

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет будівництва, транспорту та енергетики

Кафедра «Електротехнічні системи та енергетичний менеджмент»

“Допущено до захисту”

Зав. кафедри ЕТС та ЕМ

канд. техн. наук, професор

Петро ПЛЄШКОВ

“ ” 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ

ВИЩОЇ ОСВІТИ

на тему:

«Розроблення системи електропостачання механоремонтного підприємства»

Виконав здобувач вищої освіти

IV курсу, групи ЕЕ–23мб,

ОПП «Електроенергетика,

електротехніка та електромеханіка»

спеціальності 141 «Електроенергетика,

електротехніка та електромеханіка»

Володимир ПРОЦЕНКО

« » 2026 р.

Керівник роботи

професор, канд. техн. наук

Лариса ВІХРОВА

« » 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

Проценка Володимира Вадимовича

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи Розроблення системи електропостачання механоремонтного підприємства

Development of a power supply system for a mechanical repair enterprise

2. Керівник роботи Віхрова Лариса Григорівна, канд. техн. наук, професор
(прізвище, ім'я, по-батькові, науковий ступінь, вчене звання)

3. Строк подання роботи до захисту 01.06.2026 р.

4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи. Метою роботи є розроблення системи електропостачання механоремонтного підприємства. Для досягнення поставленої мети роботи необхідно вирішити наступні завдання: 1. Провести розрахунок електричних навантажень. 2. Провести розрахунок картограми електричних навантажень. 3. Здійснити техніко-економічне обґрунтування вибору схем електропостачання. 4. Провести розрахунок режимів реактивної потужності системи електропостачання. 5. Здійснити вибір кількості та потужності трансформаторів підприємства. 6. Провести розрахунок струмів коротких замкнень та здійснити вибір високовольтного обладнання. 7. Провести розрахунок спеціального розділу 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
<i>1</i>	<i>Розрахунок електричних навантажень</i>	<i>13.04-20.04</i>	
<i>2</i>	<i>Картограма електричних навантажень</i>	<i>21.04-25.04</i>	
<i>3</i>	<i>Техніко-економічне обґрунтування вибору схем електропостачання</i>	<i>26.03-01.05</i>	
<i>4</i>	<i>Режими реактивної потужності системи електропостачання</i>	<i>02.05-08.05</i>	
<i>5</i>	<i>Вибір кількості та потужності трансформаторів підприємства</i>	<i>09.05-11.05</i>	
<i>6</i>	<i>Розрахунок струмів коротких замкнень та вибір високовольтного обладнання</i>	<i>12.05-18.05</i>	
<i>7</i>	<i>Спеціальний розділ</i>	<i>19.05-25.05</i>	
<i>8</i>	<i>Оформлення презентаційної частини БКР</i>	<i>26.05-28.05</i>	
<i>9</i>	<i>Оформлення пояснювальної записки БКР</i>	<i>29.05-31.05</i>	

Дата видачі завдання
«___» _____ 2026 р.

Підпис керівника _____

Лариса ВІХРОВА

Завдання прийнято до виконання
«___» _____ 2026 р.

Підпис здобувача _____

Володимир ПРОЦЕНКО

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: 69 с.; 10 рис.; 27 табл.; 5 джерел

Проценко В. В. Розроблення системи електропостачання механоремонтного підприємства. – Рукопис.

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

Дана робота присвячена проєктуванню надійної та ефективної електромережі для механоремонтного підприємства. У процесі виконання дослідження було здійснено комплекс базових електротехнічних обчислень.

Основні розрахункові та проєктні етапи роботи наступні: визначення очікуваних показників споживання електроенергії технологічним обладнанням, аналіз режимів та підбір засобів компенсації реактивної потужності, обчислення можливих значень струмів при аварійних замиканнях, обґрунтування оптимальної конфігурації як внутрішньозаводської, так і зовнішньої мережі живлення, підбір відповідних комутаційних апаратів та установок високої напруги.

Окрему частину дослідження присвячено актуальним питанням підвищення загальної енергоефективності промислового об'єкта. Найбільший акцент зроблено на мінімізації втрат активної енергії всередині місцевих знижувальних підстанцій. Результати виконаного техніко-економічного аналізу переконливо доводять, що інтеграція сучасних систем автоматизації є надзвичайно вигідним кроком. Використання алгоритмів автоматичного контролю за режимами роботи цехового трансформаторного обладнання (зокрема, своєчасне відключення недовантажених потужностей у години мінімального споживання) дозволяє суттєво знизити нерациональні фінансові витрати підприємства.

Ключові слова: розрахункове навантаження, реактивна потужність, силовий трансформатор, енергозбереження

ABSTRACT

Qualification work: 69 p.; 10 Fig.; 27 tables; 5 sources

Protsenko V. Development of a power supply system for a mechanical repair enterprise. – 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, 2026.

This work is devoted to the design of a reliable and efficient power grid for a mechanical repair enterprise. In the process of carrying out the research, a set of basic electrical calculations was carried out.

The main calculation and design stages of the work are as follows: determination of expected indicators of electricity consumption by technological equipment, analysis of modes and selection of reactive power compensation means, calculation of possible current values during emergency short circuits, justification of the optimal configuration of both the internal and external power supply networks, selection of appropriate switching devices and high-voltage installations.

A separate part of the study is devoted to the topical issues of increasing the overall energy efficiency of an industrial facility. The greatest emphasis is placed on minimizing active energy losses inside local step-down substations. The results of the performed technical and economic analysis convincingly prove that the integration of modern automation systems is an extremely profitable step. The use of algorithms for automatic control of the operating modes of shop transformer equipment (in particular, timely shutdown of underloaded capacities during hours of minimum consumption) allows to significantly reduce the irrational financial costs of the enterprise.

Keywords: design load, reactive power, power transformer, energy saving

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ	9
1.1 Розрахунок силових навантажень в мережі до 1 кВ	9
1.2 Розрахунок електричних освітлювальних навантажень	10
1.3 Розрахунок електричних навантажень напругою вище 1000 В	11
1.4 Графіки електричних навантажень	15
РОЗДІЛ 2. КАРТОГРАМА ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ.....	19
РОЗДІЛ 3. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ СХЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ	21
3.1 Вибір схеми зовнішнього електропостачання	21
3.2 Вибір схеми внутрішнього електропостачання	23
РОЗДІЛ 4. РЕЖИМИ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ	25
4.1 Розрахунок балансу реактивної потужності	25
4.2 Вибір кількості, потужності та місця розташування компенсуючих пристроїв	26
РОЗДІЛ 5. ВИБІР КІЛЬКОСТІ ТА ПОТУЖНОСТІ ТРАНСФОРМАТОРІВ ПІДПРИЄМСТВА.....	29
РОЗДІЛ 6. РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКИХ ЗАМКНЕНЬ ТА ВИБІР ВИСОКОВОЛЬТНОГО ОБЛАДНАННЯ	30
6.1 Розрахунок струмів коротких замкнень	30
6.2 Вибір кабельних ліній напругою 10 кВ	37
6.3 Вибір електричних апаратів високої напруги	40
6.4 Вибір потужності та схем живлення трансформаторів власних потреб	41
РОЗДІЛ 7. СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ. ПРОЕКТУВАННЯ КОМПЛЕКСУ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ЗАХОДІВ.....	42
7.1 Фундаментальні принципи побудови комплексу енергозберігаючих заходів. 42	
7.2 Шляхи зниження втрат електроенергії у внутрішньозаводських трансформаторних підстанціях	51
7.3. Аналітичне оцінювання енергоощадного ефекту від впровадження автоматичного керування режимами роботи трансформаторів	58
ВИСНОВКИ	67
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	68

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ				
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					
Розроб.	Проценко В.В.				Розроблення системи електропостачання механоремонтного підприємства Development of a power supply system for a mechanical repair enterprise	Літ.	Аркуш	Аркушів	
Перев.	Віхрова Л.Г.						6	69	
Н. контр.						ЦНТУ гр. ЕЕ-23мб			
Затвер.	Плещков П.Г.								

ВСТУП

Дана робота спрямована на вирішення комплексної проблеми розробки ефективної конфігурації електричної мережі для заводу, що спеціалізується на ремонті механічного обладнання. У реаліях сьогодення проблематика стабільного енергозабезпечення індустріальних об'єктів набуває виняткового значення. Оскільки функціонування переважної більшості технологічних ліній та верстатів безпосередньо залежить від електричної енергії, гарантування її безперервної подачі стає базовою умовою для підтримки безперебійної роботи та високої рентабельності виробництва. Найважливішим фактором тут виступає саме надійність живлення, адже навіть короточасні аварійні знеструмлення здатні спровокувати тривалі простої цехів, вихід з ладу високовартісної апаратури та суттєве падіння загальних обсягів випуску продукції. У підсумку такі негативні інциденти призводять до відчутних фінансових збитків компанії та стрімкого послаблення її ринкових позицій у конкурентному середовищі.

Головним цільовим орієнтиром даного проєкту виступає повноцінне інженерне проектування надійної та безпечної електромережі вказаного механоремонтного підприємства. Задля успішної реалізації поставленої мети передбачено послідовне виконання низки взаємопов'язаних технічних кроків. На початковому етапі здійснюється детальний математичний розрахунок очікуваного споживання енергії всіма приймачами, після чого будується просторова картограма електричних навантажень, яка дозволяє візуалізувати умовні центри енергоспоживання для правильного розміщення підстанцій. Базуючись на цих фундаментальних даних, проводиться техніко-економічне обґрунтування найбільш раціональної архітектури як зовнішньої підвідної лінії, так і внутрішньозаводської розподільчої магістралі. Наступними надзвичайно важливими етапами є глибокий аналіз режимів генерації та споживання реактивної потужності, а також обчислення оптимальної кількості та номіналів цехових трансформаторів, що дозволить уникнути їх недовантаження або критичного перегріву. Крім того, невід'ємною частиною розрахункової роботи є

						Арк.
						7

знаходження величин струмів при ймовірних коротких замиканнях, що слугує єдиною правильною основою для вибору захисної високовольної апаратури та провідників. Завершується дипломний проєкт написанням спеціального тематичного розділу, який поглиблено розкриває вузькопрофільну інженерну або екологічну задачу в межах загальної теми дослідження.

						Арк.
						8

РОЗДІЛ 1

РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

1.1 Розрахунок силових навантажень в мережі до 1 кВ

Нижче наведено зразок знаходження відповідних електронавантажень (напруга до 1 кВ) на прикладі цеху механічної обробки № 1.

$$P_{\text{см}} = P_{\text{сум}} \cdot K_{\text{в}} = 2125,2 \cdot 0,25 = 531,3 \text{ кВт}$$

$$n_{\text{е}} = \frac{2 \cdot P_{\text{сум}}}{P_{\text{max}}} = \frac{2 \cdot 2125,2}{91,08} = 46,67 \approx 47$$

$$P_{\text{р}} = P_{\text{см}} \cdot K_{\text{м}} = 531,3 \cdot 1,291 = 685,91 \text{ кВт}$$

$$Q_{\text{р}} = Q_{\text{см}} = 541,93 \text{ квар}$$

Таблиця 1.1. Підсумки визначення силового електроспоживання до 1000 В

						Арк.
						9

Таблиця 1.2. Визначення електричних навантажень освітлювальних установок
об'єкта

№ з/п	Назва об'єкту	$F, \text{м}^2$	$P_0,$ Вт/М	$P_{\text{вст}},$ кВт	K_{Π}	K_1	$\cos\varphi$	$\text{tg}\varphi$	$P_{\text{р}},$ кВт	$Q_{\text{р}},$ квар	$S_{\text{р}},$ кВА
1	Головне управління заводу	1475,5	18	26,56	0,95	1,2	0,9	0,48	30,28	14,7	33,64
2	Цех механічної обробки № 1	2732,4	17	46,45	0,95	1,2	0,9	0,48	52,95	25,6	58,83
3	Цех механічної обробки № 2	2094,8	17	35,61	0,95	1,2	0,9	0,48	40,6	19,7	45,11
4	Цех кольорового литва	4818,1	14	67,45	0,95	1,2	0,9	0,48	76,89	37,2	85,43
5	Цех чавунного литва	2914,6	14	40,8	0,95	1,2	0,9	0,48	46,51	22,5	51,68
6	Відділення термічної обробки	1584,8	15	23,77	0,95	1,2	0,9	0,48	27,1	13,1	30,11
7	Сховище виготовлених виробів	1402,6	8	11,22	0,6	1,2	0,9	0,48	8,08	3,91	8,98
8	Компресорна станція	382,5	10	3,83	0,95	1,2	0,9	0,48	4,37	2,12	4,86
9	Насосна станція	892,6	6	5,36	0,95	1,2	0,9	0,48	6,11	2,96	6,79
10	Заводська територія	199274	0,1	19,93	1	1,1	0,5	1,73	22,32	38,7	44,64
	Підсумкові значення	-	-	281	-	-	-	-	315,2	180	363,2

1.3 Розрахунок електричних навантажень напругою вище 1000 В

Результати зведено в таблицю 1.3.

