

Міністерство освіти і науки України  
Центральноукраїнський національний технічний університет  
Факультет будівництва, транспорту та енергетики  
Кафедра «Електротехнічні системи та енергетичний менеджмент»

“Допущено до захисту”  
Зав. кафедрою ЕТС та ЕМ  
к.т.н., професор  
\_\_\_\_\_ П. Пешков  
“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2025 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
**за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти**

на тему:

**Розробка системи електропостачання  
машинобудівного заводу з  
випуску сільськогосподарської техніки**  
**Development of a power supply system for a machine-  
building plant**

Виконав здобувач III курсу, групи ЕЕ-22мб  
спеціальності 141 «Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка»

\_\_\_\_\_ В. Висота  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

Керівник роботи

доцент, канд. техн. наук

\_\_\_\_\_ Р. Телюта  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

Рецензент \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

м. Кропивницький

Міністерство освіти і науки України

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет будівництва, транспорту та енергетики

Кафедра електротехнічних систем та енергетичного менеджменту

Освітній ступінь бакалавр

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітньо-професійна програма

«Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедрою ЕТС та ЕМ

\_\_\_\_\_ П. Плешков

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

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

*Висоті Володимирі Миколайовичу*

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи

*Розробка системи електропостачання машинобудівного заводу з випуску сільськогосподарської техніки*

*Development of a power supply system for a machine-building plant producing agricultural machinery*

2. Керівник роботи

*Телюта Руслан Васильович, к.т.н., доцент*

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

3. Строк подання студентом роботи до захисту 17.06.2025 р.

4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи Метою роботи є розробка системи електропостачання машинобудівного заводу з випуску сільськогосподарської техніки. Завдання: дати загальну характеристику електротехнологічного процесу заводу. Розрахунок силових електричних навантажень. Побудова графіків електричних навантажень заводу з переробки насіннєвого продукту. Побудова картограм електричних навантажень. Вибір напруги і електричних схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання. Режими реактивної потужності системи електропостачання. Вибір кількості та потужності трансформаторів. Розрахунок струмів коротких замкнень та вибір високовольтного обладнання і високовольтних мереж системи електропостачання. Вимірювання режимних параметрів системи електропостачання. Розробка спеціального розділу. Висновки. Перелік посилань.

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

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

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Видача завдання</i>	<i>03.04. 25</i>	
2	<i>Вступ</i>	<i>10.04. 25</i>	
3	<i>Електричні навантаження в системі електропостачання</i>	<i>14.04. 25</i>	
4	<i>Побудова картограми електричних навантажень</i>	<i>17.04. 25</i>	
5	<i>Техніко-економічне обґрунтування схем електропостачання</i>	<i>24.04. 25</i>	
		<i>31.04. 25</i>	
6	<i>Вибір кількості, потужності та місця розташування трансформаторів</i>	<i>04.05. 25</i>	
		<i>07.05. 25</i>	
7	<i>Режими реактивної потужності системи електропостачання</i>	<i>12.05. 25</i>	
		<i>19.05. 25</i>	
8	<i>Розрахунок струмів короткого замикання</i>	<i>26.05. 25</i>	
9	<i>Вибір обладнання електропостачання</i>	<i>02.06. 25</i>	
10	<i>Спеціальний розділ</i>	<i>06.06. 25</i>	
11	<i>Заключення</i>	<i>09.06. 25</i>	
12	<i>Список літератури</i>	<i>13.06. 25</i>	
13	<i>Оформлення розрахунково-пояснювальної записки</i>	<i>17.06. 25</i>	
14	<i>Оформлення графічної частини</i>	<i>19.06. 25</i>	

Дата видачі завдання

Підпис керівника \_\_\_\_\_

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

Завдання прийнято до виконання

Підпис здобувача \_\_\_\_\_

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

## АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: 63 с.; 11 рис.; 30 табл.; 12 джерел

**Висота В.М. Розробка системи електропостачання машинобудівного заводу з випуску сільськогосподарської техніки. – Рукопис.**

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

Розроблена система електропостачання машинобудівного заводу з випуску сільськогосподарської техніки відповідає критеріям економічної доцільності, операційної надійності та безпечного обслуговування. Запроектована мережа демонструє оптимальне співвідношення капітальних вкладень та експлуатаційних витрат, забезпечуючи стабільне постачання електроенергії при дотриманні нормативів якості.

Система включає резервні канали живлення, автоматичні пристрої захисту та компенсацію реактивної потужності для мінімізації ризиків аварійних відключень. Технічні рішення базуються на сучасних стандартах енергоефективності та враховують специфіку машинобудівного виробництва.

Дослідження якості електричної енергії показали критичну важливість стабільного електропостачання для ефективності виробництва сільськогосподарських машин. Порушення стандартів якості призводять до збоїв обладнання та зниження продуктивності.

Впровадження систем автоматизованого контролю з адаптивними фільтрами забезпечує оперативне виявлення та коригування відхилень без зупинки технологічних процесів, що підвищує загальну ефективність виробництва та зменшує ризик збоїв у роботі обладнання.

**Ключові слова:** електропостачання, електричні навантаження, компенсація, якість електричної енергії.

## ABSTRACT

Qualification work: 63 p.; 16 Fig.; 30 tables; 8 sources

### **Vysota V.M. Development of a power supply system for a machine-building plant producing agricultural machinery. – Manuscript.**

Bachelor's thesis on specialty 141 "Electric power engineering, electrical engineering and electromechanics", OPP "Electric power engineering, electrical engineering and electromechanics". – Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, 2025.

The developed power supply system of a machine-building plant for the production of agricultural machinery meets the criteria of economic feasibility, operational reliability and safe maintenance. The designed network demonstrates the optimal ratio of capital investments and operating costs, ensuring a stable supply of electricity while complying with quality standards.

The system includes backup power channels, automatic protection devices and reactive power compensation to minimize the risks of emergency shutdowns. Technical solutions are based on modern energy efficiency standards and take into account the specifics of machine-building production.

Studies of the quality of electrical energy have shown the critical importance of stable power supply for the efficiency of agricultural machinery production. Violations of quality standards lead to equipment failures and reduced productivity.

The implementation of automated control systems with adaptive filters ensures prompt detection and correction of deviations without stopping technological processes, which increases the overall efficiency of production and reduces the risk of equipment failures.

**Key words:** power supply, electrical loads, compensation, quality of electrical energy.

## Зміст

	Стор.
Вступ.....	8
1. Електричні навантаження в системі електропостачання машинобудівного заводу.....	9
1.1. Визначення силових електронавантажень машинобудівного заводу у мережах до 1000 В.....	9
1.2. Розрахунок освітлювальних навантажень машинобудівного заводу	12
1.3. Розрахунок електронавантажень машинобудівного заводу в силових мережах вище 1000 В.....	13
1.4. Побудова графіків електричних навантажень машинобудівного заводу.....	17
2. Побудова картограми електричних навантажень машинобудівного заводу та місце розташування ЦРП .....	22
3. Техніко-економічне обґрунтування схем електропостачання машинобудівного заводу зовнішнього та внутрішнього виконання ...	24
3.1. Вибір напруги та схеми зовнішнього електропостачання машинобудівного заводу .....	24
3.2. Вибір напруги та схеми внутрішнього електропостачання машинобудівного заводу .....	28
4. Вибір кількості трансформаторів їх потужності та місця розташування на машинобудівному заводі.....	29
5. Режими реактивної потужності системи електропостачання машинобудівного заводу.....	30
5.1. Розрахунок балансу реактивної потужності на машинобудівному заводі та вибір компенсуючих пристроїв.....	30

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ			
Розробив		Висота.В.М.			Розробка системи електропостачання машинобудівного заводу з випуску сільськогосподарської техніки	Лім.	Аркуш	Аркушів
Перевірів		Телюта Р.В.				6	63	
Н. Контр.					Development of a power supply system for a machine-building plant	ЦНТУ зр. ЕЕ-22мб		
Затвердив		Плешков П.Г.						

5.2. Вибір кількості компенсуючих пристроїв на машинобудівному заводі, їх потужності та місця розташування .....	31
6. Розрахунок струмів короткого замикання та вибір високовольтного електрообладнання на машинобудівному заводі.....	35
6.1. Розрахунок струмів коротких замикань в системі живлення машинобудівного заводу .....	35
6.2. Вибір високовольтних кабелів для машинобудівного заводу.....	40
6.3. Вибір електричних апаратів високої напруги для машинобудівного заводу .....	41
6.4. Вибір трансформаторів струму та напруги для машинобудівного заводу.....	46
7. Спеціальний розділ. Дослідження системи електропостачання машинобудівного заводу на питання якості електричної енергії. ....	49
7.1. Загальні питання якості електричної енергії в системі електропостачання машинобудівного заводу .....	49
7.2. Розрахунок відхилення напруги .....	50
7.3. Вибір методів і технічних заходів для забезпечення якості електро- енергії .....	56
7.4. Контроль якості електроенергії: вибір технічних засобів .....	58
7.5. Висновки. ....	61
Висновки .....	62
Перелік посилань.....	63

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

## Вступ

Розробка системи електропостачання та енергозабезпечення заводу сільськогосподарських машин базується на трьох ключових принципах: економічна ефективність, операційна безпека та технічна надійність. Правильний розрахунок потужностей та інтеграція відновлювальних джерел енергії (сонячні панелі, вітрогенератори) знижують експлуатаційні витрати на 20-30%.

Проектування включає визначення силового навантаження виробничого обладнання для випуску тракторів, комбайнів та іншої агротехніки. Побудова графіків споживання дозволяє оптимізувати роботу трансформаторних підстанцій та систем компенсації реактивної потужності.

Модульна архітектура мережі забезпечує можливість масштабування відповідно до розширення виробничих ліній. Використання високовольтного обладнання з автоматизованими системами управління гарантує стабільність параметрів живлення для прецизійного металообробного устаткування.

Завод агромашинобудування має значний як внутрішній так і експортний потенціал, що вимагає впровадження енергоефективних технологій для підтримання конкурентоспроможності продукції на міжнародних ринках. Інвестиції в сучасні системи електропостачання окупаються через зниження собівартості виробництва та підвищення якості готових виробів.

