.2 Компоновка та місце розташування трансформаторних підстанцій

Вибір потужності, кількості і розміщення трансформаторів виконуємо в табл. 7.1.

Таблиця 7.1 – Вибір потужності, кількості і місця розташування КТП

Номер п/ст	S _p , кВ А	S _{н.тр} , кВ А	Категорія безпереб.	тип тр-рів	K _з норм. реж.	K _з авар. реж.	n, кіль- кість	місце розташування
КТП-1	1497	1000	2,3	ТМЗ- 1000/10	0,75	1,50	2	Головний корпус
КТП-2	1497	1000	2,3	ТМЗ- 1000/10	0,75	1,50	2	Головний корпус
КТП-3	1766	1000	2,3	ТМЗ- 1000/10	0,88	1,77	2	Лісопильний цех
КТП-4	1526	1000	2,3	ТМЗ- 1000/10	0,76	1,5	2	Ремонтно-механічний цех
КТП-5	1487	1000	2,3	ТМЗ- 1000/10	0,74	1,5	2	Цех ДСП (підготовчий)
КТП-6	1575	1000	2,3	ТМЗ- 1000/10	0,79	1,6	2	Інструментальний цех
КТП-7	1221	1000	2,3	ТМЗ- 1000/10	0,61	1,2	2	Стоянка для електрокарів

8. РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКИХ ЗАМИКАНЬ І ВИБІР ОБЛАДНАННЯ ЕЛЕКТРОУСТАНОВОК ТА СИЛОВИХ МЕРЕЖ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

8.1 Розрахунок струмів коротких замикань

Розрахунок струмів КЗ виконаємо для однієї секції шин (рис. 8.1).

Для живлення КТП попередньо обираємо кабель ААШВ-70 мм² з урахуванням перевірки на термічну стійкість (орієнтовно $I_{кз}$ на шинах 10 кВ ЦРП становить 7 кА).

Магістральний кабель від ЦРП до КТП-3 також приймаємо ААШВ-70 мм². Обґрунтування вибору кабелю наведено нижче.

$$I_n = \frac{0,7 \cdot S_n \cdot n}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{0,7 \cdot 1000 \cdot 2}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 77 \text{ А}$$

$$F = \frac{I_n}{j_{эк}} = \frac{7}{1,4} = 5 \text{ мм}^2$$

Струм к.з. на шинах 10 кВ підстанції системи $I_{к.з.}=19 \text{ кА}$.

Вихідна схема для розрахунку з довжинами кабелю показана на рис. 8.1.

Результати розрахунку приведені в табл. 8.1 – 8.3.

						Арх.
						39
Змн.	Арх.	№ докум.	Підпис	Дата		

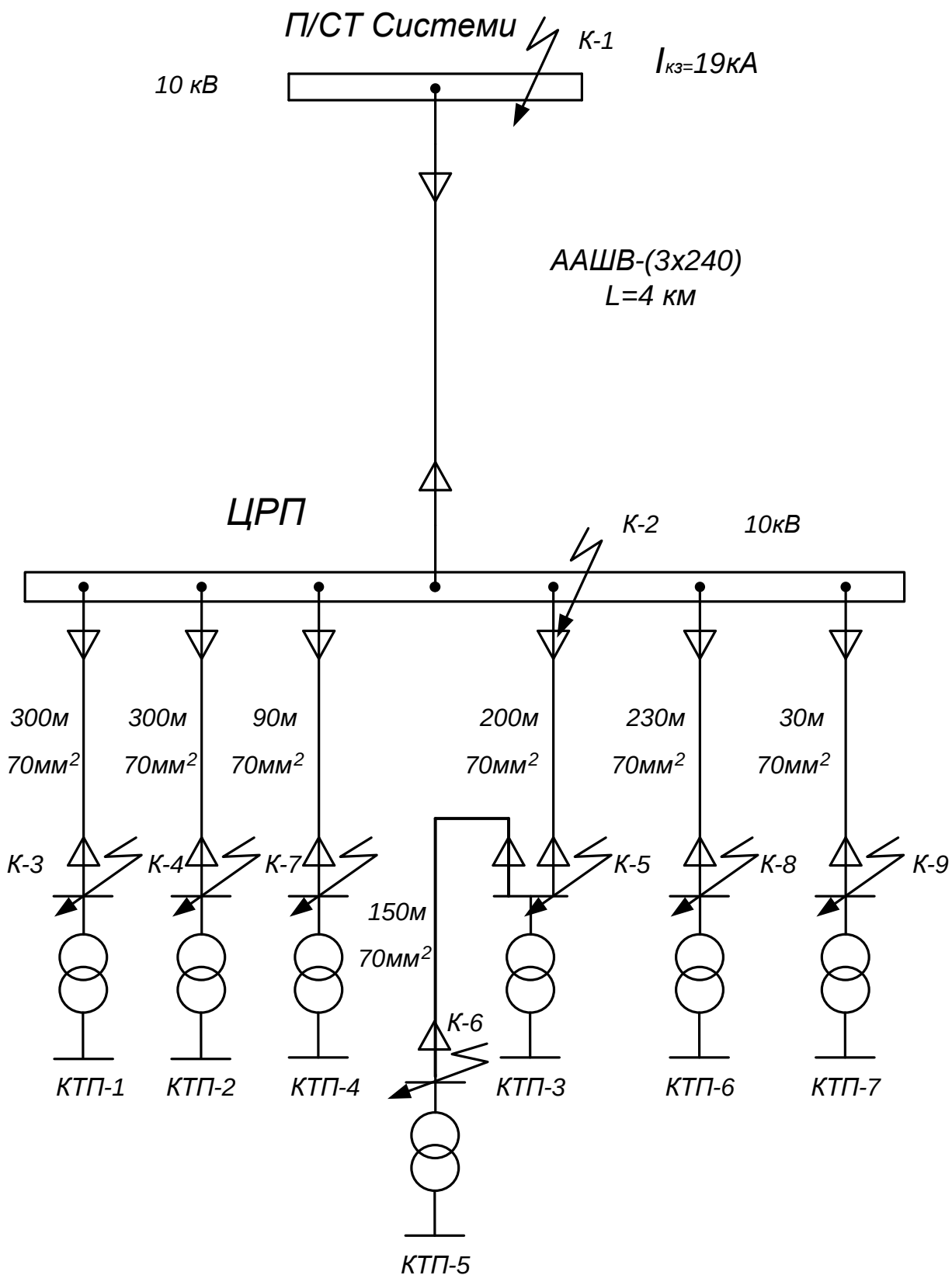


Рисунок 8.1 – Вихідна схема для розрахунку струмів КЗ

					Арх.
Змн.	Арх.	№ докум.	Підпис	Дата	40

Таблиця 8.1-Розрахунок для схеми (рис.8.1)