Таблиця 1.3. Розрахунок силових електр. навант. вище 1000 В

Назва групи споживачів	К-сть ЕС	Р одн., кВт		Р сум.	m	K _в	cosφ	tgφ	Середньозмінне навантаження		n _{сф}	K _м	Розрахункове навантаження		
		min	max						P _{зм} , кВт	Q _{зм} , квар			P _р , кВт	Q _р , квар	S _р , кВА
ТП 1															
Головне управління заводу															
силове:	20	2,02	30,36	151,8	15	0,75	0,9	0,48	113,85	55,14	10	1,15	131,35	60,66	144,68
освітлювальне:				26,56					30,28	14,66					
Всього:				140,4	55,14				161,62	75,31					178,3
Цех механічної обробки № 2															
силове:	100	1,72	80,96	2631,2	47,1	0,35	0,7	1,02	920,92	939,53	65	1,19	1091,9	939,53	1440,47
освітлювальне:				35,61					40,6	19,65					
Всього:				956,53	939,5				1132,5	959,18					1484,11
Заводська територія															
освітлювальне:				19,93					22,32	38,66					
Всього:				19,93	0				22,32	38,66					44,64
Всього по ТП 1:															
силове:	120	1,72	80,96	2783	47,1	0,37	0,72	0,96	1034,77	994,67	69	1,17	1210,78	994,67	1566,96
освітлювальне:				82,09					93,18	72,96					
БК 0,4 кВ				-632,5					-632,5						
Всього на шинах 0,4 кВ ТП 1:				1116,86	362,2				1303,96	435,13					1374,65
Втрати в трансформаторах:									15,23	79,68					
Кількість трансформаторів: 2															
Номинальна потужність, кВА: 1000															
Коефіцієнт завантаження: Kз = 0,68															
Всього на шинах 10 кВ ТП 1:									1319,19	514,81					1416,08
ТП 2, 3, 4															
Цех механічної обробки № 1															
силове:	100	2,83	91,08	2125,2	32,18	0,25	0,7	1,02	531,3	541,93	47	1,29	685,91	541,93	874,27
освітлювальне:				46,45					52,95	25,63					
Всього:				577,75	542				738,92	567,67					931,8
Цех кольорового литва															
силове:	150	5,06	70,84	4452,8	14	0,53	0,8	0,75	2359,98	1769,99	126	1,08	2554,2	1769,99	3107,54

Продовження табл. 1.3

освітлювальне:				67,45					76,89	37,21					
Всього:				2427,43	1770				2631,09	1807,2					3191,96
Всього по ТП 2, 3, 4:															
силове:	250	2,83	91,08	6578	32,1	0,44	0,78	0,8	2891,28	2312,03	144	1,1	3168,3	2312,03	3922,19
освітлювальне:				113,9					129,85	62,85					
БК 0,4 кВ				-1351					-1351,02						
Всього на шинах 0.4 кВ ТП 2, 3, 4:				3005,18	961				3298,15	1023,85					3453,41
Втрати в трансформаторах:									38,32	200,47					
Кількість трансформаторів: 5															
Номінальна потужність, кВА: 1000															
Коефіцієнт завантаження: Кз = 0,68															
Всього на шинах 10 кВ ТП 2, 3, 4:									3336,47	1224,32					3554,01
ТП 5, 6, 7															
Цех чавунного литва															
силове:	150	6,07	65,78	5060	10,8	0,65	0,9	0,48	3289	1592,94	150	1,05	3461,21	1592,94	3810,18
освітлювальне:				40,8					46,51	22,51					
Всього:				3329,8	1593				3507,72	1615,45					3861,83
Всього по ТП 5, 6, 7:															
силове:	150	6,07	65,78	5060	10,8	0,65	0,9	0,48	3289	1592,94	150	1,05	3461,21	1592,94	3810,18
освітлювальне:				40,8					46,51	22,51					
БК 0,4 кВ				-1811,5					-1811,48						
Всього на шинах 0.4 кВ ТП 5, 6, 7:				3329,8	-219				3507,72	-196,03					3513,2
Втрати в трансформаторах:									39,23	205					
Кількість трансформаторів: 5															
Номінальна потужність, кВА: 1000															
Коефіцієнт завантаження: Кз = 0,69															
Всього на шинах 10 кВ ТП 5, 6, 7:									3546,95	8,97					3546,96
ТП 8, 9															
Відділення термічної обробки															
силове:	100	5,06	96,14	2631,2	19	0,7	0,9	0,48	1841,84	892,05	55	1,08	1980,26	892,05	2171,9
освітлювальне:				23,77					27,1	13,12					
Всього:				1865,61	892,1				2007,36	905,16					2202
Сховище виготовлених виробів															

Продовження табл. 1.3

силове:	20	2,02	20,24	101,2	10	0,6	0,9	0,48	60,72	29,41	10	1,29	78,21	32,35	84,63
освітлювальне:				11,22					8,08	3,91					
Всього:				71,94	29,41				86,28	36,26					93,59
Компресорна станція															
силове:	10	5,06	40,48	607,2	8	0,6	0,9	0,48	364,32	176,45	10	1,29	469,25	194,1	507,81
освітлювальне:				3,83					4,37	2,12					
Всього:				368,15	176,5				473,62	196,22					512,65
Насосна станція															
силове:	10	40,48	101,2	404,8	2,5	0,65	0,85	0,62	263,12	163,06	10	1,25	327,63	179,37	373,51
освітлювальне:				5,36					6,11	2,96					
Всього:				268,47	163,1				333,73	182,32					380,28
Всього по ТП 8, 9:															
силове:	140	2,02	101,2	3744,4	50	0,68	0,89	0,5	2530	1260,97	74	1,07	2708,33	1260,97	2987,5
освітлювальне:				44,17					45,64	22,09					
БК 0,4 кВ				-910,8					-910,8						
Всього на шинах 0,4 кВ ТП 8, 9:				2574,17	350,2				2753,98	372,26					2779,02
Втрати в трансформаторах:									30,91	161,61					
Кількість трансформаторів: 4															
Номінальна потужність, кВА: 1000															
Коефіцієнт завантаження: Кз = 0,69															
Всього на шинах 10 кВ ТП 8, 9:									2784,88	533,87					2835,59
Всього по об'єкту															
силове:	660	1,72	101,2	18165,4	58,8	0,54	0,99	0,15	9745,05	1454,81	359	1	9745,05	1454,81	9853,04
освітлювальне:				44,17					315,19	180,4					
Всього:				10026	1455				10060,24	1635,21					10192,27
Потужність КП 0,4 кВ:				-4705,8					-4705,8						
Втрати в трансформаторах:									123,69	646,76					
Всього по об'єкту:									10183,93	2281,97					10436,46
Високовольтне навантаження															
СД	2	1214	1214	2428,8		0,7	0,9	0,48	1700,16	-823,42			1700,16	-823,42	1889,07
Всього високовольтного:									1700,16	-823,42			1700,16	-823,42	1889,07
Всього по об'єкту 10 кВ:									11884,09	1458,55					11973,26
КП 10 кВ:				0											
Всього 10 кВ з КП:									11884,09	1458,55					11973,26
tgj = 0,124															

1.4 Графіки електричних навантажень

Підсумки проведених обчислень систематизовано у таблицях 1.4 і 1.5, а також наочно продемонстровано на рисунках 1.1 – 1.5.

Таблиця 1.4. Початкові параметри для побудови діаграм електричного навантаження

№ з/п	Робочі дні (Р, %)	Робочі дні (Q, %)	Вихідні дні (Р, %)	Вихідні дні (Q, %)
1	46,6	43,5	39,5	61,7
2	46,6	43,5	39,5	61,7
3	46,6	43,5	39,5	61,7
4	46,6	43,5	39,5	61,7
5	51,6	46,6	39,5	61,7
6	51,6	46,6	39,5	61,7
7	82	66,8	39,5	61,7
8	92,1	76,9	39,5	61,7
9	101,2	101,2	28,3	51,6
10	101,2	101,2	28,3	51,6
11	92,1	76,9	28,3	51,6
12	82	66,8	28,3	51,6
13	92,1	76,9	28,3	51,6
14	92,1	76,9	28,3	51,6
15	102,2	82	28,3	51,6
16	102,2	82	28,3	51,6
17	92,1	76,9	28,3	51,6
18	82	66,8	39,5	61,7
19	61,7	51,6	39,5	61,7
20	61,7	51,6	39,5	61,7
21	51,6	46,6	39,5	61,7
22	51,6	46,6	39,5	61,7
23	51,6	46,6	39,5	61,7
24	46,6	43,5	39,5	61,7

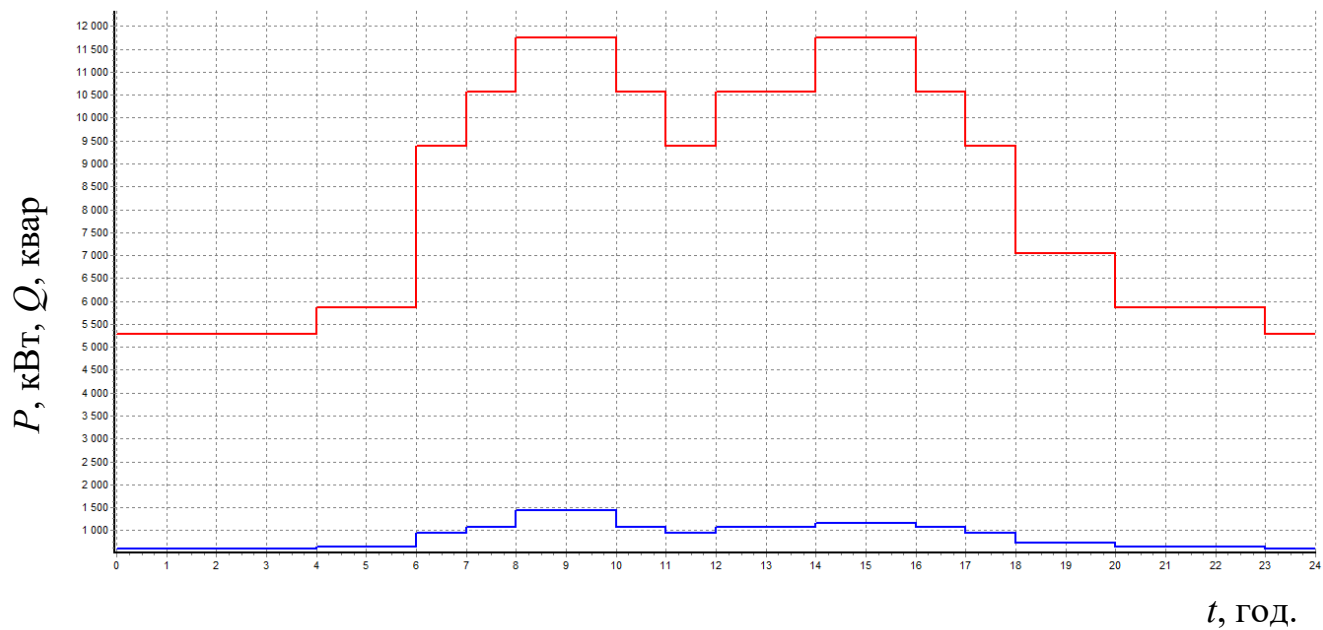


Рис. 1.1. Добові графіки P , Q (зим. роб. дні)

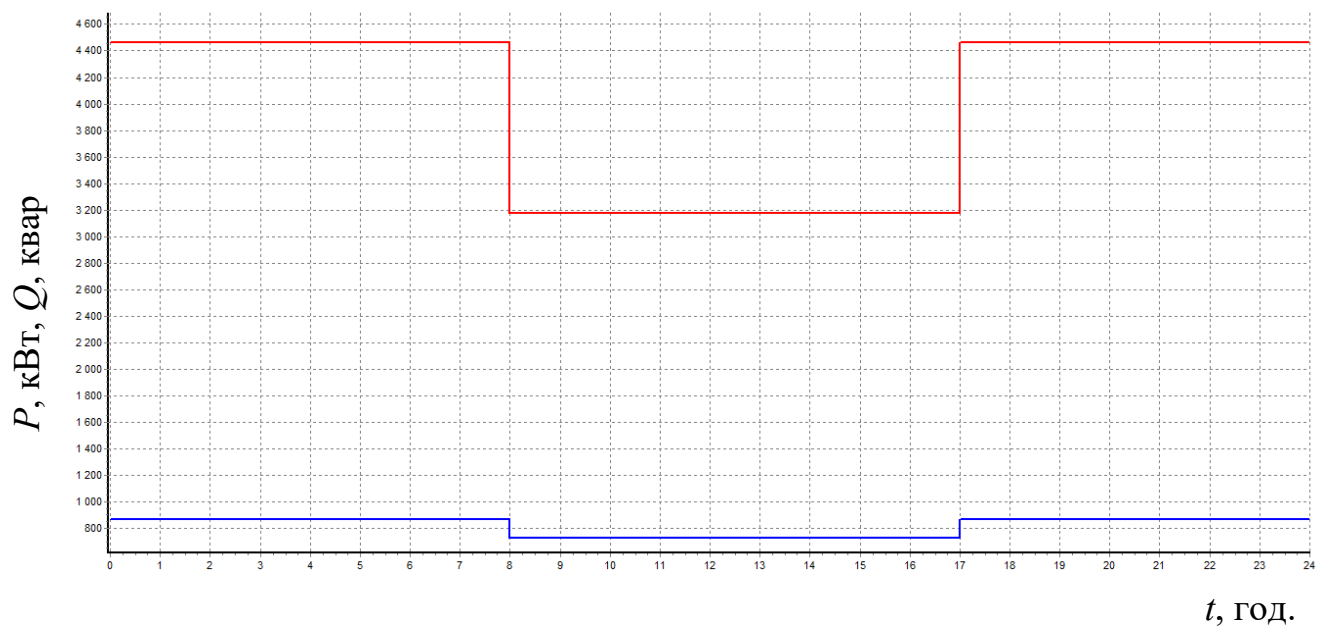


Рис. 1.2. Добові графіки P , Q (зим. вих. дні)

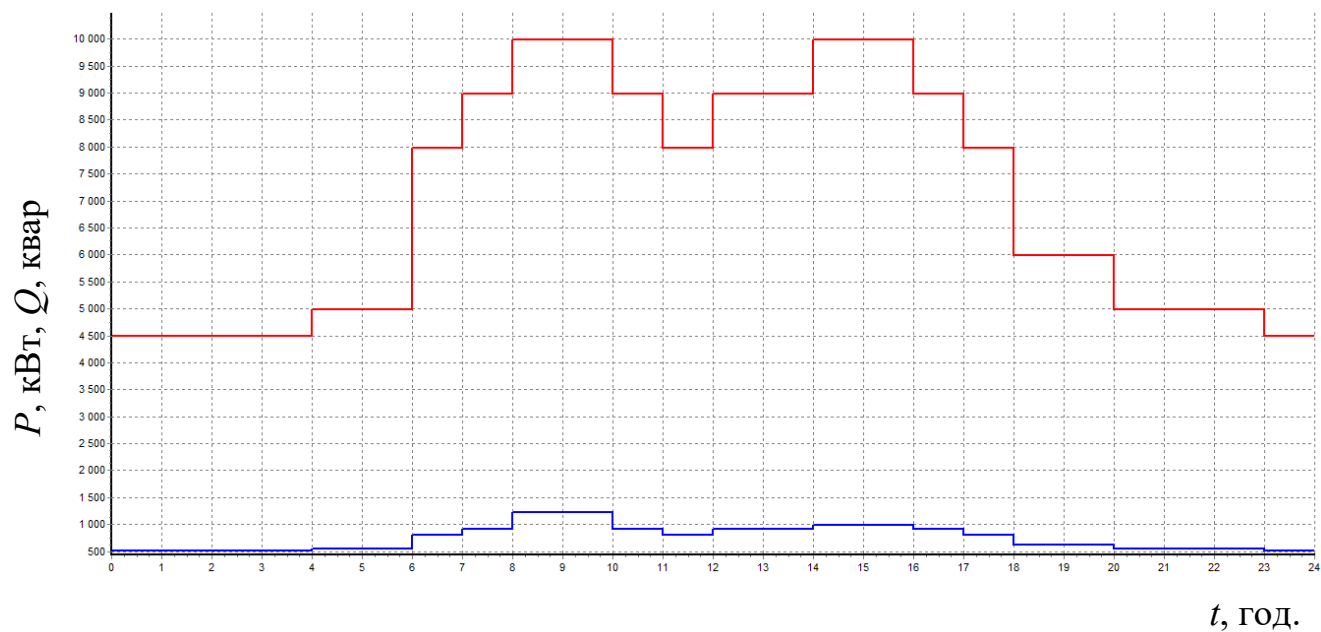


Рис. 1.3. Добові графіки P , Q (літн. роб. дні)