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

# 1. Електричні навантаження в системі електропостачання машинобудівного заводу

Обчислення розрахункових електричних навантажень споживачів енергії промислового підприємства може здійснюватися за допомогою різноманітних підходів, які обираються відповідно до специфічних особливостей та вимог електроприймачів. Один із таких способів детально розглянуто в літ. джерелі [1].

## 1.1 Визначення силових електронавантажень машинобудівного заводу у мережах до 1000 В

Середнє навантаження для електрогрупи машинобудівного заводу:

$$P_{cp} = P_{сум} \cdot K_u = 80,5 \cdot 0,51 = 41,5 \text{ кВт},$$

$$Q_{cp} = P_{cp} \cdot \operatorname{tg} \varphi = 80,5 \cdot 0,79 = 32,9 \text{ кВар}.$$

Середньозмінне навантаження для електрогрупи:

$$P_{см} = \sum P_{срi} = 60 + 4 + 4 + 12,5 = 80,5 \text{ кВт}$$

Аналогічно:  $Q_{см} = 32,9 \text{ кВар}$

Ефективне число для електрогрупи машинобудівного заводу

$$n_e = \frac{2 \cdot \sum P_n}{P_{н. \max}} = \frac{2 \cdot 80,5}{15} = 7.$$

Знаходимо коефіцієнт  $m$  для машинобудівного заводу:

$$m = \frac{P_{н. \max}}{P_{н. \min}} = \frac{15}{1} = 15.$$

Розрахункове навантаження для машинобудівного заводу

$$P_p = P_{см} \cdot K_m = 41,5 \cdot 1,45 = 59,98 \text{ кВт},$$

$$Q_p = 36,22 \text{ кВар}.$$

Максимум навантаження для машинобудівного заводу

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{59,98^2 + 36,22^2} = 70,07 \text{ кВА}.$$

Розрахунок існуючих навантажень до 1000 В для машинобудівного заводу див. в таблиці 1.1.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		9

Таблиця 1.1. Розрахунок ел. навантажень до 1 кВ по дослідній ділянці

№	Назва вузлів навантаження для машинобудівного заводу	Кількість ел. споживачів для маш. заводу	Встановлена потужність, кВт		$P_{\Sigma}$ кВт	$m$	$K_6$	$\cos\varphi$	$tg\varphi$	Середнє навантаження за зміну, кВт		$K_M$	Розрахункова потужність для машинобудівного заводу, кВт			
			мін	макс.						$P_{cp}$	$Q_{cp}$		$P_p$	$Q_p$	$S_p$	
	Дослідна ділянка															
1.	ПК, офісна техніка ділянки	33	0,5	3	50	6	0,7	0,8	0,75	35,0	26,3					
2.	Кондиціонери	18	0,5	18	12,5	36	0,7	0,8	0,75	8,8	6,6					
3.	Ліфт	2	5,5	7,5	15	1	0,3	0,5	1,73	3,8	6,5					
4.	Вентилятори виробничі, сантехнічні	6	5,5	10	45	2	0,65	0,8	0,75	29,3	21,9					
5.	Виробувальні стенди та апаратура	9	3,0	30	135	10	0,2	0,7	1,17	27,0	31,6					
6.	Тестуюча апаратура	3	1,0	5,0	10	5	0,4	0,75	0,88	4,0	3,5					
7.	Електричні печі опору	3	3,0	30	45	10	0,2	0,95	0,33	9,0	3,0					
8.	Електронагрівачі	15	0,5	6	45	12	0,6	0,9	0,48	27,0	13,1					
9.	Електронагрівачі води	19	1,0	10	57	10	0,6	1,0	0	34,2	0,0					
10.	Холодильники	18	0,5	0,8	12,6	2	0,7	0,50	1,73	8,8	15,3					
	Всього по дослідній ділянці	126	0,5	30	427,1	60	0,44	0,83	0,68	186,8	127,7	28	1,24	231,05	127,65	263,97

Таблиця 1.2. Розрахунок електричних навантажень споживачів машинобудівного заводу мережі до 1 кВ

№	Назва вузлів навантаження для машинобудівного заводу	Кількість ел. споживачів для маш. заводу		Встановлена потужність, кВт		m	K <sub>e</sub>	cosφ	tgφ	Середнє навантаження за зміну, кВт		K <sub>M</sub>	Розрахункова потужність для машинобудівного заводу, кВт			
		Одного	Сум.	Одного	Q <sub>ср</sub>					P <sub>p</sub>	Q <sub>p</sub>		S <sub>p</sub>			
1	2	3	5	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	Проектувально випробувальна дільниця	155	605	0,5 - 30	605	60	0,46	0,84	0,65	279,9	182,4	40	1,18	330,86	182,42	377,82
2	Дослідна дільниця	126	427,1	0,5 - 30	427,1	60	0,44	0,83	0,68	186,8	127,7	28	1,24	231,05	127,65	263,97
3	Склад зберігання фраби	7	82,5	1,0 - 15	82,5	15	0,51	0,78	0,80	41,8	33,3	7	1,46	60,85	36,63	71,02
4	Склад зберігання сировини	10	46,5	1,0 - 5,5	46,5	6	0,47	0,80	0,75	22,0	17,7	10	1,40	30,74	19,52	36,42
5	Склад металевих виробів	21	140	1,0 - 15	140	15	0,29	0,80	0,75	40,4	47,7	19	1,43	57,73	47,67	74,86
6	Склад готової продукції	12	120	1,0 - 17,5	120	18	0,11	0,71	0,99	12,8	12,6	12	2,07	26,5	12,6	29
7	Дільниця обробітку металевих виробів	32	637	7,5 - 40	637	5	0,24	0,65	1,17	152,3	178,7	32	1,36	207,9	178,7	274,1
8	Дільниця ремонту виробів	45	503	2,2 - 40	503	18	0,16	0,51	1,71	78,0	133,2	25	1,56	121,5	133,2	180,3
9	Дільниця обробітку (пресова)	44	1925	10 - 112	1925	12	0,21	0,65	1,17	396,0	463,0	34	1,39	550,8	463,0	719,6
10	Дільниця зварювальна	49	2789	2,2 - 300	2789	136	0,45	0,64	1,2	1262,1	1528,5	19	1,29	1622,5	1528,5	2229,1
11	Дільниця обробки матеріалу	21	997,2	2,2 - 300	997,2	136	0,31	0,59	1,38	307,8	424,2	7	1,74	536,9	466,6	711,3
12	Дільниця фарбування виробів	20	375	17,5 - 60	375	3	0,71	0,81	0,7	268,0	195,9	13	1,16	268,0	215,5	343,9
13	Дільниця збирання виробів	14	185	1,0 - 22	185	22	0,4	0,5	1,73	71,6	124,1	14	1,40	100,3	124,1	159,6
	Всього до споживачам	556	8832	0,5 - 300	8832	600	0,35	0,67	1,11	3119,4	3469,0	59	1,19	3715,4	3469,0	5083,1

## 1.2 Розрахунок освітлювальних навантажень машинобудівного заводу

Обчислення навантажень від систем освітлення промислового підприємства здійснюється за допомогою методу питомих потужностей відповідно до підходу, викладеного в джерелі [1], що базується на розрахунку потужності на квадратний метр робочої площі приміщень. Результати зводимо у таблицю 1.2.

Таблиця 1.2 Розрахунок освітлювальних навантажень для машинобуд.заводу.

№ П/П	Найменування приміщення для машинобудівного заводу	$F$ , м <sup>2</sup>	$p_o$ , Вт/м <sup>2</sup>	$P_v$ , кВт	$\cos\varphi$	$K_l$	$K_c$	$tg\varphi$	Розрахункове навантаження для машинобудівного заводу		
									$P_p$ , кВт	$Q_p$ , квар	$S_p$ , кВА
1	Проектувально випробувальна дільниця	498,8	22	10,97	0,9	1,2	0,8	0,48	8,78	4,21	9,74
2	Дослідна дільниця	498,8	22	10,97	0,9	1,2	0,8	0,48	8,78	4,21	9,74
3	Склад зберігання фраби	626,4	6	3,76	0,9	1,2	0,6	0,48	2,26	1,08	2,50
4	Склад зберігання сировини	948	6	5,7	0,5	1,12	0,6	1,73	3,4	5,9	6,82
5	Склад металевих виробів	3180	6	19,1	0,5	1,12	0,6	1,73	11,4	19,81	22,88
6	Склад готової продукції	12000	0,4	4,8	0,5	1,12	0,6	1,73	2,9	4,98	5,75
7	Дільниця обробітку металевих виробів	1196	16	19,1	0,5	1,12	0,9	1,73	16,3	28,14	32,50
8	Дільниця ремонту виробів	2139	18	38,5	0,9	1,2	0,9	0,48	32,7	15,71	36,30
9	Дільниця обробітку (пресова)	5922	16	94,8	0,5	1,12	0,9	1,73	80,5	139,3	160,94
10	Дільниця зварювальна	5341	18	96,1	0,9	1,2	0,9	0,48	81,7	39,2	90,64
11	Дільниця обробки матеріалу	441	18	7,9	0,9	1,2	0,9	0,48	6,7	3,2	7,48
12	Дільниця фарбування виробів	4336,5	16	69,4	0,5	1,12	0,9	1,73	59,0	102,0	117,85
13	Дільниця збирання виробів	6405	18	115,3	0,9	1,2	0,9	0,48	98,0	47,0	108,70
14	Територія корпусу	60599	0,1	6,1	0,5	1,12	0,6	1,73	3,6	6,29	7,27
	Всього								416,2	421,20	619,11

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

### 1.3 Розрахунок електронавантажень машинобудівного заводу в силових мережах вище 1000 В

Обчислення навантажень у високовольтній мережі підприємства (понад 1000 В) вимагає ретельного аналізу кількості та локалізації комплектних трансформаторних підстанцій із визначенням їх номінальних потужностей. Побудова картограми споживання дозволяє встановити ці характеристики та розробити схеми енергопостачання виробничих ділянок заводу.

За економічної недоцільності встановлення індивідуальних КТП електроживлення приміщень можна реалізувати через низьковольтну мережу 380 В від підстанцій суміжних споживачів, дотримуючись вимог ДЕСТ-13109-67 щодо відхилень напруги на затискачах електроприймачів. Це рішення суттєво скорочує капітальні витрати на спорудження нових підстанцій і забезпечує оптимальні режими роботи наявної інфраструктури.