		Опір системи					
Ім'я ЦП	Р тр.ЦП НН	Х тр.ЦП НН	Х тр.ЦП НН	Рсист (к НН ЦП)	Хсист (к НН ЦП)	Хсист (к НН ЦП)	Хсист (к НН ЦП)
Режим		MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN
-	[Ом]	[Ом]	[Ом]	[Ом]	[Ом]	[Ом]	[Ом]
01	.058	.090	.108	.000	.000	.244	.228

Таблиця 8.2-Розрахунок для схеми (рис.8.1)

Струми КЗ в максимальному режимі						
N п/п	Початок	Кінець	Z траси (к Ун ВН)	I кз 3-фазн.	I кз удар.	
-	-	-	[Ом]	[Ом]	[кА]	[кА]
1	00	01	.063	.343	19.0407	41.9931
2	01	ЦРП	.579	.643	7.1194	10.6617
3	ЦРП	КТП-1	.712	.669	6.2319	9.1235
	НН	КТП-1	.003	.008	26.1172	50.8921
4	ЦРП	КТП-2	.712	.669	6.2319	9.1235
	НН	КТП-2	.003	.008	26.1172	50.8921
5	ЦРП	КТП-3	.677	.662	6.4465	9.4836
	НН	КТП-3	.003	.008	26.2491	51.3721
6	КТП-3	КТП-5	.743	.675	6.0552	8.8322
	НН	КТП-5	.003	.008	26.0029	50.4792
7	ЦРП	КТП-4	.619	.651	6.8282	10.1421
	НН	КТП-4	.002	.008	26.4664	52.1713
8	ЦРП	КТП-6	.681	.663	6.4189	9.4369
	НН	КТП-6	.003	.008	26.2326	51.3116
9	ЦРП	КТП-7	.593	.645	7.0196	10.4820
	НН	КТП-7	.002	.008	26.5678	52.5483

Таблиця 8.3-Розрахунок для схеми (рис.8.1)

			Струми КЗ в мінімальному режимі			
N п/п	Початок	Кінець	Z траси	(к Ун ВН)	I кз 3-фазн.	I кз 2-фазн.
-	-	-	[Ом]	[Ом]	[кА]	[кА]
1	00	01	.053	.327	19.1489	16.5834
2	01	ЦРП	.569	.627	6.9367	6.0074
3	ЦРП	КТП-1	.702	.653	6.0557	5.2444
	НН	КТП-1	.003	.008	24.9919	21.6436
4	ЦРП	КТП-2	.702	.653	6.0557	5.2444
	НН	КТП-2	.003	.008	24.9919	21.6436
5	ЦРП	КТП-3	.666	.646	6.2684	5.4286
	НН	КТП-3	.003	.008	25.1185	21.7532
6	КТП-3	КТП-5	.733	.659	5.8809	5.0930
	НН	КТП-5	.003	.008	24.8822	21.5486
7	ЦРП	КТП-4	.609	.634	6.6471	5.7566
	НН	КТП-4	.002	.008	25.3269	21.9337
8	ЦРП	КТП-6	.671	.646	6.2410	5.4048
	НН	КТП-6	.003	.008	25.1026	21.7395
9	ЦРП	КТП-7	.582	.629	6.8375	5.9214
	НН	КТП-7	.002	.008	25.4242	22.0180

8.2 Вибір високовольтного обладнання та пристроїв силових мереж

Вибір вимикачів на РП-2 виконаний в додатку А (табл. А.1).

Для цього визначимо необхідні розрахункові величини:

$$I_{роб.форс.} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{9365,8}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 541 \text{ А}$$

Зверхперехідний струм КЗ

$$\ddot{I} = 7,1 \text{ кА}$$

Ударний струм КЗ

$$i_{уд} = 10,7 \text{ кА}$$

$$T_a = \frac{X}{\omega \cdot R} = \frac{0,643}{314 \cdot 0,579} = 0,035 \text{ с}$$

Аперіодична складова струму КЗ

$$i_{ат} = \sqrt{2} \cdot \ddot{I} \cdot e^{-\frac{\tau}{T_a}} = \sqrt{2} \cdot 7,1 \cdot e^{-\frac{0,11}{0,035}} = 0 \text{ кА}$$

де

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

Тепловий імпульс при умові $t_{відкл} \gg T_a$ визначаємо по формулі

$$B_k = I^2 \cdot (t_{відкл.} + T_a) = 7,1^2 \cdot (1,5 + 0,035) = 77,3 \text{ (кА)}^2 \text{ с}$$

де $t_{відкл.} = 1,5 \text{ с}$ – час спрацювання ввідного вимикача і захисту.

Вибираємо запобіжник для захисту ТВП (додаток А, табл.А.2). Номінальний струм ТВП типу ТМ-60/10 рівний

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

						Арх.
						42
Змн.	Арх.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вибір перетину жил кабелів виконуємо з урахуванням економічних міркувань табл. 8.4.

$$F_{\min} = \frac{\sqrt{B_{\kappa}}}{C} = \frac{\sqrt{27 \cdot 10^3}}{91} = 57 \text{ мм}^2$$

де $C = 91$ для алюмінію.

Для $t_{\text{відкл}} = 0,5 \text{ с}$

$$B_{\kappa} = I^2 \cdot (t_{\text{відкл.}} + T_a) = 7,1^2 \cdot (0,5 + 0,032) = 27 \text{ (кА)}^2 \text{ с}$$

Вибір трансформаторів струму та напруги для мереж РЗ та А. виконуємо в додатку А (таблиці А.3-А8).