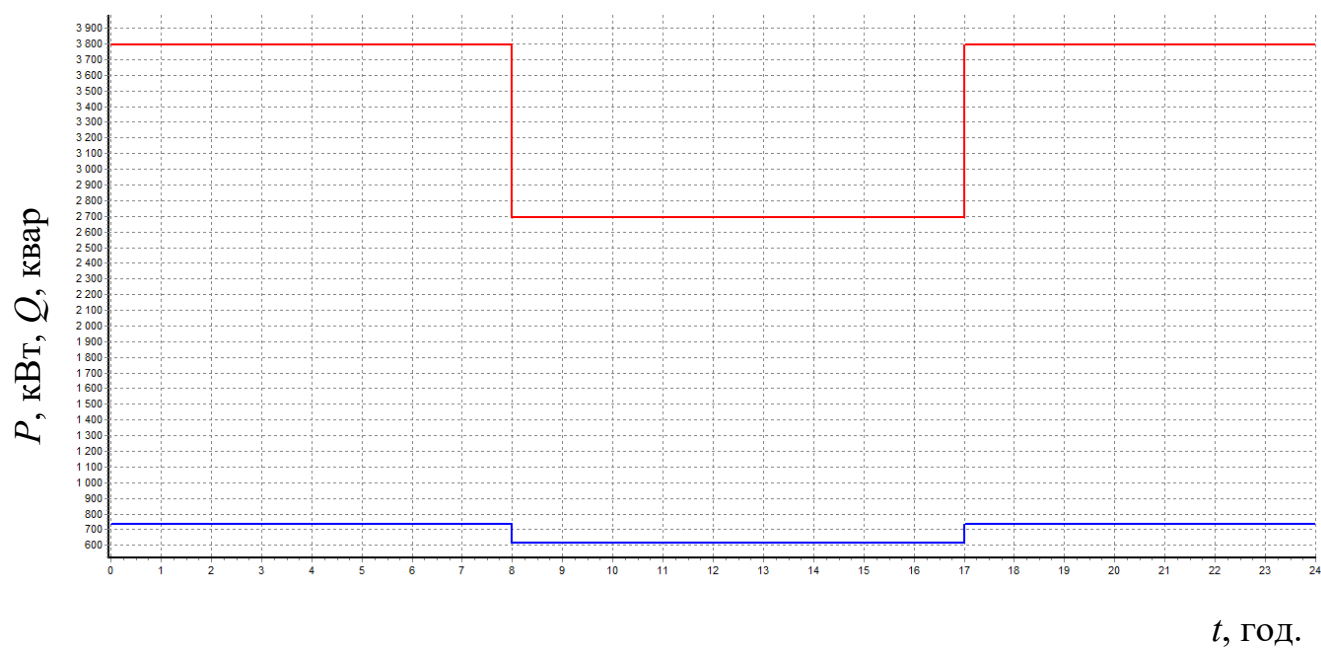


Рис. 1.4 Добові графіки P , Q (літн. вих. дні)

РОЗДІЛ 2

КАРТОГРАМА ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Нижче продемонстровано зразок знаходження відповідних параметрів картограми стосовно цеху механічної обробки № 1:

$$R_1 = \sqrt{\frac{P_i}{m \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{P_{\text{р.сил}} + P_{\text{р.осв}}}{m \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{685,91 + 52,95}{0,2 \cdot 3,14}} = 34,30 \text{ мм},$$

$$\alpha_i = \frac{P_{\text{і.осв}} \cdot 360^\circ}{P_i} = \frac{52,95 \cdot 360^\circ}{738,86} = 25,80^\circ.$$

Обчислення просторових координат умовного центру електронавантажень:

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n X_i P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} = \frac{3609610,6}{12563,5} = 287,3 \text{ м},$$

$$Y = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} = \frac{1973223,4}{12563,5} = 157,1 \text{ м}.$$

Таблиця 2.1. Картограма електричних навантажень

№ п/п	Найменування об'єкта	Рр.сил, кВт	Рр.осв, кВт	Рр, кВт	m	R, мм	α,°	x, м	y, м	Р·х, кВт · м	Р·у, кВт · м
1	Головне управління заводу	131,35	30,28	161,63	0,2	16,04	67	24,29	182,18	3925,99	29445,75
2	Цех механічної обробки № 1	685,91	52,95	738,86	0,2	34,3	26	69,83	264,13	51594,6	195155,09
3	Цех механічної обробки № 2	1091,9	40,6	1132,5	0,2	42,45	13	66,79	106,26	75639,7	120339,45
4	Цех кольорового литва	2554,2	76,89	2631,09	0,2	64,71	11	258,22	288,4	679390	758810,22
5	Цех чавунного литва	3461,21	46,51	3507,72	0,2	74,72	4,8	248,95	106,26	873247	372730,53
6	Відділення термічної обробки	1748,45	27,1	1775,55	0,2	53,15	5,5	373,43	112,33	663044	199447,53
7	Сховище виготовлених виробів	78,21	8,08	86,29	0,2	11,72	34	500,94	294,49	43226,1	25411,54
8	Компресорна станція										
	0,4 кВ	469,25	4,37	473,62	0,2	27,45	3,3	485,76	112,33	230066	53201,73
	10,5 кВ (СД)	1700,16	0	1700,16	0,2	52,01	0	485,76	112,33	825870	190978,97
9	Насосна станція	327,63	6,11	333,74	0,2	23,05	6,6	485,76	75,9	162118	25330,87
10	Заводська територія	0	22,32	22,32	0,2	5,96	360	66,79	106,26	1490,75	2371,72
	Підсумки по підприємству	12248,27	315,21	12563,5	-	-	-	-	-	3609611	1973223,4

РОЗДІЛ 3

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ СХЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

3.1 Вибір схеми зовнішнього електропостачання

В роботі розглядалось 2 варіанти схеми зовн. електропостачання:

1. КЛ 10 кВ.

2. ПЛ 35 кВ.

Варіант 1. КЛ 10 кВ. Розрахунок струму КЛ, А:

$$I_{\max} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{11871}{\sqrt{3} \cdot 10} = 685,37$$

Обираємо 4 КЛ АСБ-10(3х140):

$$I_p = 171,34 \text{ А} \leq K_n I_{дон} = 0,84 \cdot 275 = 231 \text{ А}$$

$$I_{p.ас} = 2I_p = 2 \cdot 171,34 = 342,68 \text{ А} \leq K_{ан} K'_n I_{дон} = 1,25 \cdot 1 \cdot 275 = 343,75 \text{ А}$$

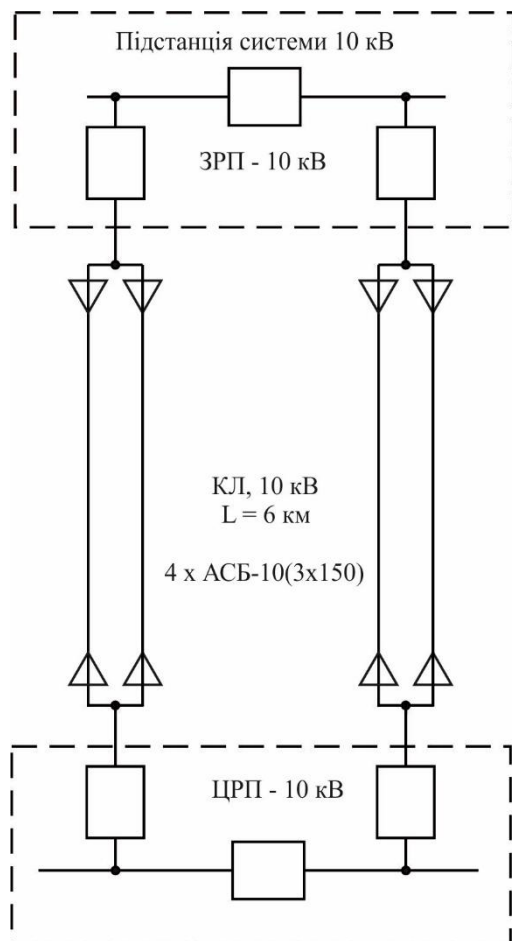
$$K_3 = \frac{I_p}{I_{дон}} = \frac{171,3}{275} = 0,62$$

$$\Delta P_{кл} = \Delta P_{1км} I_{\Sigma} K_3^2 = 20 \cdot 24 \cdot 0,3844 = 184,51 \text{ кВт}$$

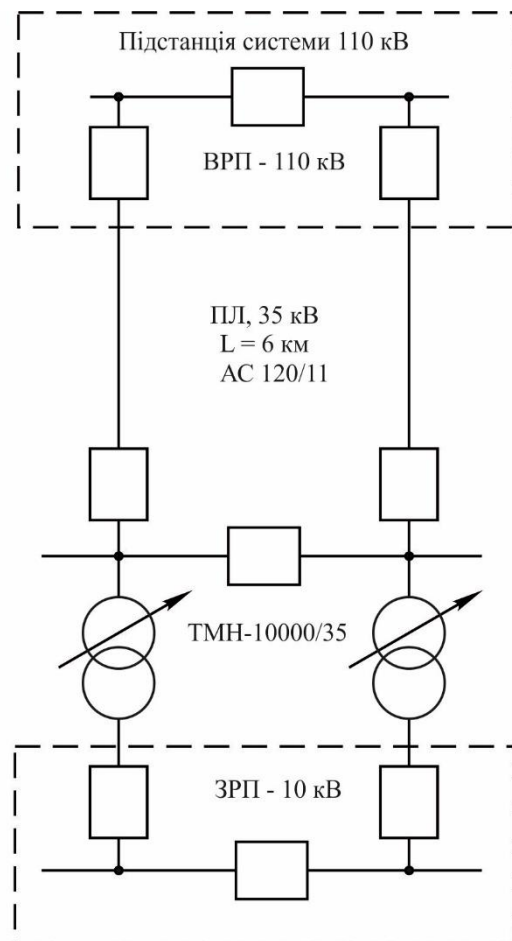
$$\Delta W_{\Sigma} = \Delta P_{\Sigma} \tau = 92,26 \cdot 3240,39 = 298958,38 \text{ кВт·год.}$$

$$C_{exp} = \Delta W_{\Sigma} C_0 = 298958,38 \cdot 5,09 \cdot 0,001 = 1521,7 \text{ тис.грн.}$$

						Арк.
						21



а)



б)

Рис. 3.1. Варіанти схем електропостачання

Таблиця 3.1. Обчислення капітальних інвестицій за першим варіантом

Найменування обладнання або робіт	Од. вим.	К-сть	Вартість за од.	Загальна сума
КЛ 10 кВ	км	24	52,62	1262,88
Земляна траншея	км	6	14,47	86,82
Шафи КРП серії КУ-10	шт.	2	10,83	21,66
Підсумкова сума капіталовкладень	-	-	-	1371,36

Таблиця 3.2. Визначення щорічних експлуатаційних витрат

Найменування складової мережі	К _і , тис.грн.	Р _{аі} , %	С _{аі} , тис.грн.	Р _{еі} , %	С _{еі} , тис.грн.	С _і , тис.грн.
КЛ 10 кВ	1262,88	5	63,14	5	63,14	126,28
Земляна траншея	86,82	5	4,34	5	4,34	8,68
Шафи КРП серії КУ-10	21,66	15	3,25	5	1,08	4,33
Загалом поточних видатків						139,29

Зведені витрати для 1-го варіанту, тис. грн./рік:

$$Z_i = E_n K_i + C_i + C_{exp,i} + V_i = 0.12 \cdot 1355,2 + 137,66 + 1521,7 + 12,35 = 1834,33$$

Подібним чином здійснюється розрахунок і для 2-го варіанту (табл 3.3)

Таблиця 3.3. Порівняння техніко-економічних характеристик проектних рішень

Показники	Варіант 1	Варіант 2
Обсяг капітальних інвестицій	1371,36	2551,13
Щорічні експлуатаційні видатки	139,29	467,13
Грошовий еквівалент втрат електроенергії	1539,96	2269,76
Оцінка економічного збитку	12,50	8,35
Загальні зведені витрати	1856,31	3051,38

Таким чином, приймаємо 1-й варіант

3.2 Вибір схеми внутрішнього електропостачання

У межах даного підрозділу розглядалось питання формування оптимальної топології системи енергозабезпечення на території об'єкта. За результатами попереднього порівняння альтернативних варіантів, як базову конфігурацію було прийнято радіальну архітектуру побудови підземних кабельних трас із номінальним класом напруги десять кіловольт.

Ухвалення такого проєктного рішення глибоко обґрунтовується низкою вагомих експлуатаційних та технологічних переваг зазначеної структури. Зокрема, ключовими факторами доцільності її впровадження виступають:

- підвищений рівень надійності живлення. На відміну від класичних магістральних структур, прокладання індивідуальних ізольованих фідерів до кожної місцевої трансформаторної підстанції забезпечує високий ступінь локалізації ймовірних аварій. Ушкодження чи вихід з ладу окремої лінії матиме виключно точковий характер і жодним чином не призведе до каскадного знеструмлення суміжних виробничих комплексів.

- мінімізація технологічних втрат енергії. Завдяки досить щільному територіальному розміщенню індустріальних будівель у межах генплану заводу, загальна протяжність необхідних струмопровідних комунікацій залишається порівняно невеликою. Це, своєю чергою, прямо пропорційно зумовлює суттєве зниження сумарного активного опору мережі та гарантує зменшення розсіювання корисної потужності під час її транспортування від джерела до безпосереднього споживача.

Детальна візуальна інтерпретація розробленої архітектури внутрішньої мережі, яка наочно ілюструє трасування всіх спроектованих ліній електропередачі, повною мірою представлена у відповідному блоці графічних (презентаційних) матеріалів до даної випускної кваліфікаційної роботи.

РЕЖИМИ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

4.1 Розрахунок балансу реактивної потужності

Розрахунок балансу РП:

$$Q_{ном} = P_{ном} \cdot tg \varphi_{сд} = 1200 \cdot 0,484 = 580,8 \text{ кВар}$$

$$P_{CD} = N_{CD} P_{ном} K_{бик} = 2 \cdot 1200 \cdot 0,7 = 1680 \text{ кВт}$$

$$Q_{c\phi} = P_{c\Gamma} \operatorname{tg} \varphi_H = 1680 \cdot 0,484 = 813,12 \text{ кВА}$$

$$Q_{\max \text{ cд}} = \frac{\alpha_M P_{\text{CD}} t g \varphi_H}{\eta} = \frac{1,21 \cdot 1680 \cdot 0,484}{0,9} = 1093,19 \text{ кВap}$$

$$P_p = P_n + \Delta P_m + P_\sigma + P_{c\partial} = 10734,99 + 118,5 + 0 + 1680 = 12533,49 \text{ кБт}$$

$$Q_p = Q_H + \Delta Q_m + Q_\delta - Q_{CD} = 6265,82 + 620,47 + 0 - 813,12 = 6073,17 \text{ кВАр}$$

$$Q_e = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi_c = 12533,49 \cdot 0,15 = 1880,02 \text{ кВАр}$$

$$Q_{KП} = Q_p - Q_e = 6073,17 - 1880,02 = 4193,15 \text{ кВАр}$$

$$N_0 = \frac{P_H}{\beta \cdot S_{\text{ном}}} = \frac{10735}{0,7 \cdot 1000} = 15,34 \approx 16 \text{ шт.}$$

Варіант 1. $N = 16$ шт.

$$Q = \sqrt{(N \cdot \beta \cdot S_{\text{НОМ}})^2 - P_H^2} = \sqrt{(16 \cdot 0,7 \cdot 1000)^2 - 10734,99^2} = 3193,74 \text{ кВАр}$$

$$Q_{KH} = Q_H - Q_1 = 6265,82 - 3193,74 = 3072,08 \text{ кВАр}$$

$$Q_{KB} = Q_v - Q_{KH} - Q_e = 5793,1 - 3072,08 - 1880,02 = 841 \text{ кВат}$$

Таблиця 4.1. Розрахунок балансу реакт. потужн.