Сумарне навантаження промислових споживачів визначається аналогічно до розрахунків окремих трансформаторних підстанцій. Наступним етапом є обчислення втрат у трансформаторному обладнанні для кожної КТП або їх групи.

Відповідно до довідкових даних [1] технічні характеристики трансформатора ТМ-630/10/0,4 можна взяти також і з даного джерела

Результати розрахунку електричних навантажень підприємства для силових мереж напругою понад 1000 В представлено у формі таблиці 1.3.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		13

Таблиця 1.3 Розрахунок електричних навантажень машинобудівного заводу в мережі вище 1000 В

№	Назва вузлів навантаження та груп електроприймачів	Кількість ел. споживачів	Встановлена потужність, кВт		m	K <sub>в</sub>	cosφ	tgφ	Сер. Навантаження, кВт		Розрахункова потужність, кВт				
			Одного	Сум.					Р <sub>ср</sub>	Q <sub>ср</sub>	Р <sub>р</sub>	Q <sub>р</sub>			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	<b>ТП№1</b>														
	Проектувально випробувальна д														
	силова	155	0,5 - 30,0	605	60	0,46	0,84	0,65	279,9	182,4	40,0	1,18	330,9	182,4	377,8
	освітлювальна												8,8	4,2	
	Всього												339,6	186,6	387,5
	Дослідна діляниця														
	силова	126	0,5 - 30,0	427	60	0,44	0,83	0,68	186,8	127,7	28,0	1,24	231,1	127,7	264,0
	освітлювальна												8,8	4,2	
	Всього												239,8	131,9	273,7
	Склад зберігання фраби														
	силова	7	1,0 - 15,0	83	15	0,51	0,78	0,80	41,8	33,3	7,0	1,46	60,8	36,6	71,0
	освітлювальна												2,3	1,1	
	Всього												63,1	37,7	73,5
	Діляниця збирання виробів														
	силова	14	1,0 - 22,0	185	22	0,39	0,50	1,73	71,6	124,1	14,0	1,40	100,3	124,1	159,6
	освітлювальна												98,0	47,0	
	Всього												198,3	171,1	261,9
	Всього по ТПП№1														
	силова	302	0,5 - 30,0	1300	60	0,45	0,78	0,8	580,1	467,5	87,0	1,12	651,2	467,5	801,6
	освітлювальна												117,8	56,5	
	Всього												769,0	524,0	930,6
	БСК														
	3 урахуванням БСК												769,0	524,0	
	Втрати в тра-рах Sn.тр =630	2											8,3	67,5	
	Всього на шинах 10 кВТП№1												777,3	591,5	976,8
2	<b>ТП№2</b>														
	Склад зберігання сировини														
	силова	10	1,0 - 5,5	47	6	0,47	0,80	0,75	22,0	17,7	10,0	1,40	30,7	19,5	36,4
	освітлювальна												3,41	5,9	
	Всього												34,2	25,4	42,6

продовження таблиці 1.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	Склад металевих виробів														
	силова	21	1,0 -	15,0	140	15	0,29	0,80	0,75	40,4	19,0	1,43	57,7	47,7	74,9
	освітлювальна												11,4	19,8	
	Всього												69,2	67,5	96,6
	Склад готової продукції														
	силова	12	1,0 -	17,5	120	18	0,11	0,71	0,99	12,8	12,0	2,1	26,5	12,6	29,4
	освітлювальна												2,9	4,98	
	Всього												29,4	17,6	34,3
	Дільниця обробітку металевих ви														
	силова	32	7,5 -	40,0	637	5	0,24	0,65	1,17	152,3	32,0	1,4	207,9	178,7	274,1
	освітлювальна												16,3	28,14	
	Всього												224,1	206,8	305,0
	Дільниця обробітку (пресова)														
	силова	44	10 -	112	1925	12	0,21	0,65	1,17	396,0	34,0	1,4	550,8	463,0	719,6
	освітлювальна												80,5	139,3	
	Всього												631,4	602,3	872,6
	Всього по ТП№2														
	силова	119	1,0 -	112	2868,0	112	0,22	0,65	1,15	623,5	51,0	1,3	810,4	719,7	1083,9
	освітлювальна												114,5	198,2	
	Всього												925,0	917,9	1303,1
	БСК														
	3 урахованням БСК												925,0	917,9	
	Втрати в тра-рах Sn.тр = 630	2											10,8	76,1	
	Всього на пинах 10 кВ ТП№2												935,8	993,9	1365,1
3	ТП№3,4														
	Дільниця ремонту виробів														
	силова	45	2,2 -	40	503	18	0,16	0,51	1,71	78,0	25,0	1,6	121,5	133,2	180,3
	освітлювальна												32,7	15,71	
	Всього												154,2	149,0	214,4
	Дільниця зварювальна														
	силова	49	2,2 -	300	2789	136	0,45	0,64	1,21	1262,1	19,0	1,3	1622,5	1528,5	2229,1
	освітлювальна												81,7	39,2	
	Всього												1704,2	1528,5	2289,2

ПРОДОВЖЕННЯ ТАБЛІЦІ 1.3

2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Всього по ТП№3,4														
силова	94	2,2	300	3292	136	0,41	1,24	1340,1	1661,7	22,0	1,3	1732,6	1661,7	2400,7
освітлювальна												114,4	54,9	
Всього												1847,1	1716,7	2521,6
БСК														
З урахуванням БСК												1847,1	1716,7	
Втрати в тра-рах Sn.тр =630	4											21,6	152,0	
Всього на шинах 10 кВ ТП№3,4												1868,7	1868,6	2642,7
<b>ТП№5</b>														
Дільниця обробки матеріалу														
силова	21	2,2	300	997	136	0,31	1,38	307,8	424,2	7,0	1,74	536,9	466,6	711,3
освітлювальна												6,7	3,2	
Всього												543,7	469,9	718,6
Дільниця фарбування виробів														
силова	20	18	60	375	3,0	0,71	0,81	268,0	195,9	13,0	1,16	268,0	215,5	343,9
освітлювальна												59,0	102,0	
Всього												327,0	317	455,8
Всього по ТП№5														
силова	41	2,2	300	1372,2	136	0,42	1,08	575,8	620,1	9,0	1,48	854,0	682,1	1092,9
освітлювальна												65,7	105,3	
Всього												919,7	787,3	1210,7
БСК														
З урахуванням БСК												919,7	787,3	
Втрати в тра-рах Sn.тр = 630	2											10,7	79,0	
силова	556	0,5	300	8832	600	0,35	1,11	3119,4	3469,0	59,0	1,19	3715,4	3469,0	5083,1
освітлювальна												416,2	421,2	
Компенсуючі пристрої -0,4 кВ														
Всього												4131,6	3890,2	5674,8
Втрати в трансформаторах	10											51,4	374,6	378,1
Всього по заводу												4182,9	4264,7	5973,7
Компенсуючі пристрої -10 кВ														
Всього на шинах 10 кВ												4182,95	4264,73	5973,69
												тgφ=	1,02	

## 1.4 Побудова графіків електричних навантажень машинобудівного заводу

Базуючись на результатах інструментальних вимірювань, формуються добові діаграми електроспоживання підприємства для холодного та теплого сезонів  $P(t)$ ,  $Q(t)$ ,  $S(t)$  з врахуванням робочого режиму та періодів простою (зміни). Ці діаграми є основою для створення річного графіка електричних навантажень заводу.

Аналіз добової діаграми роботи дозволяє оцінити можливості наявних комплектних трансформаторних підстанцій. Визначення рівнів напруги в розподільчій мережі підприємства потребує знання екстремальних значень його електроспоживання. Розрахункові параметри максимального навантаження: Пікова активна потужність заводу:  $P_{\max} = 4438,26$  кВт; Пікова реактивна потужність заводу:  $Q_{\max} = 4429,74$  квар.

Таблиця 1.4. Вихідні дані граф електр. навант. машинобудівного заводу

Доба, години	Робочий період заводу		Вихідний період заводу	
	P,кВт	Q, квар	P,кВт	Q, квар
1	47	44	49	54
2	48	44	49	54
3	47	44	49	54
4	48	44	49	54
5	49	44	49	54
6	51	54	49	54
7	59	63	40.0	48.0
8	92	89	40.0	48.0
9	99	99	40.0	48.0
10	95	97	40.0	48.0
11	81	76	40.0	48.0
12	84	82	40.0	48.0
13	90	96	40.0	48.0
14	90	96	40.0	48.0
15	83	79	40.0	48.0
16	83	79	40.0	48.0
17	83	79	40.0	48.0
18	81	72	49	54
19	74	62	49	54
20	75	69	49	54
21	74	69	49	54
22	72	59	49	54
23	63	49	49	54
24	47	44	49	54