						Арх.
						43
Змн.	Арх.	№ докум.	Підпис	Дата		

Табл.8.4 Вибір перетину жил високовольтних кабелів

№ п/п	Кабельна лінія	Потужність		I _{ав} , А	Перетин, мм ² вибраний по			Прийнято мм ²	Примітки
		S,кВ А	I, А		J _{эк}	I _{доп}	F _{min}		
1	Від системи до ЦРП	9365,8	271,0	541,0	240	95	70	240	2 кабеля марки ААШВ
2	Від ЦРП до КТП-1	1574	43,3	81,0	35	25	70	70	2кабеля марки ААШВ
3	Від ЦРП до КТП-2	1574	43,3	81,0	35	25	70	70	2кабеля марки ААШВ
4	Від ЦРП до КТП-3	3376	92,9	162,0	70	70	70	70	2кабеля марки ААШВ
5	Від КТП-3 до КТП-5	1843	50,7	81,0	35	25	70	70	2кабеля марки ААШВ
6	Від ЦРП до КТП-4	1597	44,0	81,0	35	25	70	70	2кабеля марки ААШВ
7	Від ЦРП до КТП-6	1643	45,2	81,0	35	25	70	70	2кабеля марки ААШВ
8	Від ЦРП до КТП-7	1236	34,0	68,0	35	25	70	70	2кабеля марки ААШВ

9. ВИЗНАЧЕННЯ СТРУМІВ КЗ У СХЕМАХ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ ЕЛЕКТРОУСТАНОВОК, ЯКІ ПРАЦЮЮТЬ ВІД ТРИФАЗНИХ ВЕНТИЛЬНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ

9.1. Специфіка обчислення струмів коротких замикань в електроустановках, де застосовуються вентильні перетворювачі

Питанню обчислення струмів короткого замикання та аналізу перехідних процесів у електроустановках, які містять у собі статичні пристрої для перетворення струму та напруги, присвячено багато досліджень.

Усі представлені методики ґрунтуються на єдиній теоретичній базі, втім, є фрагментованими або розраховані на проведення теоретичних оцінок аварійних станів вентильних перетворювальних установок.

Представлені методики застосовують до трифазних як керованих, так і некерованих випрямлячів, реалізованих за симетричною мостовою конфігурацією або за схемою з двома зворотними зірками й вирівнювальним реактором. Розрахунок коротких замикань ведеться для відносно невеликої електричної відстані. Оцінювання розрахункових струмів КЗ проводиться для правильного підбору вентилів і перевірки їхньої стійкості до теплових перевантажень. Промисловий випрямляч має у своєму складі перетворювальний трансформатор Т та вентильний блок UZ (Рис. 9.1). Перетворювальний трансформатор під'єднаний до шин змінного струму, а вентильна частина — до шин постійного струму (через згладжувальний реактор LR, якщо такий передбачений у схемі).

У великопотужних установках (наприклад, електролізерах, електропечах, тягових агрегатах тощо) до шин як змінного, так і постійного струму може приєднувати кілька агрегатів, що працюють паралельно. Під час розрахунків коротких замикань на загальних шинах або в розподільних мережах постійного струму враховується кількість таких агрегатів. Такі обчислення важливі для

						Арх.
						45
Змн.	Арх.	№ докум.	Підпис	Дата		

визначення параметрів провідників, комутаційної апаратури та захисних пристроїв.

У колі постійного струму можливі два типи коротких замикань: між полюсами і між полюсом та землею (за умови, що в мережі використовується заземлення одного з полюсів або нульового проводу вентиляного перетворювача).

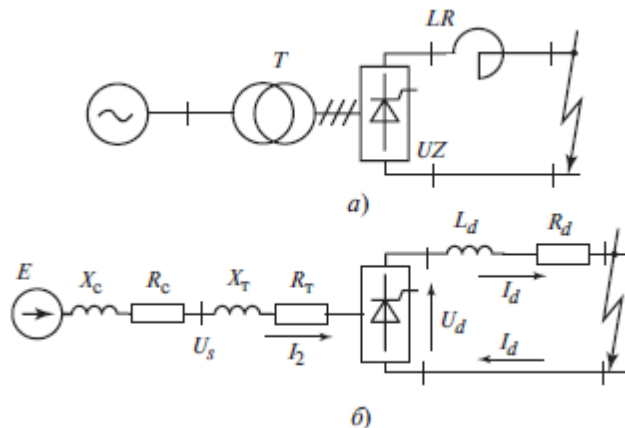


Рис. 9.1. Схема для розрахунку (а) і схема заміщення (б) електроустановки з випрямним агрегатом

Розрахункові методики для таких видів коротких замикань відрізняються лише порядком визначення параметрів схем заміщення.

Коротке замикання, що відбувається на з'єднанні між вентиляним перетворювачем і апаратом для відімкнення, вважається внутрішнім; КЗ, що виникає за апаратом, який здійснює відімкнення, – зовнішнім.

Випрямляч, у якому відбулося внутрішнє коротке замикання, становить загрозу для вентиляних елементів некерованої (діодної) схеми. Випадок короткого замикання некерованого випрямляча еквівалентний трифазному КЗ на перетворювальному трансформаторі, яке може бути усунено виключно роз'єднувачем на змінному струмі. Тривалість спрацювання такого вимикача, як правило, складає 100–200 мс. Такого часу протікання аварійного струму через перетворювач може виявитися недопустимим для напівпровідникових вентилів, оскільки можливий режим теплового пробою.

Внутрішнє коротке замикання також створює небезпеку для керованих

(тиристорних) схем випрямлення, але тут вентиля відмовляють при дещо полегшених умовах, ніж у діодних випрямлячах. У тиристорному випрямлячі зазвичай передбачений електронний захист, який майже миттєво після реєстрації КЗ припиняє подачу імпульсів керування на всі вентиля. Вентилі, на які не протікає струм КЗ, захлопується, і процес їх комутації переривається. Вентилі, які проводять КЗ-струм, залишаються включеними лише на тривалість відповідного напівперіоду, й після нього струм крізь них вже не протікає. Таким чином, при короткому замиканні в керованому випрямлячі створюється двофазне КЗ на виході трансформатора; типова його тривалість — 10–12 мс.

Основна задача реактора LR, що встановлюється у ланцюг одного з полюсів (або нульового проводу), полягає у згладжуванні коливань випрямленого струму в звичайному режимі, а також у обмеженні струму у разі виникнення короткого замикання. Реактор монтується поблизу вентиляльного блока для зменшення ризику КЗ у відрізку між ним і вентиляльним пристроєм. Потреба у використанні реактора визначається вимогами до параметрів якості напруги на шині постійного струму. Індуктивність реакторів у потужних промислових установках здебільшого не перевищує 50 мГн.