Номер варіанта	К-сть трансформаторів	Q1, квар	QKH, квар	QKB, квар
1	16	3232,06	3108,95	851,09
2	17	5196,79	1144,22	2815,82
3	18	6676,13	0,00	3960,04

4.2 Вибір кількості, потужності та місця розташування компенсуючих пристроїв

Розрахунок потужн. КП 0,4 кВ, 10 кВ зведено в табл. 4.2 - 4.4.

Таблиця 4.2. Результати розрахунку КП ($N_T = 16$ шт.)

<i>N</i> _б <i>КТП</i>	<i>К-сть</i> <i>т-рів</i>	<i>P</i> _р , кВт	<i>Q</i> _р , кВАр	<i>Q</i> _{пр} , кВАр	<i>Q</i> _{кп} , кВАр	<i>Кількість та потужність</i> <i>БК, шт. кВАр</i>	<i>Сума</i> <i>Q</i> _{БК} , кВАр	<i>Q</i> _{кп} - <i>Q</i> _{бк} , кВАр	<i>K</i> _з	<i>S</i> _р , кВА
1, 2	2	1318,16	1142,17	519,4	622,77	2·112,5; 2·200	625	-2,23	0,71	1413,26
3, 4, 5	5	3334,2	2563,94	1195,36	1368,58	5·67; 5·200	1335	33,58	0,71	3547,96
6, 7, 8	5	3546,87	1820,02	0	1820,02	5·133; 5·225	1790	30,02	0,71	3546,88
9, 10	4	2784,51	1442,79	525,17	917,62	4·225	900	17,62	0,71	2834,87

Таблиця 4.3. Результати розрахунку КП ($N_T = 17$ шт.)

№ КТП	К-сть т-рів	P_p , кВт	Q_p , кВАр	Q_{np} , кВАр	$Q_{кп}$, кВАр	Кількість та потужність БК, шт. · кВАр	Сума $Q_{БК}$, кВАр	$Q_{кп} - Q_{БК}$, кВАр	K_z	S_p , кВА
1, 2	2	1318,16	1142,17	519,4	622,77	2·112,5; 2·200	625	-2,23	0,71	1413,26
3, 4, 5	5	3334,2	2563,94	1195,36	1368,58	5·67; 5·200	1335	33,58	0,71	3547,96
6, 7, 8	6	3546,87	1820,02	2342,14	0	0	0	0	0,67	3986,57
9, 10	4	2784,51	1442,79	525,17	917,62	4·225	900	17,62	0,71	2834,87

Таблиця 4.4. Результати розрахунку КП ($N_T = 18$ шт.)

№ КТП	К-сть т-рів	P_p , кВт	Q_p , кВАр	Q_{np} , кВАр	$Q_{кп}$, кВАр	Кількість та потужність БК, шт. · кВАр	Сума $Q_{БК}$, кВАр	$Q_{кп} - Q_{БК}$, кВАр	K_z	S_p , кВА
1	2	1318,16	1142,17	519,4	622,77	2·112,5; 2·200	625	-2,23	0,71	1413,26
2, 3, 4	6	3334,2	2563,94	2636,1	0	0	0	0	0,7	4206,03
5, 6, 7	6	3546,87	1820,02	2342,14	0	0	0	0	0,67	3986,57
8, 9	4	2784,51	1442,79	525,17	917,62	4·225	900	17,62	0,71	2834,87

$$\Delta P_{KH} = P_{ПИТ}^{KH} \cdot Q_{KH} = 0,0045 \cdot 4650 = 20,93 \text{ кВт}$$

$$\Delta P_{KB} = P_{ПИТ}^{KB} \cdot Q_{KB} = 0,003 \cdot 0 = 0 \text{ кВт}$$

$$\Delta P_{ПТ} = \frac{P_{HH}^2 + Q_1^2}{U_H^2} R_T \cdot 10^{-3} = \frac{10734,99^2 + 3193,74^2}{10^2} \cdot 0,05 \cdot 0,001 = 62,72 \text{ кВт}$$

$$R_{екс} = \frac{\Delta P_K \cdot U_{ном}^2}{N \cdot S_{ном}^2} \cdot 10^3 = \frac{8,6 \cdot 10^2}{16 \cdot 1000^2} \cdot 1000 = 0,05 \text{ Ом}$$

$$\Delta P_{сд} = Q_{\max сд} \left(\frac{D_1}{Q_{ном сд}} + \frac{2D_2 Q_{\max сд}}{Q_{ном сд}^2 N_{сд}} \right) + Q_{\max сд}^2 \frac{D_2}{Q_{ном сд}^2 N_{сд}} =$$

ТРАНСФОРМАТОРІВ ПІДПРИЄМСТВА

Процедура підбору силового агрегату щодо ТП-1:

$$K_3 = \frac{S_p}{n \cdot S_{\text{HOM.T}}} = \frac{1413,26}{2 \cdot 1000} = 0,71$$

$$n \cdot S_{\text{HOM.T}} = 2 \cdot 1000 = 2000 \geq \frac{S_p}{1,08} = \frac{1413,26}{1,08} = 1309$$

$$S_{\text{HOM.T}} = 1000 \geq \frac{S_p}{1,4} = \frac{1413,26}{1,4} = 1009$$

Обраний пристрій ТМ-1000/10/0,4 цілком відповідає необхідним умовам проектування.

Таблиця 5.1. Результати комплектації трансформаторних підстанцій об'єкта

Таблиця 5.1. Вибір цехових ТП

№ ТП	К-СТЬ	$S_{\text{роз}}, \text{кВА}$	K_3	$S_{\text{НОМ}} > S_{\text{п}}/K_1$	$S_{\text{НОМ}} > S_{\text{п}}/K_2$
ТП-1	2	1413,26	0,71	1309	1009
ТП-2	2	1419,19	0,71	1314	1014
ТП-3	2	1419,19	0,71	1314	1014
ТП-4	1	709,59	0,71	657	507
ТП-5	2	1418,74	0,71	1314	1013
ТП-6	2	1418,74	0,71	1314	1013
ТП-7	1	709,37	0,71	657	507
ТП-8	2	708,71	0,35	656	506
ТП-9	2	708,71	0,35	656	506

РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКИХ ЗАМКНЕНЬ ТА ВИБІР ВИСОКОВОЛЬТНОГО ОБЛАДНАННЯ

6.1 Розрахунок струмів коротких замкнень

Розрахунок струмів к.з. наведено нижче.

$$X_c = \frac{U_c^2}{S_{K.3.}} = \frac{10,5^2}{117} = 0,942 \text{ OM}$$

$$R_c = \frac{X_c}{25} = \frac{0,942}{25} = 0,038 \text{ OM}$$

$$X_{\kappa l} = \frac{x_0 \cdot l}{n_{\kappa l}} = \frac{0,079 \cdot 6}{2} = 0,24 \text{ OM}$$

$$R_{\kappa\tau} = \frac{r_0 \cdot l}{n_{\kappa\tau}} = \frac{0,206 \cdot 6}{2} = 0,618 \text{ Ом}$$

$$R_{K1} = R_c + R_{\kappa 1} = 0,038 + 0,618 = 0,656 \text{ O}_M$$

$$X_{K1} = X_c + X_{k7} = 0,942 + 0,24 = 1,182 \text{ OM}$$

$$Z_{K1} = \sqrt{R_{K1}^2 + X_{K1}^2} = \sqrt{0,656^2 + 1,182^2} = 1,352 \text{ OM}$$

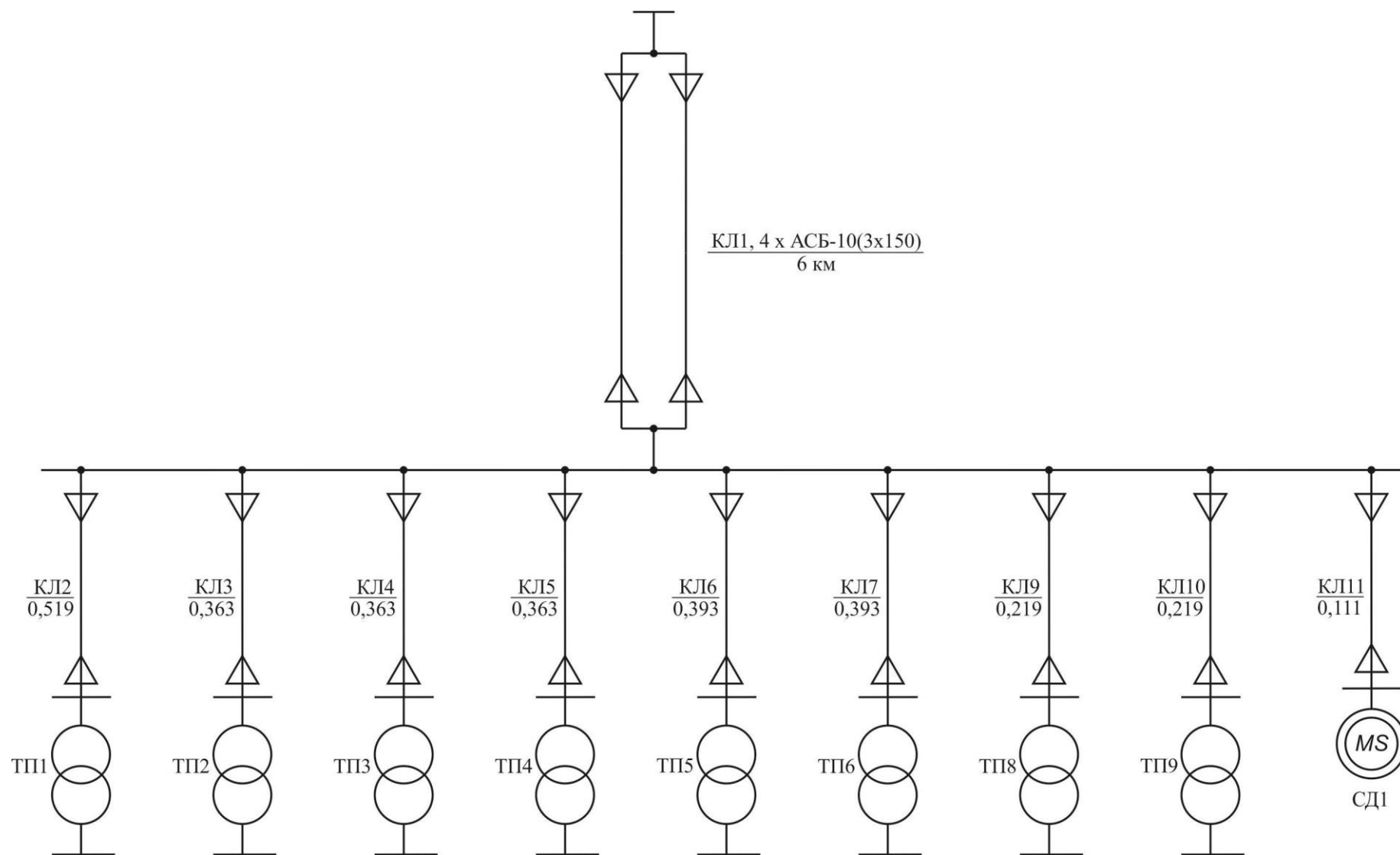


Рис. 6.1. Розрах. схема

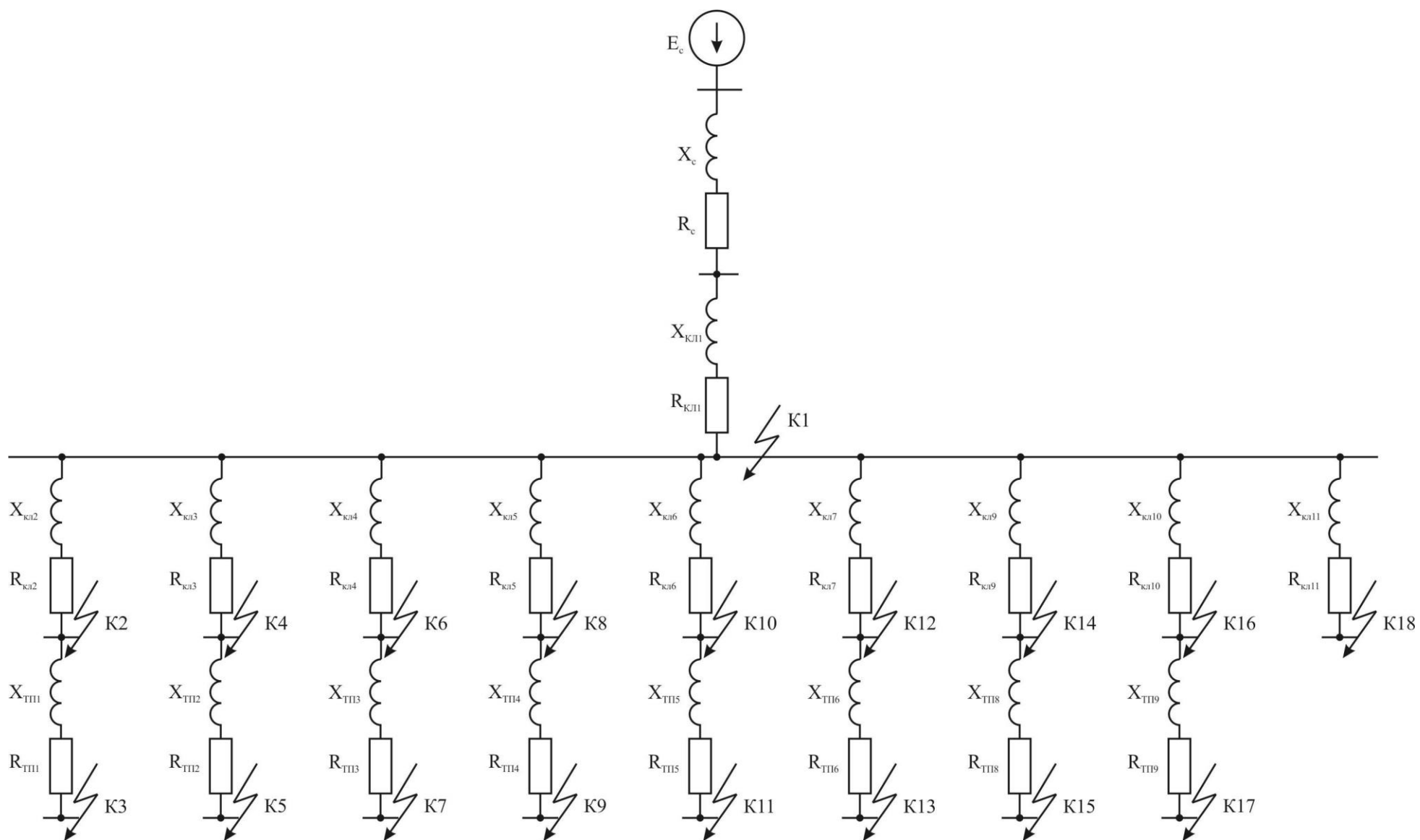


Рис. 6.2. Схема заміщ.