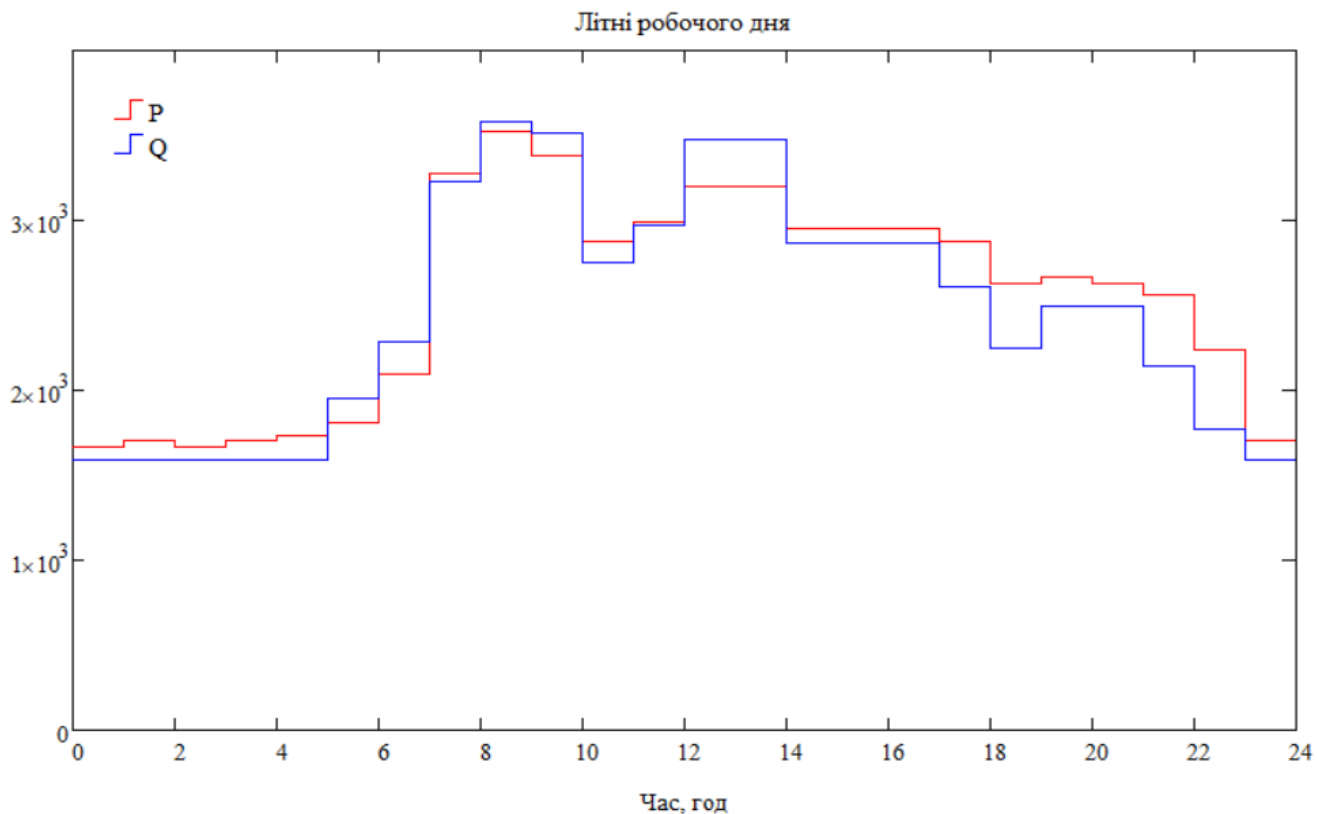


Рисунок 1.4.1. - Добовий графік машинобудівного заводу (літні робочі дні)

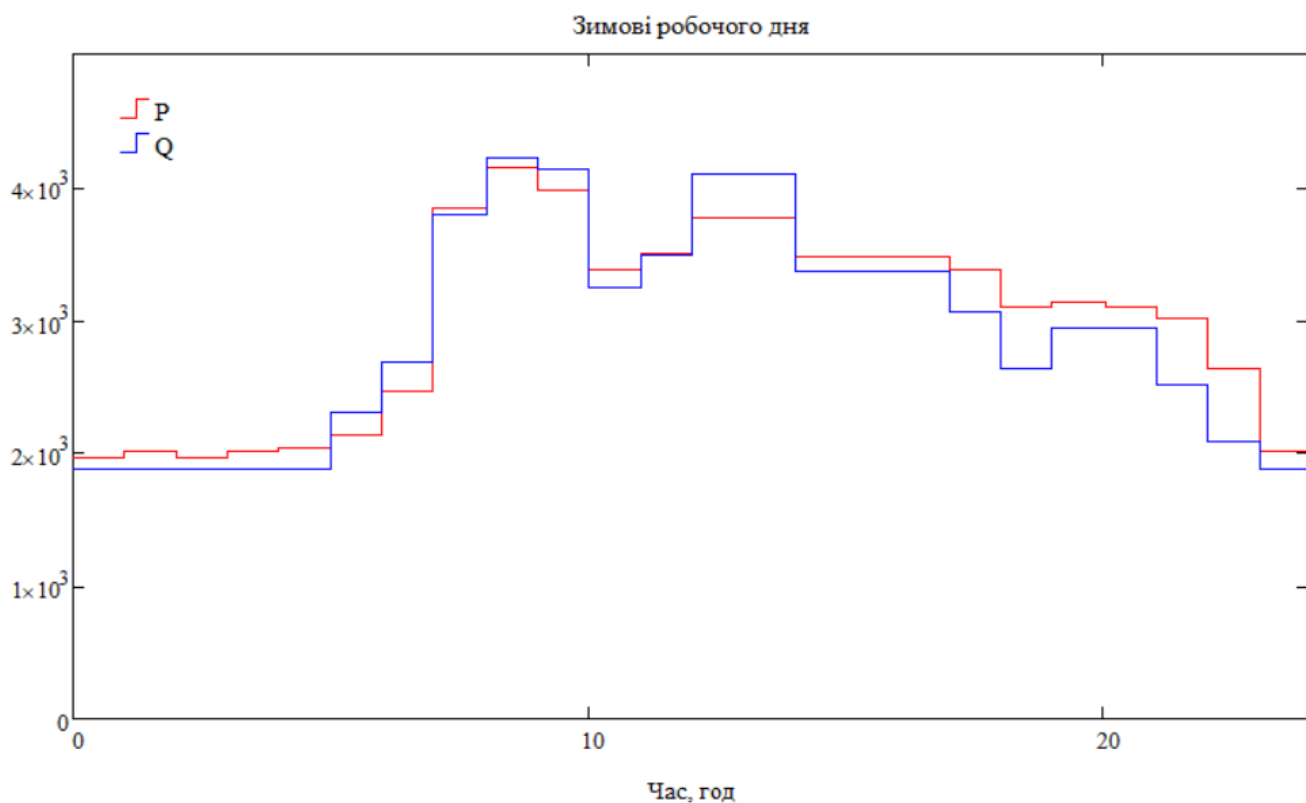


Рисунок 1.4.2. - Добовий графік машинобудівного завод ( зимові робочі дні)

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		19



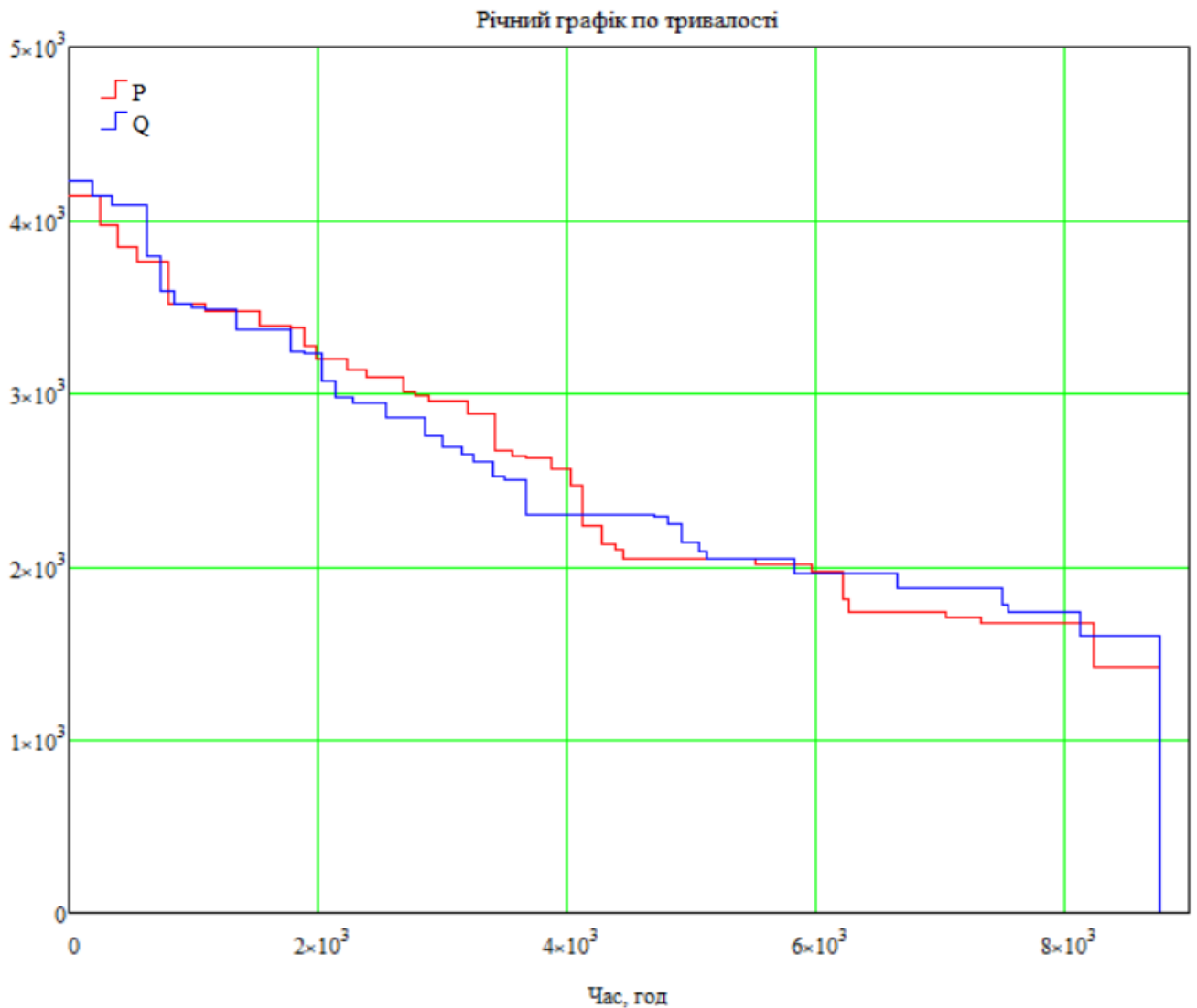


Рисунок 1.4.5. - Річний графік машинобудівного заводу за тривалістю

Обчислені параметри діаграм електричного споживання підприємства машинобудівного заводу:

Річний обсяг реактивної енергії промислового об'єкта машинобудівного заводу:

$$V_{\Sigma} = 22003032,0 \text{ квар} \cdot \text{год}$$

Річний обсяг активної енергії промислового об'єкта машинобудівного заводу:

$$W_{\Sigma} = 21\,724\,218,0 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Річна тривалість максимальних втрат на машинобудівного заводу:

$$\tau = 3\,406,82 \text{ год}$$

Час використання пікової потужності машинобудівного заводу:

$$T_{max} = 5\,176,11 \text{ год}$$

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата					21

## 2. Побудова картограми електричних навантажень машинобудівного заводу та місце розташування ЦРП

Картограма електричних навантажень (КЕН) підприємства є ключовим етапом проектування мереж, що дозволяє оптимально розташувати центри електричних навантажень та комплектні трансформаторні підстанції.