Для підбору вентиляльних елементів і перевірки їхньої термостійкості беруться такі паспортні параметри напівпровідників:

$I_{уд}$ — граничний неперіодичний струм приладу, А — це максимальна амплітуда синусоїдальної хвилі струму за 10 мс при межевій температурі переходу (без зворотної напруги);

$\int i^2 dt$ - захисний параметр, $A^2 \cdot c$ - найбільше допустиме значення інтегралу Джоуля за часовий відрізок 10 мс;

R_d — диференціальний опір приладу, Ом.

Визначення струмів при короткому замиканні полюсів некерованого випрямляча якщо згладжувальний реактор відсутній. Оскільки коротке замикання полюсів некерованого випрямляча еквівалентне трифазному короткому замиканню на перетворювальному трансформаторі, то його аналіз виконується традиційним способом, застосовуваним до трифазних

						Арх.
Змн.	Арх.	№ док.м.	Підпис	Дата		47

мереж змінного струму. Рис.9. 2) слід зводити дорівня напруги на вторинній (вентильній) обмотці в іменованій одиницях виміру. Варто прийняти:

$L_d = 0, R_d = 0$. З урахуванням особливостей вентильних систем підлягає обчисленню таке:

- амплітуда періодичної складової фазного струму обмотки перетворювального трансформатора (одна обмотка), $A I_m$;
- гранична амплітуда струму короткого замикання (I_{max}), A ;
- ударний струм, який проходить через напівпровідниковий прилад ($I_{уд}$), A ;
- тепловий ефект від струму КЗ для напівпровідникового приладу $(I_{eq}^2 t_k), A^2 \cdot c$;
- максимальне значення випрямленого струму у точці КЗ ($I_{d max}$), A ;
- середнє значення випрямленого струму у точці КЗ у сталому режимі КЗ (I_{dy}), A .

Визначення струмів при короткому замиканні полюсів некерованого випрямляча за умови згладжувального реактора При встановленому реакторі у колі випрямленого струму ідеально згладжений випрямлений струм, та ($L_d = \infty$) активний опір реактора не береться уваги ($R_d = 0$).

Згладжувальний реактор не дозволяє різко підвищити випрямлений струм у разі КЗ в його ланцюзі, тому обчислюється усталений режим роботи перетворювача.

В разі КЗ на стороні випрямляча після реактора, середнє випрямлене значення напруги U_d на затискачах вентилля складе нуль (як і в місці КЗ). Водночас напруга матиме значну змінну, бере на себе реактор. У ті моменти, коли $U_d < 0$, струм I_d підтримується за рахунок енергії магнітного поля реактора. У фази, коли $U_d > 0$, реактор енергію заощаджує.

						Арх.
Змн.	Арх.	№ докум.	Підпис	Дата		48

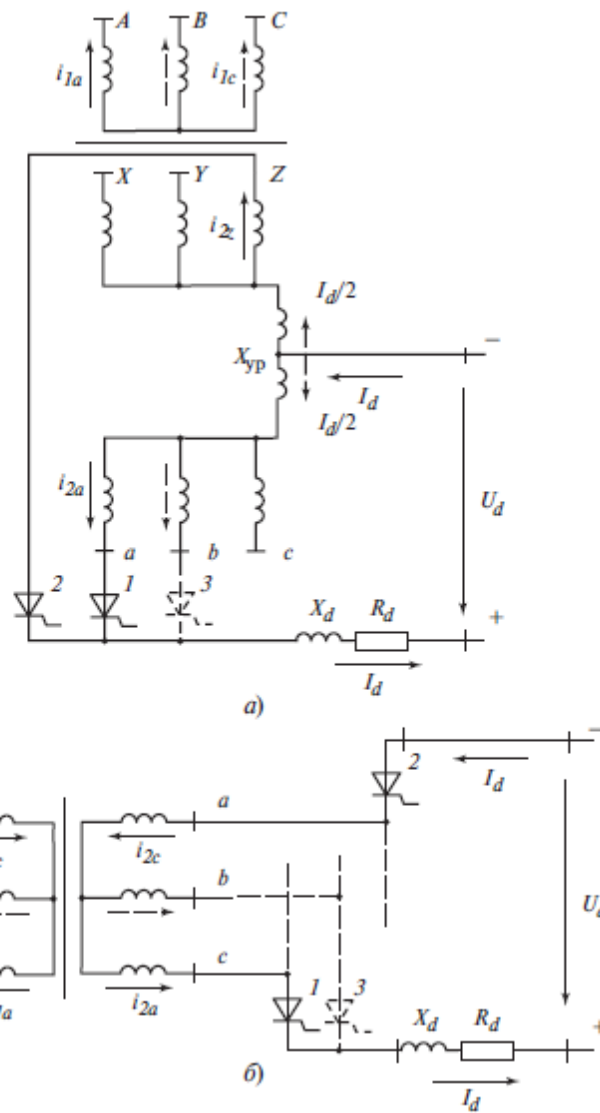


Рис. 9.2. Схеми заміщення перетворювачів при груповій роботі (по 2–3 вентилі):

- а – дві зворотні зірки зі зрівняльним реактором;
- б – трифазна мостова

У сталому режимі короткого замикання у випрямляча з трифазною мостовою схемою вентилі підключаються по черзі групами з 3–4 вентилів з певними кутами комутації $\gamma = \pi + 3$, з жорстко зафіксованими моментами підключення $\alpha = \alpha_{зми} + \pi/6$. У такому режимі, вентильна обмотка перебуває у стані трифазного короткого замикання. Для схеми випрямлення за двома зворотними зірками зі зрівняльним реактором вентилі завжди працюють групами по три у кожному плечі. В такій конфігурації обидві вентильні

обмотки знаходяться у стані трифазного короткого замикання. Точку короткого замикання живлять обидва плеча випрямляча, незалежно й майже не взаємодіючи, що відповідає роботі двох мостових схем з виходом у спільну нейтраль. В обох сценаріях кожний із провідних вентилів може залишатися включеним до π

Середнє значення випрямленого струму в точці короткого замикання для усталеного режиму КЗ для перетворювачів визначається видом випрямлення:

- трифазна мостова

$$I_{dy} = I_m,$$

- дві зворотні зірки зі зрівняльним реактором

$$I_{dy} = 2I_m,$$

де I_m — амплітуда періодичної складової фазного струму у вентиляльній обмотці під час її трифазного короткого замикання.