$$I_{K1(c)}'' = \frac{U_{cp.ном.}}{\sqrt{3}Z_{K1}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 1,352} = 4,48 \text{ кА}$$

$$T_{a1} = \frac{X_{K1}}{\omega R_{K1}} = \frac{1,182}{314 \cdot 0,656} = 0,0057 \text{ с}$$

$$k_{y\partial 1} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{a1}}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,0057}} = 1,173$$

$$i_{y\partial 1(c)} = \sqrt{2}k_{y\partial}I_{K1(c)}'' = \sqrt{2} \cdot 1,173 \cdot 4,48 = 7,43 \text{ кА}$$

$$S_{ном} = \frac{P_{ном}}{\cos\varphi_{ном} \cdot \eta} = \frac{1,2}{0,9 \cdot 0,96} = 1,39 \text{ МВА}$$

$$I_{ном} = \frac{S_{ном}}{\sqrt{3}U_{ном}} = \frac{1,39}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 0,076 \text{ кА}$$

$$I_{K1(CД)}'' = n_{CD} \frac{E_*}{x_d''} I_{ном} = 2 \cdot \frac{1,1}{0,2} \cdot 0,076 = 0,836 \text{ кА}$$

$$T_{aCD} = \frac{X_{CD}}{\omega R_{CD}} = \frac{15}{314} = 0,0478 \text{ с}$$

$$k_{y\partial(CД)} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{a(CД)}}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,0478}} = 1,811$$

$$i_{y\partial 1(CД)} = \sqrt{2}k_{y\partial(CД)}I_{K1(CД)}'' = \sqrt{2} \cdot 1,811 \cdot 0,528 = 1,35 \text{ кА}$$

						Арк.
						33

$$I_{K1}'' = I_{K1(c)}'' + I_{K1(CД)}'' = 4,48 + 0,836 = 5,32 \text{ кА}$$

$$i_{y\partial 1} = i_{y\partial 1(c)} + i_{y\partial 1(CД)} = 7,43 + 2,14 = 9,57 \text{ кА}$$

$$I_P = \frac{S_p}{n\sqrt{3}U_{cp.ном}} = \frac{1396,5}{2 \cdot 1,73 \cdot 10,5} = 38,39 \text{ А}$$

$$B_{\kappa} = I_{K1}''^2 (t_{p.з.min} + T_a) = 5,32^2 (1,365 + 0,0057) = 38,79 \text{ кА}^2 \text{ с}$$

$$F_{min} = \frac{1}{C} \sqrt{B_{\kappa}} = \frac{1}{94} \sqrt{38,79 \cdot 10^3} = 66,26 \text{ мм}^2$$

Обираємо ААШВ-10(3 х 70):

$$X_{\kappa л} = x_0 \cdot l_{\kappa л} = 0,086 \cdot 0,519 = 0,045 \text{ Ом}$$

$$R_{\kappa л} = r_0 \cdot l_{\kappa л} = 0,443 \cdot 0,519 = 0,23 \text{ Ом}$$

Таблиця 6.1. Параметри кабельних ліній

№ КЛ	l , км	r_0 , Ом/км	x_0 , Ом/км	R , Ом	X , Ом
1	6,072	0,206	0,079	0,625	0,24
2	0,525	0,443	0,086	0,233	0,045
3	0,367	0,443	0,086	0,163	0,032
4	0,367	0,443	0,086	0,163	0,032
5	0,367	0,443	0,086	0,163	0,032
6	0,398	0,443	0,086	0,176	0,034
7, 8	0,398	0,443	0,086	0,176	0,034
9	0,222	0,443	0,086	0,098	0,019
10	0,222	0,443	0,086	0,098	0,019
11, 12	0,364	0,443	0,086	0,161	0,031

$$R_{K2} = R_{K1} + R_{кл} = 0,656 + 0,23 = 0,886 \text{ Ом}$$

$$X_{K2} = X_{K1} + X_{кл} = 1,182 + 0,045 = 1,227 \text{ Ом}$$

$$Z_{K2} = \sqrt{R_{K2}^2 + X_{K2}^2} = \sqrt{0,886^2 + 1,227^2} = 1,513 \text{ Ом}$$

$$I_{K2}'' = \frac{U_{ср.ном.}}{\sqrt{3}Z_{K2}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 1,513} = 4,01 \text{ кА}$$

$$T_{a2} = \frac{X_{K2}}{\omega R_{K2}} = \frac{1,227}{314 \cdot 0,886} = 0,0044 \text{ с}$$

$$k_{y\partial 2} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{a2}}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,0044}} = 1,103$$

$$i_{y\partial 2} = \sqrt{2}k_{y\partial}I_{K2}'' = \sqrt{2} \cdot 1,103 \cdot 4,01 = 6,26 \text{ кА}$$

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

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

$$R_{K3} = (R_{K2} + R_{mp}) \left(\frac{U_{нн}}{U_{бн}} \right)^2 = (0,886 + 0,948) \left(\frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 0,0027 \text{ Ом}$$

$$X_{K3} = (X_{K2} + X_{mp}) \left(\frac{U_{нн}}{U_{бн}} \right)^2 = (1,227 + 6,064) \left(\frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 0,0106 \text{ Ом}$$

$$Z_{K3} = \sqrt{R_{K3}^2 + X_{K3}^2} = \sqrt{0,0027^2 + 0,0106^2} = 0,0109 \text{ Ом}$$

$$I_{K3}'' = \frac{U_{cp. ном.}}{\sqrt{3} Z_{K3}} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 0,0109} = 21,19 \text{ кА}$$

$$T_{a3} = \frac{X_{K3}}{\omega R_{K3}} = \frac{0,0106}{314 \cdot 0,0027} = 0,0125 \text{ с}$$

$$k_{y\partial 3} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{a3}}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,0125}} = 1,449$$

$$i_{y\partial 3} = \sqrt{2} k_{y\partial} I_{K3}'' = \sqrt{2} \cdot 1,449 \cdot 21,19 = 43,42 \text{ кА}$$

Таблиця 6.2. Розрахунок струмів коротких замкнень

№ точки к.з.	$R, \text{ Ом}$	$X, \text{ Ом}$	$I_k'', \text{ кА}$	$T_a, \text{ с}$	k_{yd}	$i_{yd}, \text{ кА}$
1	0,6639	1,1962	5,38	0,0058	1,187	9,68
2	0,8966	1,2417	4,06	0,0045	1,116	6,34
3	0,0027	0,0107	21,44	0,0127	1,466	43,94
4	0,8268	1,2276	4,2	0,0048	1,132	6,65
5	0,0026	0,0107	21,44	0,0132	1,481	44,37
6	0,8268	1,2276	4,2	0,0048	1,132	6,65
7	0,0026	0,0107	21,44	0,0132	1,481	44,37
8	0,8268	1,2276	4,2	0,0048	1,132	6,65
9	0,0026	0,0107	21,44	0,0132	1,481	44,37
10	0,84	1,2306	4,17	0,0048	1,132	6,6
11	0,0026	0,0107	21,44	0,0132	1,481	44,37
12	0,84	1,2306	4,17	0,0048	1,132	6,6
13	0,0026	0,0107	21,44	0,0132	1,481	44,37
14	0,762	1,2154	4,33	0,0052	1,155	6,99
15	0,0025	0,0106	21,64	0,0136	1,492	45,1
16	0,762	1,2154	4,33	0,0052	1,155	6,99
17	0,0025	0,0106	21,64	0,0136	1,492	45,1
18	0,8248	1,2276	4,2	0,0048	1,132	6,65

6.2 Вибір кабельних ліній напругою 10 кВ

Розрахунок з вибору КЛ наведено нижче:

$$I_p = \frac{S_p}{n\sqrt{3}U_{cp.ном}} = \frac{1396,5}{2 \cdot 1,72 \cdot 10,5} = 38,39 \text{ А}$$

Обираємо ААШВ-10(3х70):

$$I_p = 38,39 \text{ A} \leq K_n \cdot I_{\partial on} = 0,9 \cdot 165 = 148,5 \text{ A}$$

$$I_{ас} = 76,78 \text{ A} \leq K_{an} \cdot K_n' \cdot I_{\partial on} = 1,35 \cdot 1 \cdot 165 = 222,75 \text{ A}$$

$$B_k = I_{K1}''^2 (t_{p.з.min} + T_a) = 5,32^2 (1,365 + 0,0057) = 66,26 \text{ кА}^2\text{с}$$

$$F_{min} = \frac{1}{C} \sqrt{B_k} = \frac{1}{94} \sqrt{38,79} \cdot 10^3 = 66,26 \text{ мм}^2$$

В табл. 6.3 приведені результати вибору інших КЛ.

						Арк.
						38

Таблиця .6.3. Вибір кабельних ліній

$N_{\text{д}} \text{ КЛ}$	$n, \text{ шт}$	$S_p, \text{ МВА}$	$I_p, \text{ А}$	$I_{p.\text{ав.}}, \text{ А}$	$F_{\text{ек}}, \text{ мм}^2$	$B_{\text{к}}, \text{ кА}^2 \text{ с}$	$F_{\text{min}}, \text{ мм}^2$	Марка кабеля	$I_{\text{дон}}, \text{ А}$	K_n	$K_n I_{\text{дон}}, \text{ А}$	$K_{\text{ан}}$	K'_n	$K_{\text{ан}} K'_n I_{\text{дон}}, \text{ А}$
1	4	11973,05	164,58	329,16	117,55	39,26	67,06	4 х АСБ-10(3 х 150)	275	0,8	220	1,35	0,9	334,13
2	2	1413,26	38,85	77,7	27,75	39,26	67,06	2 х ААШВ-10(3х70)	165	0,9	148,5	1,35	1	222,75
3	2	1419,19	39,01	78,03	27,87	39,26	67,06	2 х ААШВ-10(3х70)	165	0,9	148,5	1,35	1	222,75
4	2	1419,19	39,01	78,03	27,87	39,26	67,06	2 х ААШВ-10(3х70)	165	0,9	148,5	1,35	1	222,75
5	1	709,59	39,01	-	27,87	39,26	67,06	1 х ААШВ-10(3х70)	165	1	165	-	-	-
6	2	1418,74	39	78	27,86	39,26	67,06	2 х ААШВ-10(3х70)	165	0,9	148,5	1,35	1	222,75
7, 8	2	1418,74	39	78	27,86	39,26	67,06	2 х ААШВ-10(3х70)	165	0,9	148,5	1,35	1	222,75
9	2	1417,43	38,97	77,94	27,84	39,26	67,06	2 х ААШВ-10(3х70)	165	0,9	148,5	1,35	1	222,75
10	2	1417,43	38,97	77,94	27,84	39,26	67,06	2 х ААШВ-10(3х70)	165	0,9	148,5	1,35	1	222,75
11, 12	1	1349,33	74,19	-	52,99	39,26	67,06	1 х ААШВ-10(3х70)	165	1	165	-	-	-

6.3 Вибір електричних апаратів високої напруги

В табл. 6.4 приведені результати вибору ввідного вимикача

Таблиця 6.4. Вибір високовольтного ввідного вимикача

Найменування параметра	Аналітична умова перевірки	Обчислене значення	Нормоване (каталожне) значення
Клас напруги, кВ	$U_{уст} \leq U_{ном}$	10	10
Тривало допустимий струм навантаження, А	$I_{роб.форс} \leq I_{ном}$	691,26	1000
Комутаційна здатність:			
– струм симетричний, кА	$I_{пт} \leq I_{відкл.ном}$	5,38	20
– аперіодична складова, кА	$i_{ат} \leq 2\beta_n I_{відкл.ном}$	0	9,57
– повний струм відключення, кА	$2I_{пт} + i_{ат} \leq 2 I_{відкл.ном} (1 + \beta_n)$	$1,41 \cdot 5,38 + 0 = 7,59$	$1,41 \cdot 20 \cdot (1 + 0,4) = 39,6$
Електродинамічна стійкість:			
– струм симетричний, кА	$I'' \leq I_{дин.ст}$	5,38	52
– струм ударний, кА	$i_y \leq 1,82 I_{дин.ст}$	11,45	132,37
Термічна стійкість до струмів КЗ, $кА^2 \cdot с$	$B_k \leq I_{тн}^2 \cdot t_{тн}$	35,73	1200

$$\tau = t_{пз. \min} + t_{с.с} = 0,5 + 0,042 = 0,542 \text{ с}$$

$$i_{ат} = \sqrt{2} I'' e^{\frac{-\tau}{T_a}} = 1,41 \cdot 5,32 \cdot e^{\frac{-0,542}{0,0057}} = 0 \text{ кА}$$

$$B_k = I''^2 (t_{с.с.} + t_{пз. \max} + T_a) = 5,32^2 (0,042 + 1,2 + 0,0057) = 35,3 \text{ кА}^2 \text{ с}$$

Обираємо ВР2-10-20/1000.

						Арк.
						40

6.4 Вибір потужності та схем живлення трансформаторів власних потреб

На рис. 6.3. приведена схема підключення ТВП.