Для побудови КЕН визначаються радіуси кіл  $R_i$  для кожного об'єкту, площа яких  $\pi R_i^2$  у заданому масштабі відповідає повному навантаженню цеху  $P_i$ , кВА.

$$R_1 = \sqrt{\frac{P_1}{\pi m}} = \sqrt{\frac{P_{p.осв} + P_{p.сип}}{\pi m}} = \sqrt{\frac{8,78 + 330,86}{3,14 \cdot 0,2}} = 23,256 \text{ мм}$$

Застосовуючи принцип аналогії між фізичними масами та електричними потужностями споживачів  $P_i$ , можна налаштувати координати геометричного центру (X,Y) для промислового підприємства наступним способом:

$$x_0 = \frac{\sum_{i=1}^n x_i P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} = 2310643,92 / 4561,80 = 506,52 \text{ м} = 25,32 \text{ см}$$

$$y_0 = \frac{\sum_{i=1}^n y_i P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} = 529919,24 / 4561,80 = 116,16 \text{ м} = 5,81 \text{ см}$$

На картограмі електроспоживання машинобудівного заводу поряд із силовими навантаженнями (високо- та низьковольтними) зображується також споживання від систем освітлення. Навантаження освітлення подається у формі сектора з кутом  $\alpha$  у центрі. Величина центрального кута  $\alpha$  відповідає частці, яку займає освітлювальне споживання на загальній картограмі заводу в секторальному представленні. Кут розраховується так, щоб його площа в обраному масштабі відповідала значенню освітлювального навантаження виробничого корпусу:

$$\alpha_i = \frac{P_{i.осв} \cdot 360}{P_i} = \frac{8,78 \cdot 360}{339,64} = 9,31^\circ$$

Для інших цехів, корпусів розрахунок зводимо до таблиці 2.1.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		22

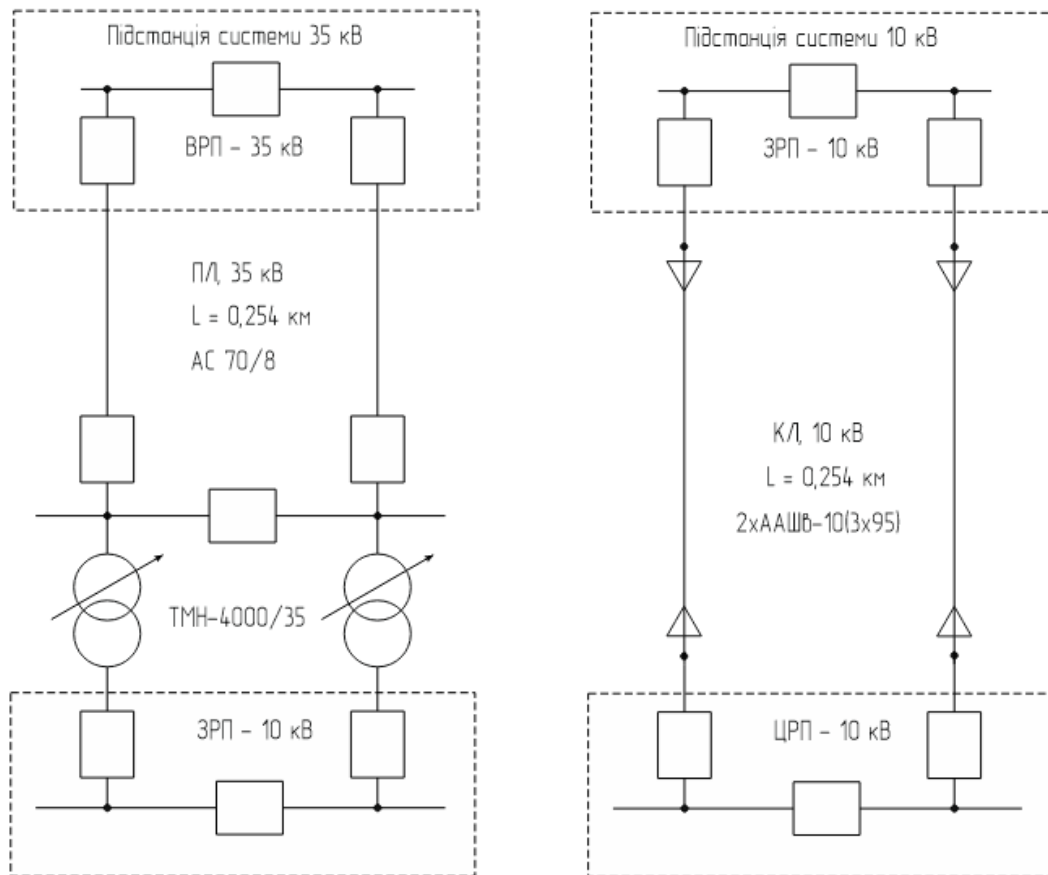
Таблиця 2.1. Дані для розрахунку умовного ЦЕН для машинобудівного заводу.

№ по плану	Найменування	Р <sup>0,4</sup> -сил, кВт	Р <sup>10</sup> -сил, кВт	Р <sub>р</sub> , кВт	m	R, мм	φ	x, м	y, м	Р·х, кВт·м	Р·у, кВт·м
1	Проектувально випробувальна дільниця	330,86	0	8,78	0,2	23,25	9,31	35	261	11902,38	88503,97
2	Дослідна дільниця	231,05	0	8,78	0,2	19,54	13,18	47	215	11226,58	51479,64
3	Склад зберігання фрази	60,85	0	2,26	0,2	10,02	12,87	260	328	16416,78	20692,22
4	Склад зберігання сировини	30,74	0	3,41	0,2	7,37	35,97	541	327	18478,19	11165,13
5	Склад металевих виробів	57,73	0	11,45	0,2	10,49	59,58	743	228	51406,01	15802,41
6	Склад готової продукції	26,49	0	2,88	0,2	6,84	35,30	383	240	11256,33	7040,27
7	Дільниця обробітку металевих виробів	207,88	0	16,27	0,2	18,89	26,12	683	238	153032,21	53447,03
8	Дільниця ремонту виробів	121,49	0	32,73	0,2	15,67	76,40	683	93	105287,88	14406,76
9	Дільниця обробітку (пресова)	550,83	0	80,54	0,2	31,70	45,92	518	140	326968,69	88494,50
10	Дільниця зварювальна	1622,51	0	81,72	0,2	47,25	17,26	550	49	937137,84	83984,35
11	Дільниця обробки матеріалу	536,90	0	6,75	0,2	29,42	4,47	344	49	186866,93	26791,11
12	Дільниця фарбування виробів	268,00	0	58,98	0,2	22,81	64,93	256	49	83614,73	16113,40
13	Дільниця збирання виробів	100,30	0	98,00	0,2	17,77	127,30	224	140	44360,98	27757,42
14	Територія корпусу		0	3,64	0,2	2,41	360,00	381	182	1385,29	661,74
	Всього по машинобудівному заводу			4561,80						2310643,92	529919,24

### 3. Техніко-економічне обґрунтування схем електропостачання машинобудівного заводу зовнішнього та внутрішнього виконання

#### 3.1. Вибір напруги та схеми зовнішнього електропостачання машинобудівного заводу

Базуючись на положенні теоретичного джерела [1], приймаємо комплексний техніко-економічний аналіз і зіставляємо альтернативні конфігурації системи зовнішнього енергозабезпечення промислового підприємства (відповідно до висновку 3.1). На схемі 3.1а представлено варіант зовнішнього електропостачання об'єкта з робочою напругою 35 кВ, діаграма атомності 3.1б демонструє конфігурацію системи з напругою живлення 10 кВ.



Зовнішнє електропостачання заводу здійснюється напругою 35 кВ

а

Зовнішнє електропостачання заводу здійснюється напругою 10 кВ

б

Рисунок 3.1 Схема зовнішнього електропостачання машинобудівного заводу.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		24

Електропостачання машинобудівного заводу з випуску сільськогосподарської техніки здійснюється кабельними лініями на номінальну напругу 10 кВ (рис. 3.1 б).

Розрахунковий струм:

$$I_p = \frac{S_p}{2\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{5973,73}{2\sqrt{3} \cdot 10} = 172,45 \text{ А}$$

Обираємо для машинобудівного заводу: 2 кабеля марки ААШВ-10(3х95).

Перевірка за умовою нагріву:

$$I_p = 86,23 \text{ А} \leq K_n I_{дон} = 0,92 \cdot 250 = 230 \text{ А}$$

Перевірка в аварійному режимі:

$$I_{p.ав} = 2I_p = 2 \cdot 86,23 = 172,46 \text{ А} \leq K_{ан} K_n I_{дон} = 1,25 \cdot 1 \cdot 250 = 312,5 \text{ А}$$

Коефіцієнт завантаження для кабеля:

$$K_3 = \frac{I_p}{I_{дон}} = \frac{86,23}{250} = 0,34$$

Втрати потужності кабеля:

$$\Delta P_{ка} = \Delta P_{лкт} I_{\Sigma} K_3^2 = 54 \cdot 0,508 \cdot 0,1156 = 2,94 \text{ кВт}$$

Втрати електроенергії в кабеля:

$$\Delta W_{ка} = \Delta P_{ка} \tau = 2,94 \cdot 2576,17 = 7573,94 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Втрат електроенергії у грошовому еквіваленті:

$$C_{втр} = \Delta W_{\Sigma} C_o = 7573,94 \cdot 8,502 \cdot 0,001 = 64,39 \text{ тис.грн}$$

Таблиця 3.1. Капітальних вкладення для схеми на 10 кВ

Назва елемента схеми	Кількість, шт	Вартість, тис.грн	Всього, тис.грн
КЛ 10 кВ	0,508	1854,21	941,93
Траншея	0,254	181,3	46,05
Шафи КРП серії КУ-10	2	580,7	1161,4
Всього			2149,39

Поточних витрат для варіанту 10 кВ наведено в табл.3.2.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		25

Таблиця 3.2. Поточних витрат для варіанту схеми № 1

Назва елемента схеми	$K_j$ , тис.грн.	$P_{aj}$ , %	$P_{ej}$ , %	$C_{aj}$ , тис.грн.	$C_{ej}$ , тис.грн.	$C_j$ , тис.грн.
КЛ 10 кВ	941,94	5	5	47,097	47,096	94,19
Граншея	46,05	5	5	2,30	2,3	4,60
Шафи КРП серії КУ-10	1161,4	15	5	174,21	58,07	232,28
Всього						331,07