Визначення струмів при короткому замиканні полюсів керованого випрямляча. Зазвичай у схемах із керованими випрямлячами використовується катодний реактор, індуктивність якого повинна бути достатньою для обмеження КЗ-струму на початку процесу до рівня, безпечного для тиристорів, і за потреби — для зрівнювання пульсацій випрямленого струму під час нормальної експлуатації. Зрівняльний реактор (у схемі дві зворотні зірки) слугує для забезпечення шестифазного режиму роботи під час штатного функціонування. Його індуктивність невелика, він швидко насичується при різкому зростанні випрямленого струму.

При короткому замиканні полюсів випрямляча та при ефективній роботі електронного захисту тиристорів розрізняють такі види КЗ:

- однократне двофазне коротке замикання у вентиляльній обмотці перетворювального трансформатора — у схемі трифазного мостового випрямлення;

- однократне однофазне замикання окремої вентиляльної обмотки перетворювального трансформатора — за двозірковою схемою з вирівнювальним реактором.

Методика розрахунку струмів короткого замикання в схемах із керованими й некерованими випрямлячами повинна охоплювати всі можливі

						Арх.
						50
Змн.	Арх.	№ докум.	Підпис	Дата		

аварійні ситуації, що враховуються при виборі й перевірці апаратури й захистів вентильного перетворювача промислових електроустановок. Докладна методика подана у пункті 9.2.

9.2. Визначення струмів КЗ трифазних вентильних перетворювачів

Розрахунок струмів короткого замикання на полюсах випрямного перетворювача. При побудові схеми заміщення (рис. 9.2) всі елементи слід зводити до рівня напруги вентильної (вторинної) обмотки трансформатора у іменованій системі одиниць. Визначення параметрів схеми заміщення для мереж змінного струму і перетворювальних трансформаторів.

Приклади схем заміщення трифазних вентильних перетворювачів: для схеми двох зворотних зірок із вирівнювальним реактором та для трифазної мостової схеми наведені на рис. 9.2.

У катодному реакторі з параметрами X_d , R_d при розрахунках умов КЗ його розглядають як обмежувач струму, а для нормального робочого режиму постійного струму — як згладжувальний елемент.

Розрахунки струмів КЗ для схем із дванадцятифазним перетворенням здійснюють із використанням ЕОМ, наприклад, застосовуючи матричні або топологічні методи розрахунків розгалужених електричних мереж.

Розрахункові умови. Обчислення струмів КЗ для підбору й перевірки агрегатного устаткування, а також для вибору захисної автоматики, проводиться з урахуванням найбільш напружених (небезпечних) умов:

- КЗ полюсів випрямляча не викликає виникнення дуги у місці ушкодження (за винятком електроустановок із струмами КЗ понад 100 кА);

- мить появи КЗ збігається з моментом відкривання якого-небудь з вентилів.

До розрахунку належать: амплітуда періодичної складової фазного струму вторинної обмотки перетворювального трансформатора, найбільше значення струму КЗ у колі змінного струму та вентилів, імпульсний струм у напівпровідниковому елементі, а також граничні та середні величини випрямленого струму у точці виникнення ушкодження.

						Арх.
						51
Змн.	Арх.	№ докум.	Підпис	Дата		

Додатково потрібно перевірити тепловий вплив струму КЗ на напівпровідниковий елемент.

Обчислення струмів у разі КЗ полюсів некерованого випрямляюч- або агрегату за умови (без урахування) катодного реактора. Під час визначення струмів у ситуації, коли у некерованого випрямляча не встановлено катодного реактора, враховують, що КЗ полюсів такого випрямляча відповідає трифазному КЗ на вторинних (вентильних) обмотках перетворювального трансформатора.

Величину амплітуди періодичної складової фазного струму у вторинній (вентильній) обмотці перетворювального трансформатора (I_m) в амперах можна знайти за формулою

$$I_m = \frac{\sqrt{2}E}{\sqrt{R_{\Sigma}^2 + X_{\Sigma}^2}}, \quad (9.1)$$

де E — діюче значення фазної ЕРС трифазної мережі змінного струму, В; R_{Σ} — повний активний опір елементів одного фазного кола змінного струму, Ом; X_{Σ} — повний індуктивний опір елементів одного фазного кола змінного струму, Ом.

Вказані величини обчислюють згідно з такими рівняннями:

$$E = \frac{U_{ном2}}{\sqrt{3}}; \quad R_{\Sigma} = R_c + R_t + R_A + R_B;$$

$$R_B = R_d / (n / m); \quad X_{\Sigma} = X_c + X_t,$$

де $U_{ном2}$ — лінійна напруга вторинної (вентильної) обмотки, В; R_c , X_c — еквівалентні активний та індуктивний опори мережі змінного струму, Ом; R_t , X_t — активний й індуктивний опори трансформатора, приведені до однієї вентильної обмотки, Ом; R_A — активний опір анодних провідників, Ом; R_B — активний опір вентиля з урахуванням n послідовно та m паралельно підключених напівпровідникових елементів, Ом.

Граничне значення струму КЗ у колі змінного струму і вентиля (I_{max}) в амперах знаходять за співвідношенням

$$I_{max} = (I_{max} / I_m) I_m, \quad (9.2)$$

					Арх.
					52
Змн.	Арх.	№ докум.	Підпис	Дата	

де $I_{\max} / I_m$ — імпульсний коефіцієнт ланцюга КЗ, який знаходять за кривою 1 на рис. 9.3 залежно від співвідношення R/X короткозамкненого кола.

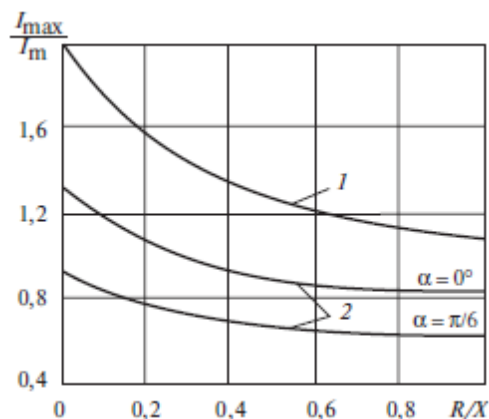


Рис. 9.3. Графік залежності відношення максимальної амплітуди струму КЗ до амплітуди його періодичної складової від співвідношення R/X короткозамкненого кола:

1 — некерований випрямляч; 2 — керований випрямляч із електронним захистом.