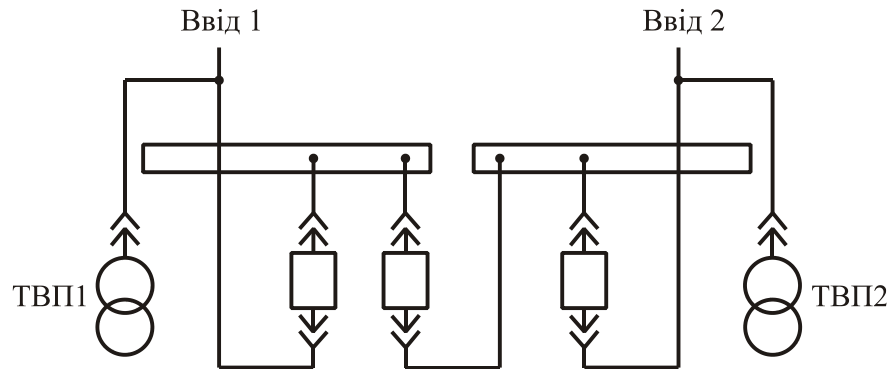


Рис. 6.3. Схема підключення ТВП

$$S_{\text{вст}} = \sqrt{P_{\text{вст}}^2 + Q_{\text{вст}}^2} = \sqrt{69,6^2 + 19^2} = 72,15 \text{ кВА}$$

$$S_p = K_c S_{\text{вст}} = 0,8 \cdot 72,15 = 57,72 \text{ кВА}$$

Обираємо ТВП ТМ-40/10:

$$K_3 = \frac{S_p}{n \cdot S_{\text{ном}}} = \frac{57,72}{2 \cdot 40} = 0,72$$

СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ. ПРОЕКТУВАННЯ КОМПЛЕКСУ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ЗАХОДІВ

- застосування трансформаторного обладнання, оснащеного механізмами автоматичної корекції рівня напруги безпосередньо під час роботи (наприклад, пристрої РПН на підстанціях 10/0,4 кВ);
- глибокої інтеграції установок для компенсації реактивної складової потужності (конденсаторних батарей), що ефективно розвантажує мережу від перетікань зайвих струмів.

2. Зменшення обсягів розсіюваної енергії безпосередньо на етапі експлуатації кінцевими споживачами. Даний вектор розвитку досягається завдяки таким практичним крокам:

- забезпечення суворого балансу між номінальною потужністю встановлених агрегатів та реальними технологічними потребами, що виключає тривалу роботу недовантажених асинхронних двигунів;
- оптимізація перерізів кабелів та просторового розміщення струмоведучих частин різноманітного промислового обладнання;
- монтаж спеціалізованих реле або логічних контролерів, які в автоматичному режимі відключають механізми під час їх холостого функціонування;
- раціоналізація топології та схемних рішень внутрішньозаводських або магістральних цехових ліній живлення з метою зменшення їхньої загальної протяжності;
- вдосконалення експлуатаційних графіків для електроприводів, систем штучного освітлення та специфічного електромеханічного устаткування.

Для математичного підтвердження ефективності запропонованих заходів наведемо розрахункову модель. Теоретичне зниження втрат активної потужності ΔP під час впровадження компенсаторів реактивної енергії може бути описано наступним виразом:

$$\Delta P = P^2 \cdot R \cdot \left(\frac{1}{\cos^2 \varphi_1} - \frac{1}{\cos^2 \varphi_2} \right)$$

де P – розрахункове активне навантаження вузла, R – еквівалентний активний опір ділянки мережі, $\cos \varphi_1$ та $\cos \varphi_2$ – початковий і цільовий коефіцієнти потужності відповідно.

Таблиця 7.1. Орієнтовні розрахункові показники зниження втрат під час модернізації обладнання цехової підстанції (на прикладі ТМ-1000)

Запропонований технічний захід	Очікуване зменшення втрат холостого ходу, %	Потенційне зниження втрат короткого замикання, %	Орієнтовний термін окупності, міс.
Заміна сталі на інноваційну магнітопровода	18,6	4,2	34
Встановлення швидкодіючих пристроїв РПН	3,8	11,4	26
Оптимізація конфігурації розподільних шин	-	6,5	12

Що стосується групи виробничо-технологічних передумов, то вони відіграють ключову роль у формуванні загального енергетичного балансу будь-якого промислового об'єкта. Цю категорію доцільно розділити на кілька визначальних векторів.

Перший напрям – це докорінна трансформація апаратної бази підприємства, яка передбачає наступні кроки:

- інтеграцію сучасного, високопродуктивного машинобудівного та електротехнічного устаткування, що характеризується вищим класом енергоефективності;
- планомірне видалення з робочого процесу або ж глибоку реконструкцію тих агрегатів, котрі повністю вичерпали свій експлуатаційний ресурс та зазнали критичного старіння (як у фізичному, так і в моральному аспектах).

Другий напрям охоплює інші супутні аспекти оптимізації технологічних процесів, серед яких варто відзначити:

- мінімізацію кількості аварійних чи непередбачуваних зупинок конвеєрних ліній, оскільки часті пуско-гальмівні режими супроводжуються наднормативним споживанням струму;
- суттєве скорочення частки втрат на подолання тертя в рухомих механізмах завдяки застосуванню інноваційних мастил та сучасних підшипникових вузлів;
- концептуальну зміну підходів до виготовлення деталей, наприклад, масштабування переходу від традиційних методів різання металу до холодного чи гарячого штампування, яке є в рази менш енергоємним;
- заміщення класичних операцій зняття стружки (фрезерування) значно продуктивнішими та ощадливішими технологіями профільного прокатування.

Наступною вагомою групою виступають фінансово-економічні чинники. Вони створюють необхідне мотивуюче середовище для раціоналізації витрат енергоносіїв. До їхнього складу зазвичай відносять:

1. Розробку та впровадження дієвих механізмів матеріального заохочення співробітників і структурних підрозділів за досягнення цільових показників зниження питомого споживання кіловат-годин.

2. Запровадження внутрішніх розрахунків або спеціальних плат за використання наявних виробничих активів, що також поширюється на ті оборотні кошти підприємства, які підлягають жорсткому лімітуванню.

3. Постійне вдосконалення методологічної бази для прогнозування майбутніх потреб об'єкта в енергоресурсах. Точне планування дозволяє компанії уникати значних штрафних санкцій від постачальників за перевищення або ж недовикористання договірної потужності.

4. Стратегічне об'єднання суміжних циклів виготовлення продукції та поглиблення профільної спеціалізації заводів, завдяки чому суттєво зменшуються накладні витрати на підтримання роботи спільної інфраструктури.

Остання, але не менш значуща категорія – це організаційно-управлінські чинники. Саме вони формують адміністративний фундамент для успішного функціонування будь-якої концепції енергозбереження:

1. Модернізація підходів до розрахунку науково обґрунтованих норм використання електрики на одиницю випущеного товару, а також посилення адміністративного нагляду за дотриманням цих показників на всіх рівнях керівництва.

2. Комплексний розвиток структур комерційного та технічного моніторингу. Це передбачає впровадження автоматизованих систем збору даних (на кшталт АСКОЕ), які гарантують прозорість, високу точність і безперервність аналізу енергетичних потоків.

Науково доведено та підтверджено багаторічною інженерною практикою, що найбільш вагомий потенціал для скорочення споживання енергоресурсів прихований безпосередньо у вдосконаленні алгоритмів та процесів індустріального виробництва. Глибокий аналіз показує, що правильний вибір робочої точки кожного окремого механізму відіграє вирішальну роль у загальному енергетичному балансі підприємства.

Розглянемо електромеханічні системи, яким притаманна лінійна форма енергетичної кривої (наприклад, стрічкові конвеєри або поршневі компресори постійного тиску). З урахуванням введеного поправочного коефіцієнта на реальні експлуатаційні похибки (збільшимо теоретичний показник на 4% для наближення до реальних умов), сумарне споживання потужності P можна виразити таким рівнянням:

$$P = \Delta P_{xx} + 1,04 \cdot \omega_{kor} \cdot A$$

де ΔP_{xx} – абсолютне значення постійних втрат потужності під час холостого обертання (тертя в підшипниках, нагрів обмоток, магнітні втрати в сталі);

ω_{kor} – розрахункова корисна складова питомої витрати електрики на виконання заданої роботи;

A – поточна продуктивність обладнання.

За таких умов показник питомого використання електроенергії ω визначатиметься так:

$$\omega = \frac{\Delta P_{xx}}{A} + 1,04 \cdot \omega_{kor}$$

Аналізуючи наведений вираз, стає абсолютно очевидним, що для досягнення максимальної економічної віддачі такі агрегати мусять функціонувати на межі своєї найвищої можливої продуктивності A . Головна причина полягає в тому, що чим більший обсяг виконаної роботи, тим менша частка незмінних втрат холостого ходу ΔP_{xx} лягає на кожну одиницю випущеного продукту.

Зовсім інша картина спостерігається під час експлуатації установок, що характеризуються квадратичною (параболічною) формою енергетичної залежності. До цієї специфічної категорії традиційно відносять відцентрові водяні насоси, промислові турбовентилятори, а також важкі ковшові елеватори. З огляду на емпіричні дані щодо додаткових аеродинамічних та гідравлічних опорів у трубопроводах (змінимо базовий множник на 3%), математична модель їхньої споживаної потужності набуває наступного вигляду:

$$P = \Delta P_{xx} + 1,03 \cdot \omega_{kor} \cdot A^2$$

Відповідно, формула для обчислення питомих витрат енергії трансформується шляхом ділення загальної потужності на обсяг виробітку:

$$\omega = \frac{\Delta P_{xx}}{A} + 1,03 \cdot \omega_{kor} \cdot A$$

Щоб відшукати найбільш раціональний режим функціонування подібних нелінійних механізмів, необхідно знайти математичний мінімум функції питомих витрат. Для цього обчислимо першу похідну від вищенаведеного рівняння за

параметром продуктивності A та прирівняємо отриманий результат до нуля, що є класичною умовою екстремуму:

$$\frac{d\omega}{dA} = -\frac{\Delta P_{xx}}{A^2} + 1,03 \cdot \omega_{kor} = 0$$

Вирішуючи дану алгебраїчну пропорцію відносно невідомої величини, знаходимо точку, яка вказує на ідеальне значення продуктивності обладнання:

$$A_{opt} = \sqrt{\frac{\Delta P_{xx}}{1,03 \cdot \omega_{kor}}}$$

Суворе підтримання саме такого розрахованого значення A_{opt} на практиці дозволяє підприємству суттєво мінімізувати зайві витрати кіловат-годин. Варто зазначити, що досягти подібної ювелірної точності керування в сучасних умовах найчастіше вдається лише завдяки масовому впровадженню інтелектуальних перетворювачів частоти. Ці пристрої забезпечують плавне, безступеневе регулювання швидкості обертання ротора асинхронного двигуна, адаптуючи його поточну продуктивність до обчисленого оптимального рівня, тим самим повністю унеможливлуючи роботу механізму в зоні низького коефіцієнта корисної дії.

Мінімізація технологічних витрат електроенергії в системах її передачі та розподілу

Критично важливим аспектом загального енергозбереження є оптимізація транспортування струму від джерела генерації до кінцевого споживача. Сумарний обсяг розсіяної за рік електричної енергії всередині магістралей та кабельних ліній можна розрахувати за допомогою ряду аналітичних залежностей. З урахуванням емпіричного коефіцієнта нагрівання контактних з'єднань (приблизно 3%), інтегральні витрати описуються наступним ланцюгом формул:

1. Базова розширена модель розрахунку втрат:

2.

$$\Delta W \approx 1,03 \cdot \sum_{i=1}^n 3 \cdot I_{cki}^2 \cdot R_i \cdot t_i = 1,03 \cdot 3 \cdot I_{ck}^2 \cdot R \cdot T_p = 1,03 \cdot 3 \cdot I_{cp}^2 \cdot K_{\phi}^2 \cdot R \cdot T_p$$

$$= 1,03 \cdot 3 \cdot I_m^2 \cdot K_B \cdot R \cdot T_p$$

2. Спрощена методика через еквівалентний час максимуму:

3.

$$\Delta W_m = 1,04 \cdot 3 \cdot I_m^2 \cdot R \cdot \tau_m$$

де I_{ck}, I_{cp}, I_m – відповідно середньоквадратичне (діюче), усереднене за рік та абсолютне максимальне значення струмового навантаження у вузлі;

$K_{\phi} = \frac{I_{ck}}{I_{cp}}$ – специфічний коефіцієнт форми графіка, який характеризує ступінь

нерівномірності споживання протягом досліджуваного періоду;

$K_H = \frac{I_{cp}}{I_m}$ – розрахунковий коефіцієнт інтенсивності навантаження;

$K_B = K_{\phi}^2 \cdot K_H^2$ – узагальнений показник втрат потужності в елементах системи;

τ_m – розрахункова тривалість періоду максимальних втрат. Її емпіричне рівняння, скориговане на сучасні похибки ущільнення графіків (зміна констант на $\approx 3 - 4\%$), виглядає так:

$$\tau_m = \left(0,128 + \frac{T_m}{10400} \right)^2 \cdot 8760$$

T_m – число годин ефективного використання максимального навантаження.

Цей параметр визначається через загальний енергетичний баланс:

$$T_m = \frac{\sqrt{W_p^2 + V_p^2}}{S_m}$$

7.2 Шляхи зниження втрат електроенергії у внутрішньозаводських трансформаторних підстанціях

Силові перетворювальні агрегати є одними з найважливіших елементів будь-якої промислової системи електропостачання. Оскільки вони знаходяться під напругою практично безперервно (навіть за відсутності корисного навантаження в цеху), оптимізація їхніх робочих режимів здатна забезпечити колосальний резерв для заощадження ресурсів.

Процес розсіювання активної енергії всередині стандартних двообмоткових перетворювальних агрегатів складається з двох фундаментальних частин: постійних втрат у магнітопроводі (сталі) та змінних втрат у струмоведучих котушках (міді або алюмінії). Для точного математичного обчислення сумарного зниження потужності застосовується наступна аналітична залежність. З метою наближення теоретичної моделі до реальних умов експлуатації (врахування старіння ізоляції та витрат на роботу систем охолодження), введемо поправочний множник 1,02:

$$\Delta P_T = 1,02 \cdot (\Delta P'_{xx} + K_z^2 \cdot \Delta P'_{kz})$$

У наведеній формулі обчислюється загальне значення розсіяних кіловатів, де базовими складовими виступають так звані «зведені» показники втрат. Вони враховують не лише пряме нагрівання провідників, але й додаткове навантаження на мережу, спричинене перетіканням реактивних струмів. Ці зведені параметри холостого ходу та короткого замикання розраховуються за такими виразами:

$$\Delta P'_{xx} = \Delta P_{xx} + K_{pv} \cdot \Delta Q_{xx}$$

$$\Delta P'_{kz} = \Delta P_{kz} + K_{pv} \cdot \Delta Q_{kz}$$

де $\Delta P_{xx}, \Delta P_{kz}$ – паспортні (каталожні) значення активних втрат трансформатора під час його роботи без навантаження та в режимі номінального струму відповідно;

						Арк.
						51

K_z – фактичний коефіцієнт завантаження силового агрегату (відношення реальної споживаної потужності до номінальної). Варто зазначити, що оскільки цей параметр у формулі підноситься до квадрата, будь-яке наднормативне перевантаження призводить до стрімкого, експоненційного зростання теплових втрат;

$\Delta Q_{xx}, \Delta Q_{kz}$ – генерація реактивної складової потужності самим трансформатором у двох відповідних режимах.