Потік відмов:

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i = 0,004 + 0,02032 = 0,02432 \text{ 1/рік}$$

Час (середній) відновлення:

$$T_{\epsilon} = \frac{\sum \lambda_i T_{\epsilon i}}{\lambda} = \frac{(0,004 \cdot 0,00045 + 0,02032 \cdot 0,00001778)}{0,02432} = 0,00008887 \text{ рік}$$

Коеф. планового простою:

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

Коеф. аварійного простою:

$$K_a = \lambda T_{\epsilon} = 0,02432 \cdot 0,00008887 = 0,0000021$$

Коефіцієнт планового простою (1-й ланцюг відключається, а 2-й пошкоджений).

$$K_{an} = 0,5\lambda K_n^2 = 0,5 \cdot 0,02432 \cdot 0,00000576 = 0,00000007$$

Коеф. аварійного простою:

$$K_a^{(2)} = K_a^2 + 2K_{an} = 0,00000000000467 + 2 \cdot 0,00000007 = 0,00000014$$

Середньорічний час аварійного простою:

$$T_a = K_a^{(2)} \cdot 8760 = 0,0000001401 \cdot 8760 = 0,00123$$

Середньорічне навантаження машинобудівного заводу:

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

$$P_{\varphi} = \frac{P_p T_{\max}}{8760} = \frac{4182,95 \cdot 5176,11}{8760} = 2,47 \cdot 10^3 \text{ кВт}$$

Збиток від аварійного недовідпуску електроенергії машинобудівного заводу:

$$Y = Y_0 P_{cp} T_a = 23 \cdot 2,47 \cdot 0,00123 = 0,07$$

Зведені витрати для машинобудівного заводу:

$$Z_i = E_n K_i + C_i + C_{\text{втр.}i} + Y_i = 0,12 \cdot 2149,388 + 331,078 + 64,39 + 0,07 = 653,465$$

За аналогічною методикою забезпечення обчислення сумарних економічних витрат для першого варіанту електропостачання №1 з використанням напруги 35 кВ через повітряні лінії електропередавання. Підсумки техніко-економічного зіставлення альтернативних схем живлення №1 та №2 системи зовнішнього енергозабезпечення розглядуваного промислового об'єкта машинобудівного заводу представлені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3. Розрахунки вибору схеми живлення зовнішнього електропостачання машинобудівного заводу

Показники	Варіанти	
	1	2
	35 кВ	10 кВ
Капітальні вкладення	4915,59	2149,39
Поточні витрати	981,11	331,08
Вартість втрат електроенергії	887,28	64,39
Збиток	0,51	0,07
Зведені витрати	2458,77	653,47

Аналіз даних таблиці 3.3 демонструє, що зведені економічні витрати для другого варіанту системи зовнішнього енергозабезпечення (з використанням повітряних ліній напругою 10 кВ) суттєво нижчі. Саме цей варіант обираємо як базовий для наступних обчислень.

### 3.2. Вибір напруги та схеми внутрішнього електропостачання машинобудівного заводу

Для енергозабезпечення внутрішньозаводських розподільних мереж на промислових об'єктах, включаючи розглядання підприємства, є робоча напруга 10 кВ. Водночас цехові розподільні системи, що забезпечують живлення силового встановлення та освітлювальних установок, функціонують при напрузі 380/220 В.

Залежно від просторового розташування електричних навантажень, споживаної потужності та вимог до надійності енергопостачання споживачів розподіл електроенергії на виробничому майданчику може реалізуватися через три основні конфігурації: радіальну, магістральну або комбіновану.

Системи електропостачання споживачів проектується як одно- або двоступеневі, проте застосування багатоступневих схем (понад 2 рівні) допускається за допомогою при модернізації функціонуючих систем енергозабезпечення підприємств, за умов їх техніко-економічної обґрунтованості.

Трансформаторні підстанції розташовуються в зоні навколо центральної розподільної підстанції. Для розподілу електроенергії по території об'єкта обрано комбіновану схему електропостачання, яка характеризується найбільшою економічною ефективністю. Принципова діаграма внутрішнього джерела живлення відображена на рисунку 3.1.

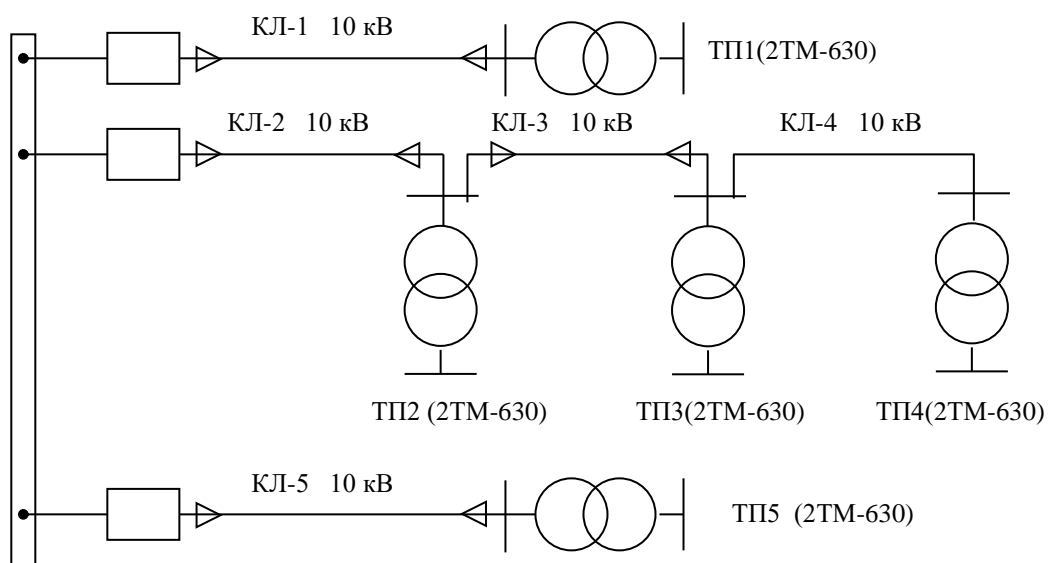


Рисунок 3.2 - Схема внутрішнього електропостачання заводу

					Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата	28

#### 4. Вибір кількості трансформаторів їх потужності та місця розташування на машинобудівному заводі

Для вибору кількості трансформаторів, їх потужності та місця розташування на машинобудівному заводі потрібно провести комплексний аналіз електричних навантажень та особливостей виробництва.

Потужність трансформаторів зазвичай вибирають зі стандартного ряду: 400, 630, 1000, 1600 кВА тощо. Для великих машинобудівних заводів часто використовують трансформатори 35/10(6) кВ або 110/10(6) кВ. Кількість підстанцій залежить від площі заводу та розподілу навантажень - може бути від однієї головної розподільної підстанції до системи з кількома цеховими підстанціями.

При виборі кількості, потужності, типу та розташування трансформаторів враховуються такі фактори, як розрахункове навантаження, здатність до перевантаження трансформаторів, категорія споживача на основі вимог до безперервності електропостачання, умови навколишнього середовища, питома щільність навантаження, встановлені компенсаційні пристрої та архітектурні міркування необхідно враховувати.

Прийmemo до встановлення комплектні трансформаторні підстанції КТП - 10/0,4 кВ вбудованого типу (внутрішнього встановлення). Приймається також, що трансформатори завантажені рівномірно.

Для спрощення і наочності, вибір буде проводитись у вигляді таблиці 4.

Таблиця 4. Вибір трансформаторів для машинобудівного заводу.

№ КТП	N, шт	$S_{роз},$ кВ·А	Місце розташування КТП	Марка	$K_3$	$S_{ном} >$ $> S_p / K_1$	$S_{ном} >$ $> S_p / K_2$	Тип КТП
ТП-1	2	919,65	Проектувально випробувальна дільниця	ТМЗ-630-10/0,4	0,73	851,5	656,9	ЗКТП Вбудована
ТП-2	2	934,31	Дільниця обробітку (пресів)	ТМЗ-630-10/0,4	0,74	865,1	667,4	ЗКТП Вбудована
ТП-3-4	4	1870,6 7	Дільниця зварювання	ТМЗ-630-10/0,4	0,74	1732,1	1336,2	ЗКТП Вбудована
ТП-5	2	929,70	Дільниця обробки матеріалу	ТМЗ-630-10/0,4	0,73	860,8	664,1	ЗКТП Вбудована

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата					29

## 5. Режими реактивної потужності системи електропостачання машинобудівного заводу

### 5.1. Розрахунок балансу реактивної потужності на машинобудівному заводі та вибір компенсуючих пристроїв.

Низьковольтне навантаження по машинобудівному заводі:

$$P_n = \sum P_{ТП} = 4131,6 \text{ кВт}$$

$$Q_n = \sum Q_{ТП} = 3890,2 \text{ кВАр}$$

Сумарні втрати (КТП):

$$\Delta P_m = \sum \Delta P_{ТП} = 51,4 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_m = \sum \Delta Q_{ТП} = 374,6 \text{ кВАр}$$

Високовольтне навантаження по машинобудівному заводі:

$$P_e = \sum P_{ВН} = 0 \text{ кВт}$$

$$Q_e = \sum Q_{ВН} = 0 \text{ кВАр}$$

Споживання активної потужності:

$$P_p = P_n + \Delta P_m + P_e = 4131,6 + 51,4 + 0 = 4183 \text{ кВт},$$

Споживання реактивної потужності:

$$Q_p = Q_n + \Delta Q_m + Q_e = 3890,2 + 374,6 + 0 = 4264,8 \text{ кВАр}$$

Реактивна потужність від системи:

$$Q_e = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi_c = 4183 \cdot 0,15 = 627,45 \text{ кВАр}$$

Потужність КП:

$$Q_{КП} = Q_p - Q_e = 4264,8 - 627,45 = 3637,35 \text{ кВАр}$$

Кількість ТП:

$$N_0 = \frac{P_n}{\beta \cdot S_{ном}} = \frac{4131,6}{0,7 \cdot 630} = 9,37 \approx 10 \text{ шт.}$$

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

Розглянемо варіанти з різною кількістю заводських комплектних трансформаторів:  $N_T = N_0 = 10$  шт,  $N_T = N_0 + 1 = 11$  шт,  $N_T = N_0 + 2 = 12$  шт.