Імпульсний струм, що проходить у напівпровідниковому елементі, ($i_{уд}$) в амперах визначають з урахуванням m паралельних гілок у колі групового вентиля, тобто

$$i_{уд} = I_{\max} / m. \quad (9.3)$$

Перевіряючи теплову дію струму КЗ на напівпровідниковий пристрій, користуються співвідношенням, використовуючи співвідношення

$$I_{ef}^2 t_{k \leq m} \int_0^{t_k} i^2 dt, \quad (9.4)$$

де t_k — тривалість КЗ, с; I_{ef} — ефективне значення струму, що протікає через вентиль під час КЗ, яке допустимо брати рівним

$$I_{ef} = I_{\max} / \sqrt{2} \quad \text{для } t_k \leq 20 \text{ мс}$$

$$\text{та } I_{ef} = I_{\max} \sqrt{2} \quad \text{для } t_k > 20 \text{ мс}$$

Найбільше значення випрямленого струму у місці виникнення ушкодження

($I_{d \max}$) в амперах визначають за такими виразами:

у разі виконання перетворювача за схемою дві зустрічні зірки зі зрівнювальним реактором

$$I_{d \max} = 2I_{\max}; \quad (9.5)$$

за виконання перетворювача за трифазною мостовою схемою

$$I_{d \max} = I_{\max}. \quad (9.6)$$

Якщо у колах групових вентилів мосту встановлені анодні реактори, застосовують формулу

$$I_{d \max} = 2,61I_m,$$

де $I_m = \sqrt{2}E / (X_{\Sigma} + X_{ap})$; X_{ap} — індуктивний опір анодного реактора, Ом.

Середнє випрямленого струму у точці ушкодження для усталеного режиму КЗ визначають такими рівняннями:

при виконанні перетворювачів за схемою дві зустрічні зірки зі зрівнювальним реактором

$$I_{dy} = (6/\pi)I_m); \quad (9.7)$$

для перетворювачів за трифазною мостовою схемою

$$I_{dy} = (3/\pi)I_m \quad (9.8)$$

Обчислення струмів у випадку КЗ полюсів некерованого випрямляча за наявності (із врахуванням) катодного реактора. За умови, що у некерованого випрямляча є катодний реактор, під час обчислень припускають, що випрямлений струм максимально вирівняний.

У розглянутій ситуації розрахунковим режимом визначають сталий режим КЗ, оскільки початкові струми КЗ значно обмежені катодним реактором. Водночас слід пам'ятати, що при сталому КЗ полюсів некерованого випрямляча з катодним реактором, це еквівалентно трифазному КЗ на вторинних (вентильних) обмотках перетворювального трансформатора.

Середнє значення випрямленого струму у точці ушкодження для усталеного КЗ (I_{dy}) у амперах розраховують за такими формулами:

						Арх.
						54
Змн.	Арх.	№ докум.	Підпис	Дата		

- без урахування активних опорів кола постійного струму і для схеми дві зустрічні зірки зі зрівнювальним реактором

$$I_{dy} = 2I_m; \quad (9.9)$$

- з врахуванням активних опорів кола постійного струму для тієї ж схеми випрямлення

$$I_{dy} = \frac{1,01E}{\sqrt{(3/8R_{\Sigma} + R_{d\Sigma})^2 + (3/8X_{\Sigma})^2}}; \quad (9.10)$$

- без урахування активних опорів кола постійного струму для трифазної мостової схеми перетворювача

$$I_{dy} = I_m; \quad (9.11)$$

- з урахуванням активних опорів кола постійного струму для такої ж схеми випрямлення

$$I_{dy} = \frac{2,02E}{\sqrt{(3/2R_{\Sigma} + R_{d\Sigma})^2 + (3/2X_{\Sigma})^2}}, \quad (9.12)$$

де $R_{d\Sigma}$ - сумарний активний опір замкнених кіл постійного струму випрямляча, Ом, що, як правило, визначають як

$$R_{d\Sigma} = R_d + R_{ош} + R_{кб} + R_{пк} + R_{тк}, \quad (9.13)$$

де R_d — опір катодного реактора, Ом;

$R_{ош}$ — опір ошиновки, Ом;

$R_{кб}$ — опір вихідних кабелів, Ом;

$R_{пк}$ — перехідний опір контактних з'єднань, Ом;

$R_{тк}$ — опір струмових катушок, Ом.

Для визначення мінімального струму у сталому режимі КЗ потрібно враховувати вплив активного опору електричної дуги в точці КЗ, а також збільшення активного опору жил кабелю через нагрівання струмом КЗ.

В такому випадку повний активний опір кола КЗ визначається як

$$R_{d\Sigma t} = R_d + R_{ош} + K_v R_{кб} + R_{пк} + R_{тк} + R_d,$$

де K_v — коефіцієнт збільшення активного опору кабелю, який залежить від його перерізу, струму та часу КЗ; R_d — опір дуги.

Розрахунок струмів при КЗ полюсів керованого випрямляча. Якщо у керованого випрямляча відсутній електронний захист вентилів (тиристорів) та не застосовується швидкодіюча система регулювання кутів, розрахунок струмів при КЗ полюсів проводиться за описаною вище методикою. В таких умовах необхідно визначати амплітуду періодичної складової струму короткозамкненого кола, максимальний струм у цьому колі та імпульсний струм через напівпровідниковий пристрій. Окрім цього, перевіряють вплив струму на нагрів напівпровідникового елемента.

У разі наявності електронного захисту у керованому випрямлячі (тиристорів) при виникненні КЗ полюсів і коректній роботі електронного захисту, мають місце наступні ситуації:

- 1) для перетворювачів за трифазною мостовою схемою (див. рис. 9.2, б) — одноразове двофазне КЗ вентильної обмотки перетворювального трансформатора;
- 2) при виконанні перетворювача за схемою дві зустрічні зірки зі зрівнювальним реактором (див. рис. 9.2, а) — одноразове однофазне КЗ в кожній вентильній обмотці перетворювального трансформатора.