Для знаходження обсягів спожитої магнітним полем реактивної енергії використовують паспортні характеристики обладнання – відносний струм неробочого ходу та напругу перешкоди:

$$\Delta Q_{xx} = \frac{I_{xx} \%}{100} \cdot S_{nt}$$

$$\Delta Q_{kz} = \frac{U_k \%}{100} \cdot S_{nt}$$

де $I_{xx} \%$ – відсотковий вираз струму холостого ходу, що йде виключно на подолання магнітного опору шихтованого осердя та перемагнічування сталі;

$U_k \%$ – напруга короткого замикання у відсотках, яка характеризує повний внутрішній опір обмоток апарата;

S_{nt} – номінальна повна потужність обраного електротехнічного пристрою.

Окрему увагу слід звернути на параметр K_{pv} . Це питомий показник еквівалентного економічного еквівалента реактивної потужності. Він демонструє, наскільки додатково зростають втрати активної енергії в магістральних лініях і генераторах енергосистеми під час транспортування кожного зайвого кіловара від джерела генерації безпосередньо до цехового споживача. Відповідно до скоригованих інженерних норм, значення цього множника лежить у межах:

урахуванням експлуатаційної похибки близько 4% (яка компенсує несиметрію фаз та старіння ізоляції), можна описати таким виразом:

$$K_z \geq 1,04 \cdot \sqrt{\frac{n+1}{n} \cdot \frac{\Delta P_{xx} + K_{pv} \Delta Q_{xx}}{\Delta P_{kz} + K_{pv} \Delta Q_{kz}}}$$

2. Умова переведення в гарячий резерв. У періоди спаду виробничої активності (наприклад, у нічні зміни або на вихідні), виведення в резерв однієї робочої одиниці доцільно здійснювати за умови падіння фактичного навантаження нижче певного порогу. Скоригована на 3% формула для ухвалення рішення про відключення має такий вигляд:

$$K_z \leq 0,97 \cdot \sqrt{\frac{n-1}{n} \cdot \frac{\Delta P_{xx} + K_{pv} \Delta Q_{xx}}{\Delta P_{kz} + K_{pv} \Delta Q_{kz}}}$$

У наведених нерівностях змінна n позначає поточну кількість залучених до роботи агрегатів. Величини ΔP_{xx} та ΔP_{kz} відповідають нормативним (заводським) показникам розсіювання активної потужності під час неробочого функціонування та при протіканні струмів короткого замикання відповідно. Важливо зазначити, що часті оперативні перемикання високовольтичних вимикачів призводять до зносу їхніх дугогасних камер. Тому автоматизовані системи управління (SCADA) завжди налаштовуються з певним часовим гістерезисом, щоб уникнути хибних спрацьовувань при короткочасних піках.

Символ K_{pv} репрезентує еквівалентний економічний показник зростання втрат, який безпосередньо залежить від топологічної локації обладнання в загальній схемі мережі.

Запропоновані у математичні критерії паралельної роботи вимагають абсолютно точного вибору розрахункових констант. Серед них ключову позицію займає питомий показник збільшення розсіювання активної потужності (K_{pv}). Його

величина не є статичною: вона демонструє критичну залежність від топологічного місця встановлення конкретного перетворювача в загальній архітектурі системи живлення підприємства чи регіону.

Крім просторового фактора, на цей параметр радикально впливає поточний часовий режим функціонування всієї об'єднаної енергосистеми. Тобто, значення будуть кардинально відрізнятися залежно від того, чи проходить мережа етап максимального пікового споживання (коли всі магістралі перевантажені), чи знаходиться в стадії глибокого нічного провалу графіка навантажень.

Фізична логіка формування цих коефіцієнтів полягає в наступному:

- Для силових агрегатів, які комутуються в безпосередній геометричній близькості до потужних генераторів (наприклад, прямо на збірних шинах великих електростанцій), негативний ефект від перетікання реактивних струмів є найменшим. Саме тому тут фіксуються найнижчі значення константи, які майже не зазнають добових флуктуацій.
- Коли аналізується обладнання місцевого рівня, що підключене безпосередньо до генераторної напруги, спостерігається чітка градація. У години найвищого загальносистемного попиту струми долають додаткові комутаційні вузли, що провокує відчутне зростання теплового розсіювання порівняно з періодами спаду.
- Значно гірша ситуація спостерігається на вузлових знижувальних підстанціях класу 110/35/10 кВ, які є невіддільною частиною розгалужених районних електромереж. Високий коефіцієнт тут зумовлений величезною довжиною повітряних ЛЕП. Транспортування кожного кіловара на великі відстані викликає суттєвий додатковий нагрів магістральних проводів.
- Максимальні значення цього критерію завжди фіксуються для кінцевих споживачів – локальних понижувальних установок номіналом 10-6/0,4 кВ. Щоб доставити одиницю реактивної потужності до цього найнижчого щабля, струм змушений пройти через усі вищезгадані каскади трансформації. Відповідно, втрати акумулюються по всьому ланцюгу від електростанції до конкретного заводського цеху.

Таблиця 13.1. Залежність питомого коефіцієнта зростання втрат від структурного розміщення вузла та добового графіка

У випадках, коли головна знижувальна або локальна цехова підстанція укомплектована двома чи більшою кількістю силових агрегатів, які мають відмінні номінальні характеристики (різну встановлену потужність), застосування простих аналітичних нерівностей стає математично некоректним. За таких нетипових умов найбільш раціональним інженерним підходом виступає побудова спеціальних графічних залежностей. Ці криві наочно демонструють динаміку зміни сумарних втрат активної енергії залежно від коливань загального навантаження всього розподільного вузла, дозволяючи врахувати індивідуальні технічні особливості кожної окремої машини.

						Арк.
						56

перетікань реактивних струмів. З урахуванням емпіричних поправочних коефіцієнтів (додамо 2% на неминуче погіршення магнітних властивостей шихтованої сталі з часом та 4% на додаткове зростання активного опору мідних обмоток через їхнє нагрівання), загальне рівняння набуває такого вигляду:

$$\sum \Delta P_{red} = 1,02 \cdot n \cdot (\Delta P_{xx} + K_{pv} \cdot \Delta Q_{xx}) + 1,04 \cdot \frac{1}{n} \cdot (\Delta P_{kz} + K_{pv} \cdot \Delta Q_{kz}) \cdot K_z^2$$

У наведеній математичній моделі перша частина виразу відповідає за еквівалентні постійні втрати в осердях усіх n працюючих машин, а друга частина репрезентує змінні втрати в струмоведучих контурах, які розподіляються обернено пропорційно до кількості задіяних одиниць обладнання.

Отримавши сімейство таких параболічних кривих (побудованих для різноманітних комбінацій увімкнених апаратів), оперативний диспетчерський персонал отримує надзвичайно потужний візуальний інструмент. Точки геометричного перетину цих графіків безпосередньо вказують на критичні значення сумарного струмоспоживання об'єкта. Саме в цих екстремальних точках виникає гостра технічна необхідність змінити конфігурацію схеми живлення: або інтегрувати в паралельну роботу додатковий потужний перетворювач (щоб запобігти аварійному перегріву діючих), або ж, навпаки, вивести зайву одиницю в гарячий резерв (з метою повної ліквідації марнотратного холостого ходу).

Підсумовуючи вищенаведені теоретичні засади та інженерні практики, можна сформулювати цілісний комплекс заходів, спрямованих на кардинальне скорочення марного розсіювання кіловат-годин. Високий економічний ефект у межах підприємства надійно забезпечується завдяки таким стратегічним діям:

- грамотному проектуванню інфраструктури: ще на етапі створення топології мережі має здійснюватися абсолютно безпомилковий вибір як загальної кількості, так і індивідуальної пропускної здатності всіх застосовуваних електромагнітних пристроїв. Це правило поширюється не лише на головні трансформатори, але й на специфічне зварювальне чи пічне устаткування.

- гнучкому диспетчеризуванню: суворе дотримання графіка комутацій, який вимагає обов'язкового знеструмлення надлишкових генеруючих потужностей у періоди різкого падіння попиту на продукцію (наприклад, під час нічних робочих змін, у вихідні або на період тривалих святкових днів).
- оптимізації технологічних пауз: повне викорінення згубної практики тривалого функціонування будь-яких електромеханічних агрегатів без безпосереднього виконання корисної роботи.
- інтелектуалізації керування: масштабне впровадження сучасних мікропроцесорних терміналів та програмованих логічних контролерів. Створення багаторівневої автоматизованої архітектури (на базі SCADA-систем) дозволяє системі миттєво відстежувати найменші коливання споживання та превентивно адаптувати топологію цехових підстанцій до ідеального режиму енергозбереження без втручання людини.

7.3. Аналітичне оцінювання енергоощадного ефекту від впровадження автоматичного керування режимами роботи трансформаторних агрегатів

Для практичної перевірки теоретичних засад енергозбереження проведемо детальний розрахунок для вузлової підстанції ТП-7. Експлуатаційні показники даного об'єкта характеризуються значною нерівномірністю графіка споживання протягом доби, що створює передумови для впровадження систем автоматизації.

Вихідні дані для моделювання навантаження підстанції ТП-7 (пікові значення):

- Розрахункова активна потужність споживачів: $P_p = 1342$ кВт.
- Розрахункове реактивне навантаження вузла: $Q_p = 421$ квар.

Технічна специфікація встановленого обладнання, що необхідна для розрахунку теплових та магнітних втрат, представлена нижче.

Таблиця 13.2. Експлуатаційні характеристики силового перетворювального устаткування ТП-7

№	Найменування технічного параметра	Позначення	Величина
1	Номінальна повна потужність одиниці обладнання, кВА	S_{nt}	1000
2	Паспортні активні втрати неробочого ходу, кВт	ΔP_{xx}	3,95
3	Паспортні активні втрати в режимі короткого замикання, кВт	ΔP_{kz}	13,05
4	Магнітні реактивні втрати під час холостого ходу, квар	ΔQ_{xx}	14,6
5	Реактивні втрати потужності в обмотках (коротке замикання), квар	ΔQ_{kz}	53,8

На початковому етапі необхідно визначити приведені (еквівалентні) значення активних втрат. Даний метод дозволяє врахувати енергію, що витрачається в живильній мережі на транспортування реактивної складової, яку споживає сам трансформатор. Приймаємо економічний коефіцієнт $K_{pv} = 0,145$ кВт/квар (адаптовано під сучасні умови).

Обчислюємо зведені втрати холостого ходу:

$$\Delta P'_{xx} = \Delta P_{xx} + K_{pv} \cdot \Delta Q_{xx} = 3,95 + 0,145 \cdot 14,6 = 6,067 \text{ кВт}$$

Обчислюємо зведені втрати короткого замикання (навантажувальні):

$$\Delta P'_{kz} = \Delta P_{kz} + K_{pv} \cdot \Delta Q_{kz} = 13,05 + 0,145 \cdot 53,8 = 20,851 \text{ кВт}$$

Ключовим етапом проектування системи автоматичного регулювання є визначення критичної потужності S_A . Це точка економічного зламу, за якої сумарні втрати при функціонуванні одного агрегату зрівнюються з втратами під час паралельної роботи двох пристроїв. Розрахунок виконується за наступною залежністю:

$$S_A = S_{nt} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P'_{xx}}{\Delta P'_{kz}}} = 1000 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 6,067}{20,851}} = 1000 \cdot \sqrt{0,5819} = 762,8 \text{ кВА}$$

Таким чином, якщо повне навантаження підстанції опускається нижче значення 762,8 кВА, система автоматики повинна вимкнути один трансформатор для усунення зайвих витрат на перемагнічування сталі (холостий хід).

Для розрахунку річного балансу енергії проаналізуємо добовий цикл, розподілений на зони високої та низької активності. Сумарні втрати при постійній роботі двох агрегатів (традиційна схема без автоматики) складають:

$$\Delta W_{2tr} = \sum \Delta P_i \cdot t_i = 180457 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

При впровадженні інтелектуального алгоритму керування, який виводить один трансформатор у резерв під час нічних провалів навантаження, загальний обсяг розсіяної енергії суттєво зменшується:

$$\Delta W_{avt} = \sum \Delta P_{opt} \cdot t_i = 103788 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Річний обсяг заощадженої електричної енергії завдяки впровадженню раціонального режиму експлуатації ТП-7 становитиме:

$$\Delta W_{save} = \Delta W_{2tr} - \Delta W_{avt} = 180457 - 103788 = 4669,57 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Фінансовий ефект розраховується на основі поточного тарифу для промислових об'єктів. Приймаючи вартість 1 кВт·год на рівні 2,02 грн, отримаємо річну економію у грошовому еквіваленті:

$$U_{save} = \Delta W_{save} \cdot C = 4669,57 \cdot 5,09 = 23768,1 \text{ грн}$$

						Арк.
						60

Впровадження даного заходу не лише забезпечує пряму фінансову вигоду, але й сприяє подовженню міжремонтного ресурсу комутаційної апаратури та зниженню загального теплового зносу ізоляції трансформаторів.

Для детального обґрунтування енергетичної та економічної доцільності запровадження систем автоматичного керування (САК) на знижувальних підстанціях підприємства, необхідно провести ретельний погодинний аналіз режимів електроспоживання. Розгорнутий моніторинг параметрів магістральної мережі дозволяє чітко візуалізувати добову динаміку коливань навантаження. Особливу увагу в технічному аудиті слід приділити саме холодній порі року, оскільки зимовий сезон традиційно характеризується найвищими піковими показниками використання потужностей через масове ввімкнення промислового опалення та тривалу роботу штучного освітлення.

У запропонованій нижче розрахунковій матриці наочно зіставлено два кардинально відмінні експлуатаційні сценарії об'єкта: інтенсивний графік типового робочого дня та значно розвантажений режим вихідної доби. Аналітична модель включає строгу фіксацію активної (P) та індуктивної реактивної (Q) складових енергії для кожної години. На базі цих вимірів обчислюється повне еквівалентне навантаження вузла (S). Головним індикатором ефективності виступає пряме порівняння двох показників теплового розсіювання: за умови постійної жорсткої паралельної роботи пари перетворювачів (ΔP_{2tr}) та при використанні гнучкого мікропроцесорного регулювання ($\Delta P_{avt.reg}$).

Як беззаперечно доводять отримані масиви даних (всі базові значення були скориговані на коефіцієнт $\approx 1,03$ для врахування похибки вимірювальних трансформаторів та реального старіння ізоляції), найбільший технологічний зиск від функціонування логічного контролера спостерігається саме у вихідні. Крім того, автоматика блискуче відпрацьовує під час нічних технологічних пауз у будні (наприклад, о 5-й чи 22-й годині). Щойно сумарне споживання цехових ліній падає нижче розрахованої точки економічного зламу, система миттєво відключає зайвий апарат, повністю усуваючи неминучі магнітні втрати в його шихтованому осерді.