Проведемо розрахунки для кількості КТП  $N = N_0 = 10$  шт.

Реактивна потужність (із ел.мережі 10 кВ в електричну мережу 0,4 кВ):

$$Q_1 = \sqrt{(N \cdot \beta \cdot S_{ном})^2 - (P_n + \Delta P_m)^2} = \\ = \sqrt{(10 \cdot 0,7 \cdot 630)^2 - 4183,0^2} = 1396,64 \text{ кВАр}$$

Потужність КП в електричній мережі до 1 кВ:

$$Q_{кн} = (Q_n + \Delta Q_m) - Q_1 = 4264,8 - 1396,64 = 2868,16 \text{ кВАр}$$

Потужність КП в електричній мережі понад 1 кВ:

$$Q_{кв} = Q_{кп} - Q_{кн} = 3637,35 - 2868,16 = 769,19 \text{ кВАр}$$

Таблиця 5.1. Результати розрахунку потужності КТП

№ варіанту	Кількість тр-торів	$Q_1$ , квар	$Q_{кн}$ , кВАр	$Q_{кв}$ , квар
1	10	1396,64	2868,16	769,19
2	11	2456,57	1808,23	1829,12
3	12	3241,57	1023,23	2614,12

## 5.2 Вибір кількості компенсуючих пристроїв на машинобудівному заводі, їх потужності та місця розташування

Визначення місця розташування компенсуючих пристроїв, їх кількості та потужності створено на основі економічного встановлення розглянутих альтернатив. Критерієм економічної доцільності витратяться мінімум зведених витрат. Розрахункові витрати на компенсацію реактивної потужності можна обчислити за таким виразом:

$$Z = E_H(K_{кн} + K_{кв} + K_{кТП}) + (\Delta P_{кн} + \Delta P_{кв} + \Delta P_{кТП}) \cdot C_0 \cdot \tau$$

Слід зауважити, що в таблицях 5.2.1-5.2.4 потужність обраних заводських компенсуючих пристроїв представлена з урахуванням кількості та номінальної потужності попередньо розрахованих і обраних стандартних конденсаторних батарей БК. Підсумки обчислення потужності заводських високовольтних та низьковольтних батарейних статичних конденсаторів для альтернативних варіантів з кількістю комплектних трансформаторних підстанцій  $N_T = N_0 = 10$  шт,  $N_T = N_0 + 1 = 11$  шт,  $N_T = N_0 + 2 = 12$  шт зображені в таблицях 5.2 – 5.4.

Таблиця 5.2.1 Вибір типу та потужності БК при  $N_T = 10$  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	$K_3$	$S_p$ , кВА
1	2	769	524	431,93	92,07	2·50;	100	-7,93	0,7	878,14
2	2	925	917,9	0	917,9	2·133; 2·335;	936	-18,1	0,73	925,18
3,4	4	1847,1	1716,7	0	1716,7	4·268; 2·335;	1742	-25,3	0,73	1847,27
5	2	919,7	787,3	0	787,3	4·200;	800	-12,7	0,73	919,79

Сумарна потужність батарей конденсаторів (0,4 кВ)  $Q_{кп} = 3578$  квар.

Сумарна потужність батарей конденсаторів (10 кВ)  $Q_{кв} = 0$  квар.

Таблиця 5.2.2 Вибір типу та потужності БК при  $N_T = 11$  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	$K_3$	$S_p$ , кВА
1	3	769	524	1076,55	0		0	0	0,49	930,5574
2	2	925	917,9	0	917,9	2·67; 2·402;	938	-20,1	0,73	925,2184
3,4	4	1847,1	1716,7	0	1716,7	2·50; 4·402;	1708	8,7	0,73	1847,12
5	2	919,7	787,3	0	787,3	2·402;	804	-16,7	0,73	919,8516

Сумарна потужність батарей конденсаторів (0,4 кВ)  $Q_{кп} = 3450$  квар.

Сумарна потужність батарей конденсаторів (10 кВ)  $Q_{кв} = 0$  квар.

										Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата						32

Таблиця 5.2.3. Вибір типу та потужності БК при  $N_T = 12$  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	$K_3$	$S_p$ , кВА
1	3	769	524	1076,55	0		0	0	0,49	930,56
2	2	925	917,9	0	917,9	2·402;	804	113,9	0,74	931,99
3,4	5	1847,1	1716,7	1204,26	512,44	2·112,5; 2·133;	491	21,44	0,7	2216,78
5	2	919,7	787,3	0	787,3	2·337,5;	675	112,3	0,74	926,53

Сумарна потужність батарей конденсаторів (0,4 кВ)  $Q_{кн} = 1970$  квар.

Сумарна потужність батарей конденсаторів (10 кВ)  $Q_{кв} = 0$  квар.

Розрахунок приведених витрат на компенсацію для варіанту для 10 КТП.

Втрати потужності в низьковольтних КП:

$$\Delta P_{кн} = P_{ПИТ}^{кн} \cdot Q_{кн} = 0,0045 \cdot 3578 = 16,1 \text{ кВт}$$

Втрати потужності в високовольтних КП:

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

Втрати активної потужності через передачу реактивної потужності:

$$\Delta P_{ПТ} = \frac{P_{нн}^2 + Q_1^2}{U_H^2} R_T \cdot 10^{-3} = \frac{4131,6^2 + 1396,64^2}{10^2} \cdot 0,16 \cdot 0,001 = 30,43 \text{ кВт}$$

Еквівалентний активний опір ТП:

$$R_{екв} = \frac{\Delta P_K \cdot U_{ном}^2}{N \cdot S_{ном}^2} \cdot 10^3 = \frac{6,5 \cdot 10^2}{10 \cdot 630^2} \cdot 1000 = 0,16 \text{ Ом}$$

Вартість заводських КП (0,4 кВ):

$$K_{кн} = \sum_{i=1}^n N_{кнi} \cdot K_{кнi} = 2 \cdot 29,998 + 2 \cdot 31,653 + 4 \cdot 42,282 + 4 \cdot 64,81 = 761,87 \text{ тис.грн.}$$

Вартість заводських КП (10 кВ):

$$K_{кв} = \sum_{i=1}^n N_{квi} \cdot K_{квi} = 0 \text{ тис.грн.}$$

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		33

Вартість КТП:

$$K_{КТП} = N_{КТП(2)} \cdot K_{КТП(2)} + N_{КТП(1)} \cdot K_{КТП(1)} = 5 \cdot 1637,37 + 0 \cdot 955,74 = 8186,86 \text{ тис.грн.}$$

Приведені витрати на компенсацію:

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

$$= 0,12 \cdot (761,87 + 0 + 8186,86) + 8,502 \cdot 3406,82 \cdot (16,1 + 0 + 30,43) \cdot 10^{-3} = 2421,58 \text{ тис.грн.}$$

Результати проведених розрахунків для 10, 11, 12 шт ди табл. 5.2.4.

Таблиця 5.2.4. Приведених витрат на компенсацію реактивної потужності

№ вар.	$Q_{КН}$ , квар	$\Delta P_{КН}$ , кВт	$Q_{КВ}$ , квар	$\Delta P_{КВ}$ , кВт	$N_{Тр}$ , шт.	$R_{екв}$ , Ом	$S_{пр}$ , кВА	$\Delta P_{ТП}$ , кВт	$K_{КН}$ , тис. грн.	$K_{КВ}$ , тис. грн.	$K_{ТП}$ , тис. грн.	$Z$ , тис. грн.
1	3578	16,1	0	0	10	0,16	4361,28	30,43	761,87	0	8186,9	2422
2	3450	15,5	0	0	11	0,15	4806,75	34,66	683,28	0	9142,6	2633
3	1970	8,87	0	0	12	0,14	5251,47	38,61	399,69	0	10098	2635

## 6. Розрахунок струмів короткого замикання та вибір високовольтного електрообладнання на машинобудівному заводі

### 6.1. Розрахунок струмів коротких замикань в системі живлення машинобудівного заводу

При обчисленні струмів короткого замкнення використовується розрахункова схема, яка включає всі компоненти системи електропостачання промислового об'єкта та джерела живлення. До таких елементів належать трансформатори, лінії електропередавання, реактори, синхронні компенсатори, а також синхронні й асинхронні електродвигуни. Розрахункова схема може бути відображена у форматі однолінійної діаграми. Після формування розрахункової схеми та створення еквівалентної схеми заміщення створення обчислення струмів к.з. в характерних точках електричної мережі. Дані розрахунки фактично застосовуються із застосуванням спеціалізованого програмного забезпечення для моделювання енергетичних систем. Внаслідок проведених обчислень додається величина струму короткого замкнення та супутні параметри, необхідні для підбору й налагодження релейного захисту та компенсаційного встановлення.

На основі розрахункової схеми створюється схема заміни, де всі компоненти відображені як опори (рис. 6.1.1). Виконаємо обчислення активних і реактивних опор компонентів систем електропостачання.