Амплітуду періодичної складової струму короткозамкненого кола обмотки трансформатора, вентилів та катодного реактора (I_m) у амперах знаходять за виразами:

- для схеми дві зустрічні зірки зі зрівнювальним реактором

$$I_m = \frac{\sqrt{2}E}{\sqrt{(R_\Sigma + R_{d\Sigma})^2 + (R_\Sigma + \omega L_d)^2}}; \quad (9.14)$$

- для виконання перетворювачів за трифазною мостовою схемою

$$I_m = \frac{\sqrt{3}\sqrt{2}E}{\sqrt{(2R_\Sigma + R_{d\Sigma})^2 + (2R_\Sigma + \omega L_d)^2}}, \quad (9.15)$$

де ω — кутова частота мережі змінного струму, 1/с.

Максимальна величина струму короткозамкненого кола (обмоток

трансформатора, вентилів і катодного реактора) ($I_{\max}$) у амперах визначають за формулою (9.3), а імпульсний коефіцієнт ланцюга КЗ $I_{\max} / I_m$

						Арх.
						56
Змн.	Арх.	№ докум.	Підпис	Дата		

— за кривою 2 на рис. 9.3 залежно від співвідношення R/X короткозамкненого кола та кута включення α вентилів перетворювача.

Імпульсний струм у напівпровідниковому елементі ($i_{уд}$) в амперах визначають з урахуванням m паралельних гілок у ланцюзі групового вентиля, використовуючи формулу (9.3).

Тепловий вплив струму КЗ на напівпровідниковий пристрій перевіряють з використанням співвідношення

$$(i_{yo}/\sqrt{2})^2 t_k \leq \int_0^{t_k} i^2 dt \quad (9.16)$$

де t_k — час тривалості КЗ, с, що при співвідношенні R/X короткозамкненого кола становить 12-15 мс.

Якщо у керованому випрямлячі застосована високошвидкісна система регулювання кута включення (без блокування керуючих імпульсів), струми КЗ у будь-який момент часу обчислюють шляхом математичного моделювання перехідних процесів за допомогою ЕОМ.

10. ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі виконано розробку системи електропостачання деревообробного комбінату з урахуванням вимог надійності, економічності та енергоефективності роботи підприємства.

У процесі виконання роботи проведено розрахунок електричних навантажень силових та освітлювальних мереж комбінату. За результатами розрахунків визначено розрахункові активні та реактивні навантаження окремих виробничих підрозділів і підприємства в цілому.

Побудовано добові та річні графіки електричних навантажень, що дозволило визначити характер споживання електроенергії протягом року та оцінити режими роботи електротехнічного обладнання підприємства. На підставі отриманих результатів визначено основні енергетичні показники роботи комбінату.

Виконано побудову картограми електричних навантажень і визначено центр електричних навантажень підприємства. Це дозволило обґрунтовано вибрати місце розташування центрального розподільчого пункту, що забезпечує скорочення довжини внутрішньозаводських мереж та зменшення втрат електричної енергії.

Розглянуто та проаналізовано варіанти зовнішнього електропостачання деревообробного комбінату. На основі техніко-економічного порівняння встановлено, що найбільш доцільним є живлення підприємства кабельною лінією напругою 10 кВ із спорудженням центрального розподільчого пункту. Даний варіант забезпечує мінімальні приведені витрати та є економічно обґрунтованим.

Виконано розрахунок балансу реактивної потужності та розроблено систему її компенсації. Для підвищення коефіцієнта потужності передбачено встановлення батарей статичних конденсаторів на шинах 10 кВ та 0,4 кВ. Реалізація запропонованих заходів дозволяє зменшити перетоки реактивної потужності, втрати електроенергії в мережах та підвищити ефективність роботи системи електропостачання.

						Арх.
						58
Змн.	Арх.	№ докум.	Підпис	Дата		

Обґрунтовано вибір кількості та потужності трансформаторів цехових підстанцій. Для забезпечення необхідної надійності електропостачання споживачів II та III категорій прийнято встановлення двотрансформаторних комплектних трансформаторних підстанцій з трансформаторами потужністю 1000 кВА.

Проведено розрахунок струмів короткого замикання в характерних точках мережі, що стало основою для правильного вибору високовольтного обладнання, комутаційних апаратів, трансформаторів струму та напруги, а також силових кабельних ліній. Обране обладнання відповідає вимогам термічної та динамічної стійкості до струмів короткого замикання.

У спеціальному розділі роботи розглянуто особливості визначення струмів коротких замикань в електроустановках, які працюють із використанням вентильних перетворювачів. Проведений аналіз дозволив оцінити вплив таких установок на аварійні режими роботи електричних мереж та визначити особливості вибору захисного обладнання.

Таким чином, у роботі розроблено комплексну систему електропостачання деревообробного комбінату, яка забезпечує необхідний рівень надійності електропостачання, відповідає сучасним вимогам енергоефективності та може бути використана як основа для подальшого проєктування й модернізації електрогосподарства підприємства.

						Арх.
						59
Змн.	Арх.	№ докум.	Підпис	Дата		

11. ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Електричне обладнання підстанцій систем електропостачання : навч. посіб. / А. Ю. Орлович, П. Г. Плешков, О. А. Козловський [та ін.] ; М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. – Кропивницький: Лисенко В.Ф., 2019. – 272 с.
2. Шкрабець, Ф. П. Основи електропостачання : навч. посіб. / Ф. П. Шкрабець, П. Г. Плешков. - Кіровоград : РВЛ КНТУ, 2010. - 408 с.
3. Електротехнічні системи електроспоживання : [навч. посіб.] / П. Г. Плешков, В. В. Зінзура, Н. Ю. Гарасьова [та ін.]; за заг. ред. П. Г. Плешкова. - Кропивницький : ЦНТУ, 2021. – 208 с.
4. Правила улаштування електроустановок. Відокремлений підрозділ «Науково-проектний центр розвитку Об'єднаної енергетичної системи України» державного підприємства «Національна енергетична компанія «Укренерго» (НПЦР ОЕС України). Наказ Міністерства енергетики України від 21.07.2017 №476, 2017. – 617 с.
5. Електропостачання: навч. посіб. / Ф.П.Шкрабець; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Д.: НГУ, 2015. – 540 с.
6. Енергетичний інжиніринг та менеджмент. Проектування ефективних енергетичних систем: навч. посіб. / П. Г. Плешков, С. В. Серебренніков, О. І. Сіріков, І. В. Савеленко; ред.: Плешков П. Г. – Кропивницький : ЦНТУ, 2018.– 156 с.
7. Кваліфікаційна робота бакалавра : метод. рекомендації до структури та оформлення випускної кваліфікаційної роб. для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня зі спец. 141 - Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / [уклад. : П. Г. Плешков, Н. Ю. Гарасьова, А. І. Котиш та ін.] ; М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. – Кропивницький : ЦНТУ, 2023. – 80 с.
8. Перехідні процеси в системах електропостачання: Підручник для вузів. Вид.2-е, / Г. Г. Півняк, В. М. Винославський, А. Я. Рибалко, Л. І. Несен / За ред. Академіка НАН України Г. Г. Півняка. – Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2002. – 597 с.