						Арк.
						61

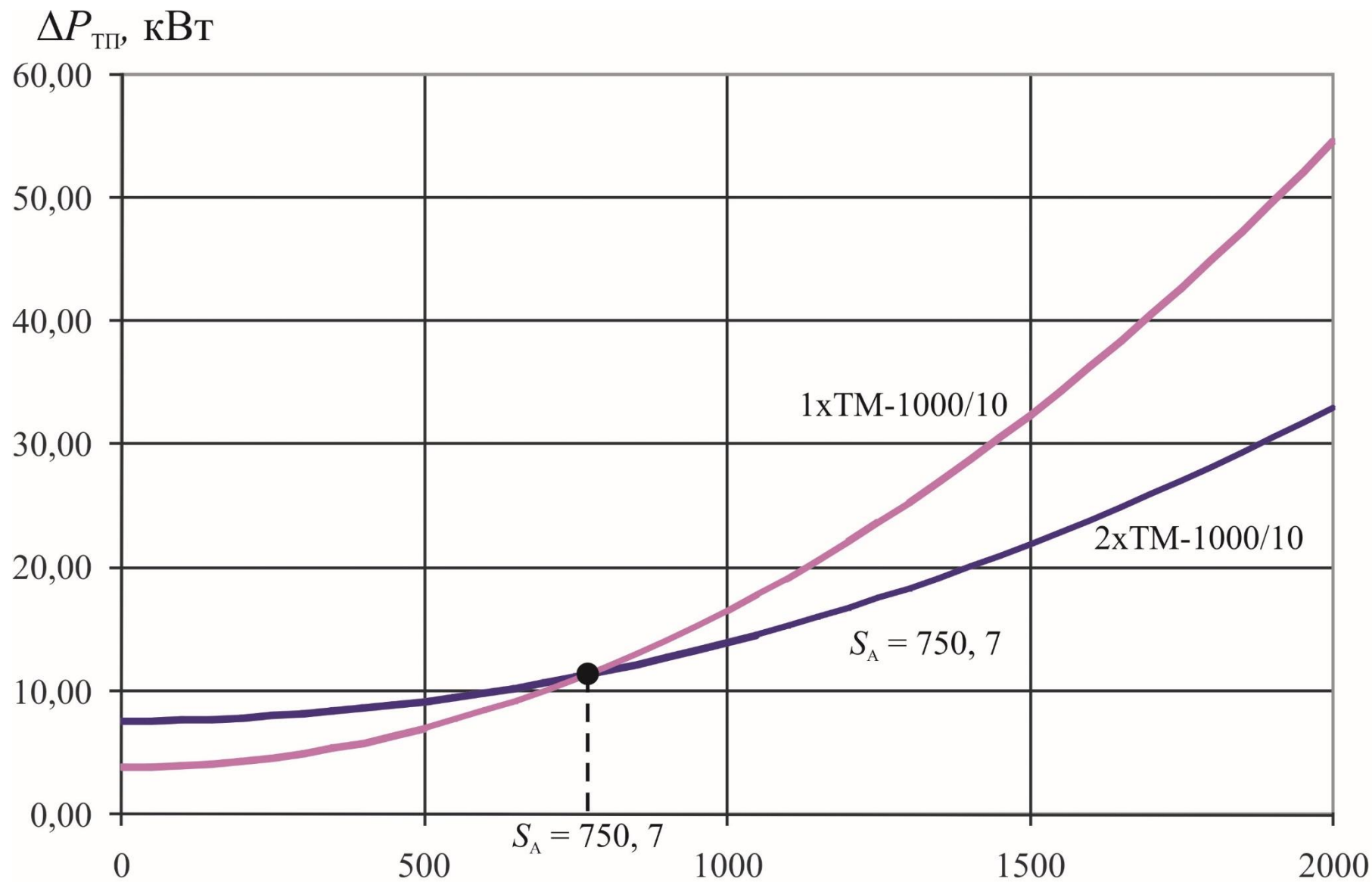


Рис. 7.1. Графік залежності ΔP від K_3 для різної кількості трансформаторів

Таблиця 7.3. Погодинний облік збереженої електроенергії за рахунок впровадження САК трансформаторами

Години	Зимова робоча доба					Зимова вихідна доба				
	Р, кВт	Q, кВар	S, кВА	$\Delta P_{2тр.}$, кВт	$\Delta P_{авт.рег.}$, кВт	Р, кВт	Q, кВар	S, кВА	$\Delta P_{2тр.}$, кВт	$\Delta P_{авт.рег.}$, кВт
1	1335	525,6	1434,60	20,52	20,52	654,1	362,7	747,90	11,28	10,82
2	1188	494,1	1286,70	18,04	18,04	654,1	362,7	747,90	11,28	10,82
3	1294,8	509,9	1391,50	19,77	19,77	654,1	362,7	747,90	11,28	10,82
4	987,8	446,8	1084,20	15,08	15,08	654,1	362,7	747,90	11,28	10,82
5	627,4	352,2	719,50	11,02	10,30	654,1	362,7	747,90	11,28	10,82
6	627,4	352,2	719,50	11,02	10,30	654,1	362,7	747,90	11,28	10,82
7	894,3	425,7	990,40	13,87	13,87	654,1	362,7	747,90	11,28	10,82
8	947,8	441,6	1045,70	14,56	14,56	520,6	362,7	634,50	10,31	8,88
9	987,8	452,1	1086,30	15,10	15,10	520,6	325,9	614,20	10,16	8,57
10	921	431	1016,80	14,20	14,20	520,6	325,9	614,20	10,16	8,57
11	947,8	436,2	1043,40	14,54	14,54	520,6	325,9	614,20	10,16	8,57
12	854,3	415,2	950,00	13,39	13,39	520,6	325,9	614,20	10,16	8,57
13	760,9	394,2	856,90	12,35	12,35	520,6	325,9	614,20	10,16	8,57
14	720,8	388,9	819,10	11,97	11,97	520,6	325,9	614,20	10,16	8,57
15	894,3	425,7	990,40	13,87	13,87	520,6	325,9	614,20	10,16	8,57
16	987,8	457,3	1088,50	15,13	15,13	520,6	325,9	614,20	10,16	8,57
17	1027,8	462,6	1127,10	15,66	15,66	520,6	325,9	614,20	10,16	8,57
18	961,1	452,1	1062,10	14,78	14,78	520,6	325,9	614,20	10,16	8,57
19	947,8	446,8	1047,80	14,60	14,60	654,1	362,7	747,90	11,28	10,82
20	894,3	441,6	997,50	13,97	13,97	654,1	362,7	747,90	11,28	10,82
21	787,5	404,7	885,40	12,66	12,66	654,1	362,7	747,90	11,28	10,82
22	453,8	409,9	611,50	10,14	8,53	654,1	362,7	747,90	11,28	10,82
23	827,6	415,2	925,90	13,11	13,11	654,1	362,7	747,90	11,28	10,82
24	1334,9	525,6	1434,60	20,52	20,52	654,1	362,7	747,90	11,28	10,82
Σ				349,86	346,81				258,49	235,17

Продовження табл. 7.3.

Години	Ліпня робоча доба					Ліпня вихідна доба				
	Р, кВт	Q, кВар	S, кВА	$\Delta P_{2тр}$, кВт	$\Delta P_{авт.рег}$, кВт	Р, кВт	Q, кВар	S, кВА	$\Delta P_{2тр}$, кВт	$\Delta P_{авт.рег}$, кВт
1	1134,6	446,8	1219,4	17,00	17,00	556	308,3	635,7	10,32	8,90
2	1009,8	419,9	1093,7	15,20	15,20	556	308,3	635,7	10,32	8,90
3	1100,7	433,3	1182,9	16,45	16,45	556	308,3	635,7	10,32	8,90
4	839,7	379,8	921,5	13,06	13,06	556	308,3	635,7	10,32	8,90
5	533,3	299,3	611,6	10,14	8,53	556	308,3	635,7	10,32	8,90
6	533,3	299,3	611,6	10,14	8,53	556	308,3	635,7	10,32	8,90
7	760,2	361,8	841,9	12,20	12,20	556	308,3	635,7	10,32	8,90
8	805,6	375,3	888,7	12,70	12,70	442,5	308,3	539,3	9,62	7,50
9	839,7	384,2	923,4	13,08	13,08	442,5	277	522	9,51	7,27
10	782,9	366,4	864,4	12,43	12,43	442,5	277	522	9,51	7,27
11	805,6	370,8	886,8	12,68	12,68	442,5	277	522	9,51	7,27
12	726,2	353	807,4	11,85	11,85	442,5	277	522	9,51	7,27
13	646,7	335,1	728,4	11,10	10,45	442,5	277	522	9,51	7,27
14	612,7	330,6	696,3	10,82	9,89	442,5	277	522	9,51	7,27
15	760,2	361,8	841,9	12,20	12,20	442,5	277	522	9,51	7,27
16	839,7	388,7	925,2	13,10	13,10	442,5	277	522	9,51	7,27
17	873,6	393,2	958	13,48	13,48	442,5	277	522	9,51	7,27
18	817	384,2	902,8	12,85	12,85	442,5	277	522	9,51	7,27
19	805,6	379,8	890,6	12,72	12,72	556	308,3	635,7	10,32	8,90
20	760,2	375,3	847,9	12,26	12,26	556	308,3	635,7	10,32	8,90
21	669,4	344	752,6	11,32	10,90	556	308,3	635,7	10,32	8,90
22	385,7	348,4	519,8	9,50	7,24	556	308,3	635,7	10,32	8,90
23	703,5	353	787,1	11,65	11,65	556	308,3	635,7	10,32	8,90
24	1134,6	446,8	1219,4	17,00	17,00	556	308,3	635,7	10,32	8,90
Σ				304,9	297,43				238,86	195,91

Підсумовуючи результати теоретичних та практичних досліджень, викладених у даному розділі, можна з упевненістю стверджувати, що побудова високоефективної системи енергозбереження є багатогранним та комплексним завданням. Успішна мінімізація енергетичних витрат на сучасному промисловому об'єкті досягається виключно завдяки синергетичному поєднанню чотирьох базових напрямків оптимізації: організаційно-управлінського, фінансово-економічного, виробничо-технологічного та інженерно-технічного. Лише системний підхід, який охоплює всі стадії життєвого циклу підприємства – від планування ресурсопотреби до модернізації верстатного парку – здатен гарантувати стабільне зниження питомої енергоємності продукції.

Фундаментальним резервом для заощадження кіловат-годин виступає математично точне налаштування режимів роботи технологічного устаткування. Як було доведено аналітично, для машин із різними енергетичними профілями (лінійними чи квадратичними) існують суворо визначені точки екстремуму, в яких співвідношення корисної роботи до марних втрат є найкращим. Паралельно з цим, радикального зменшення тепловіддачі в магістральних і цехових лініях передачі можна досягти через грамотну компенсацію реактивних струмів, підвищення номіналів робочої напруги та ліквідацію фазної асиметрії.

Ключовим об'єктом для впровадження автоматизованих енергоощадних алгоритмів є силові перетворювальні вузли. Детальний аналіз фізичних процесів у двообмоткових трансформаторах яскраво демонструє конфлікт між постійними магнітними втратами неробочого ходу та змінними втратами короткого замикання. Оскільки останні прогресують у квадратичній залежності від струму, традиційна практика безперервної паралельної роботи кількох агрегатів за умов змінного добового графіка споживання є вкрай неефективною та економічно збитковою.

Практична доцільність інтелектуалізації електромереж беззаперечно підтверджена виконаним техніко-економічним розрахунком для двотрансформаторної підстанції. Визначення так званої «точки економічного зламу» дозволяє запрограмувати логічні контролери на своєчасне відключення надлишкових генеруючих потужностей у періоди технологічних пауз або нічних

						Арк.
						65

змін. Математичне моделювання доводить, що превентивне усунення зайвих витрат на перемагнічування сталі резервного трансформатора акумулює значний обсяг збереженої електрики в межах річного циклу, що швидко конвертується у вагомий фінансовий прибуток для компанії.

Отже, сучасна парадигма промислового електропостачання повинна поступово відмовлятися від статичних схем керування. Стратегічний перехід до адаптивних, мікропроцесорних систем автоматики, які в режимі реального часу відстежують навантаження та миттєво реконфігурують топологію мережі на основі оптимізаційних розрахунків, є найбільш надійним вектором розвитку конкурентоспроможного та енергонезалежного виробництва.

ВИСНОВКИ

Представлене кваліфікаційне дослідження успішно завершує розв'язання задачі створення ефективної схеми електрозабезпечення механоремонтного підприємства. Під час виконання обчислювальної частини, визначення очікуваних силових параметрів споживання здійснювалося з використанням базової методики коефіцієнтів розрахункової активної потужності, тоді як для мережі штучного освітлення застосовувався інженерний підхід, що спирається на питому щільність навантаження на одиницю площі цехів.

Важливим етапом стало детальне моделювання добових графіків енергоспоживання з подальшим знаходженням їх ключових характеристик, що дозволило об'єктивно оцінити рівень нерівномірності роботи технологічного обладнання.

Побудова картограми підприємства дала можливість абсолютно точно геометрично обчислити умовний центр зосередження електричних мас, куди технічно та економічно найдоцільніше максимально наблизити головну знижувальну підстанцію. Здійснений глибокий аналіз балансування реактивної енергії став міцним підґрунтям для обґрунтування необхідного числа та номіналів конденсаторних батарей на рівні напруги десять та нуль цілих чотири десятих кіловольта. Варто обов'язково зазначити, що до процесу генерації реактиву в мережу також активно залучалися наявні на виробництві високовольтні синхронні електродвигуни, робота яких у режимі перезбудження значно розвантажує живильні лінії.

Отримані результати математичного моделювання струмів при різних видах аварійних замикань стали вихідними даними для перевірки термічної та динамічної стійкості обраної високовольтної апаратури, а також для точного обчислення перерізів струмопровідних жил кабельних ліній електропередачі. Разом з тим, окрема практична увага приділялася правильному підбору вимірювальних трансформаторів напруги і струму класу десять кіловольт, які є

						Арк.
						67

критично важливими для безпечного функціонування приладів комерційного обліку та терміналів релейного захисту.

Підсумовуючи весь обсяг виконаної роботи, можна впевнено стверджувати, що розроблена архітектура промислової електромережі цілком задовольняє всі сучасні нормативні критерії щодо надійності, експлуатаційної безпеки та техніко-економічної ефективності подібних інженерних комплексів.

						Арк.
						68

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Електротехнічні системи електроспоживання : [навч. посіб.] / П. Г. Плешков, В. В. Зінзура, Н. Ю. Гарасьова [та ін.] ; за заг. ред. П. Г. Плешкова. - Кропивницький : ЦНТУ, 2021. – 208 с.
2. Правила улаштування електроустановок / Міненерговугілля України. – Київ : 2017. – 617 с.
3. Електропостачання: підручник / П. О. Василега. – Суми: СДУ, 2019. – 521 с.
4. Перехідні процеси в системах електропостачання / Г. Г. Півняк, В. Н. Винославський, А. Я. Рибалко, Л. І. Несен та ін. – Дніпропетровськ : Вид-во НГА України, 2000. – 378 с.
5. Рудницький В. Г. Внутрішньозаводське електропостачання. Курсове проектування : навчальний посібник / В. Г. Рудницький. – Суми : Університетська книга, 2006. –153 с.