						Арх.
						60
Змн.	Арх.	№ докум.	Підпис	Дата		

9. Проектування схем електропостачання: Методичні вказівки до виконання організаційно-економічних розрахунків /Укл. О.О.Ляшенко. Кіровоград КІСМ, 1998.- 24с

10. Губський А.І. Цивільна оборона. Підручник для вищих учбових закладів. – К.: Міністерство Освіти, 1995. – 216 с.

11. Методика розрахунків плати за перетоки реактивної електроенергії між енергопостачальною організацією та її споживачами. НКРЕ України, 1997.

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

ДОДАТКИ

Табл.А.1 Вибір вимикачів в ЗРУ-10 кВ

Параметри вимикача	Умови вибору	Перевірка умов вибору			
		Ввідний	Секційний	Лінійний (КТП-2х1000)	Лінійний (магістраль)
Номинальна напруга, кВ	$U_{уст} \leq U_n$	10=10	10=10	10=10	10=10
Довготривалий номінальний струм, А	$I_{роб.форс} \leq I_{дл.н}$	$541 \leq 630$	$271 \leq 630$	$81 \leq 630$	$162 \leq 630$
Ном. струм дин. стійкості, кА симетричний і асиметричний	$I'' \leq I_{дин.с}$ $i_y \leq \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot I_{д.с}$	$7,1 < 20$	$7,1 < 20$	$7,1 < 20$	$7,1 < 20$
		$10,7 < 51$	$10,7 < 51$	$10,7 < 51$	$10,7 < 51$
Ном. струм відключення, кА симетричний асиметричний	$I_{нт} \leq I_{відкл.н}$ $i_{a\tau} + i_{n\tau} \leq \sqrt{2} \cdot I_{відкл.н} \cdot (1 + \beta_n)$	$7,1 \leq 20$	$7,1 \leq 20$	$7,1 \leq 20$	$7,1 \leq 20$
		$7,1 \leq 28$	$7,1 \leq 28$	$7,1 \leq 28$	$7,1 \leq 28$
Тепловий імпульс(кА ²)с	$B_k \leq I_{т.н}^2 \cdot t_{т.н}$	$77,3 \leq 3200$	$52 \leq 3200$	$27 \leq 3200$	$27 \leq 3200$
Тип		ВР-1-10- 20/630У3	ВР-1-10- 20/630У3	ВР-1-10- 20/630У3	ВР-1-10- 20/630У3

Таблиця А.2 – Запобіжник для захисту ТВП

Умови виробу	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_{уст} \leq U_n$	10 кВ	10 кВ
$I_n \leq I_{н.пл.вс.}$	3,47 А	5 А
$\ddot{I} \leq I_{відкл.}$	7,1 кА	20 кА

Табл.А.3 Завантаження фаз контрольно вимірювальними приладами

Прилади	Тип	Потужність В А		
		Фаза А	Фаза В	Фаза С
Амперметр	Э-377	0.1	0.1	0.1
Лічильник активної та реактивної енергії	ZFB/405	0.3	0.3	0.3
Всього		0.4	0.4	0.4

Табл.А.4 Вибір ввідного ТС типу ТЛМ-10-600

Умови вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_{уст} \leq U_n$	10 кВ	10 кВ
$I_{р.мах} \leq I_n$	541А	600А
$i_y \leq K_D \sqrt{2} \cdot I_n$	17,1 кА	100 кА
$B_k \leq (K_m \cdot I_n)^2 \cdot t_m$	77,3 (кА) ² с	156(кА) ² с
$Z_2 \leq Z_{2н0.5}$	0,348 Ом	0,4 Ом

Табл.А.5 Завантаження вторинного ланцюга трансформатора струму

Обладнання	Тип	Навантаження в (А)	
		Фаза А	Фаза В
Амперметр	Е-377	0.1	0.1
Лічильник активної енергії	САЗУ-5007	1.5	1.5
Ватметр	Д-365	0.5	0.5
Всього		2.1	2.1

Табл.А.6 Вибір ТС відходячих ліній ТПЛ-10-100

Умови вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_{уст} \leq U_n$	10 кВ	10 кВ
$I_{p.max} \leq I_n$	81 А	100 А
$i_y \leq K_D \sqrt{2} \cdot I_n$	10,7 кА	25 кА
$B_k \leq (K_m \cdot I_n)^2 \cdot t_m$	27(кА) ² с	919 (кА) ² с
$Z_2 \leq Z_{2н0.5}$	0,3Ом	0.6 Ом

Табл.А.7 Навантаження вторинної мережі ТН

Прилад	Тип	Кіль- кість	Потужність			
			P , Вт	P_{Σ} , Вт	Q , Вар	Q_{Σ} , Вар
1	2	3	4	5	6	7
Лічильник активної енергії	САЗУ-5007	7	1,5	10,5	5,8	40,6
Лічильник реактивної енергії	СРЧУ-5008	1	1,5	1,5	5,8	5,8
Комбінований лічильник	ZFB/405	1	9	9	4,5	4,5
Вольтметр	Е-377	1	2	2		
Ватметр	Д-365	6	1,5	9		
Варметр	Д-365	1	1,5	1,5		
Всього				33,5		50,9

Табл.А.8 Вибір ТН типу НАМИ-10

Умови вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_{уст} \leq U_n$	10 кВ	10 кВ
$S_{\Sigma} \leq S_{н0.5}$	54 ВА	120 ВА