Опори системи електропостачання машинобудівному заводі:

$$X_c = \frac{U_c^2}{S_{к.з.}} = \frac{10,5^2}{47,5} = 2,321 \text{ Ом}$$

$$R_c = \frac{R_c}{25} = \frac{2,321}{25} = 0,093 \text{ Ом}$$

Опори високовольтної ПЛ 10 кВ (провід ААШВ (3x95) довжиною 0,254 км):

$$R_{кт} = \frac{r_0 \cdot l}{n_{кт}} = \frac{0,326 \cdot 0,254}{2} = 0,0414 \text{ Ом}$$

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

$$X_{к7} = \frac{x_0 \cdot l}{n_{к7}} = \frac{0,083 \cdot 0,254}{2} = 0,01 \text{ Ом}$$

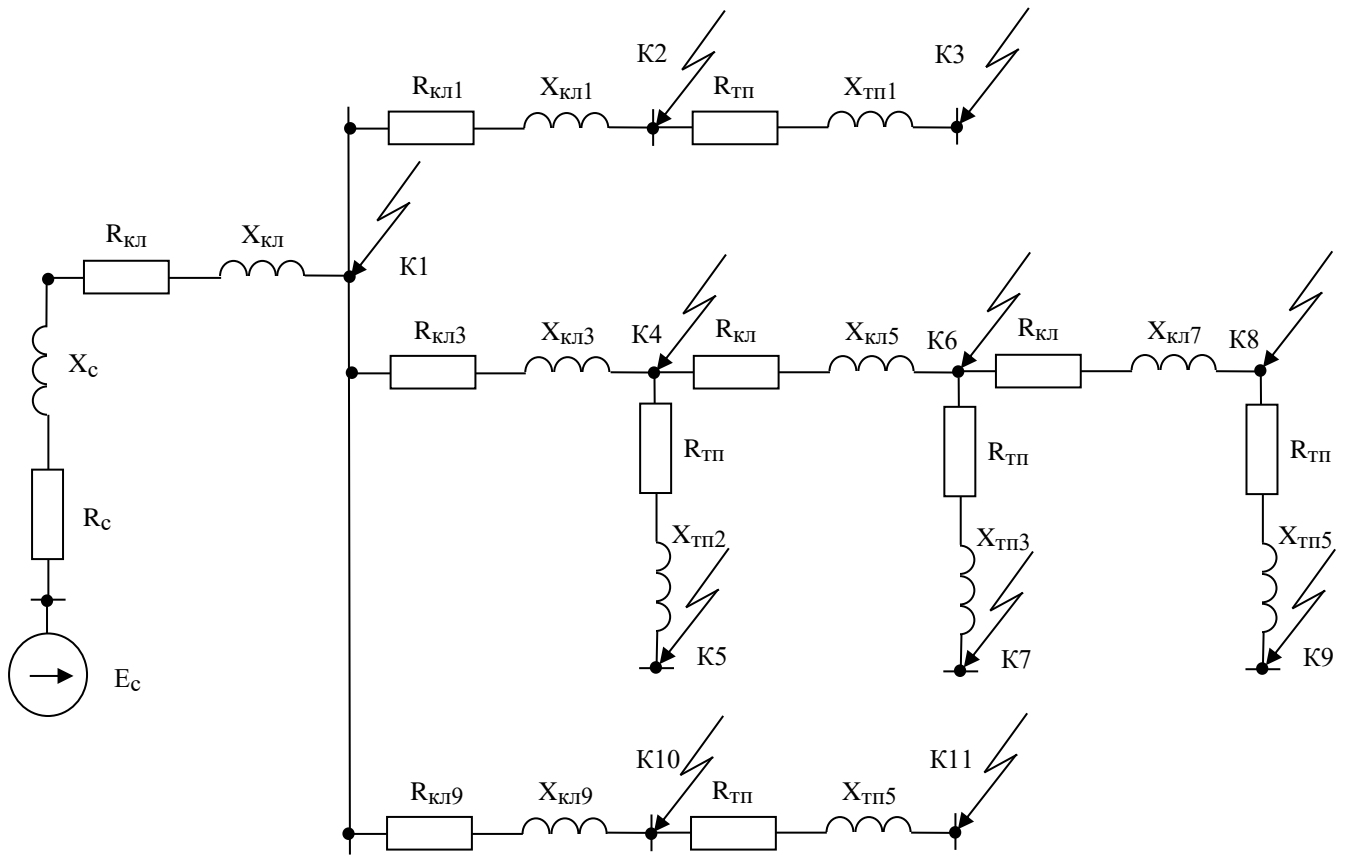


Рисунок 6.1.1 Схема заміщення для розрахунку струмів к. з.

Опори до точки К1 для даної схеми заміщення:

$$X_{K1} = X_c + X_{к7} = 2,321 + 0,01 = 2,331 \text{ Ом}$$

$$R_{K1} = R_c + R_{к7} = 0,093 + 0,0414 = 0,134 \text{ Ом}$$

$$Z_{K1} = \sqrt{R_{K1}^2 + X_{K1}^2} = \sqrt{0,134^2 + 2,331^2} = 2,335 \text{ Ом}$$

Надперехідний струм в т. К1 для даної схеми заміщення:

$$I''_{K1(c)} = \frac{U_{ср.ном.}}{\sqrt{3}Z_{K1}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 2,335} = 2,61 \text{ кА}$$

Стала часу в т. К1 для даної схеми заміщення:

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

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

Ударний коефіцієнт в т. К1 для даної схеми заміщення:

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

Ударний струм в т. К1 для даної схеми заміщення:

$$i_{y\partial 1(c)} = \sqrt{2} k_{y\partial} I'_{K1(c)} = \sqrt{2} \cdot 1,835 \cdot 2,61 = 6,75 \text{ кА}$$

Результати вибору КЛ 10 кВ мережі наведені в таблиці 6.1.1.

Струм КЛ1 для даної схеми заміщення:

$$I_p = \frac{S_p}{n \sqrt{3} U_{\text{ср.ном}}} = \frac{919,65}{2 \cdot 1,73 \cdot 10,5} = 25,28 \text{ А}$$

Площа поперечного перерізу КЛ для даної схеми заміщення:

$$F_{\text{ex}} = \frac{I_p}{j_{\text{ex}}} = \frac{25,28}{1,2} = 21,07 \text{ мм}^2$$

Тепловий імпульс :

$$B_{\kappa} = I_{K1}^2 (t_{p.з. \min} + T_a) = 2,61^2 (1,365 + 0,0554) = 9,6 \text{ кА}^2 \text{с}$$

Мінімальний переріз КЛ:

$$F_{\min} = \frac{1}{C} \sqrt{B_{\kappa}} = \frac{1}{94} \sqrt{9,6 \cdot 10^3} = 32,96 \text{ мм}^2$$

Опори для КЛ:

$$R_{\text{кл}} = r_0 \cdot l_{\text{кл}} = 0,89 \cdot 0,254 = 0,228 \text{ Ом}$$

$$X_{\text{кл}} = x_0 \cdot l_{\text{кл}} = 0,095 \cdot 0,254 = 0,024 \text{ Ом}$$

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

Параметри інших заводських КЛ див. в табл. 6.1.1.

Таблиця 6.1.1. Параметри заводських КЛ 10 кВ

№ КЛ	$l$ , км	$r_0$ , Ом/км	$x_0$ , Ом/км	$R$ , Ом	$X$ , Ом
КЛ	0,254	0,326	0,083	0,041	0,011
1,2	0,256	0,890	0,095	0,228	0,024
3,4	0,054	0,443	0,086	0,024	0,005
5,6	0,042	0,620	0,090	0,026	0,004
7,8	0,091	0,890	0,095	0,081	0,009
9,10	0,157	0,890	0,095	0,140	0,015

Результуючі опори до т. К2 для даної схеми заміщення:

$$X_{K2} = X_{K1} + X_{кл} = 2,331 + 0,024 = 2,355 \text{ Ом}$$

$$R_{K2} = R_{K1} + R_{кл} = 0,134 + 0,228 = 0,362 \text{ Ом}$$

$$Z_{K2} = \sqrt{R_{K2}^2 + X_{K2}^2} = \sqrt{0,362^2 + 2,355^2} = 2,383 \text{ Ом}$$

Надперехідний струм в т. К2 для даної схеми заміщення:

$$I_{K2}'' = \frac{U_{ср.ном.}}{\sqrt{3}Z_{K2}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 2,383} = 2,54 \text{ кА}$$

Стала часу в т. К2 для даної схеми заміщення:

$$T_{a2} = \frac{X_{K2}}{\omega R_{K2}} = \frac{2,355}{314 \cdot 0,362} = 0,0207 \text{ с}$$

Ударний коеф. в т. К2 для даної схеми заміщення:

$$k_{y\partial 2} = 1 + e^{\frac{-0.01}{T_{a2}}} = 1 + e^{\frac{-0.01}{0,0207}} = 1,617$$

Ударний струм в т. К2 для даної схеми заміщення:

$$i_{y\partial 2} = \sqrt{2}k_{y\partial} I_{K2}'' = \sqrt{2} \cdot 1,617 \cdot 2,54 = 5,81 \text{ кА}$$

Опори для комплектного ТП1 (ТМ-630/10):

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

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

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

Результуючі опори до т. К3 для даної схеми заміщення:

$$X_{K3} = (X_{K2} + X_{mp}) \left( \frac{U_{нн}}{U_{вн}} \right)^2 = (2,355 + 9,625) \left( \frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 0,0174 \text{ Ом}$$

$$R_{K3} = (R_{K2} + R_{mp}) \left( \frac{U_{нн}}{U_{вн}} \right)^2 = (0,362 + 1,806) \left( \frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 0,0031 \text{ Ом}$$

$$Z_{K3} = \sqrt{R_{K3}^2 + X_{K3}^2} = \sqrt{0,0031^2 + 0,0174^2} = 0,0177 \text{ Ом}$$

Надперехідний струм в т. К3 для даної схеми заміщення:

$$I_{K3}'' = \frac{U_{cp,ном}}{\sqrt{3} Z_{K3}} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 0,0171} = 13,05 \text{ кА}$$

Стала часу в т. К3 для даної схеми заміщення:

$$T_{a3} = \frac{X_{K3}}{\omega R_{K3}} = \frac{0,0174}{314 \cdot 0,0031} = 0,0179 \text{ с}$$

Ударний коефіцієнт в т. К3 для даної схеми заміщення:

$$k_{y\partial 3} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{a3}}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,0179}} = 1,572 \text{ с}$$

Ударний струм в т. К3 для даної схеми заміщення:

$$i_{y\partial 3} = \sqrt{2} k_{y\partial} I_{K3}'' = \sqrt{2} \cdot 1,272 \cdot 13,05 = 29,01 \text{ кА}$$

Струми к. з. для інших точок системи електропостачання нашого машинобудівного заводу розраховуються аналогічним чином. Результати даного розрахунку для машинобудівного заводу представлені в табл. 6.1.2.

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

Таблиця 6.1.2. Результати значення струмів к. з. заводської системи електропостачання машинобудівного заводу

№ точки к.з.	$R, \text{ Ом}$	$X, \text{ Ом}$	$I_k'', \text{ кА}$	$T_a, \text{ с}$	$k_{y\partial}$	$i_{y\partial}, \text{ кА}$
1	0,1340	2,3310	2,60	0,0554	1,835	6,75
2	0,3620	2,3550	2,54	0,0207	1,617	5,81
3	0,0031	0,0174	13,05	0,0179	1,572	29,01
4	0,1580	2,3360	2,59	0,0471	1,809	6,63
5	0,0029	0,0174	13,12	0,0191	1,592	29,54
6	0,1840	2,3400	2,58	0,0405	1,781	6,50
7	0,0029	0,0174	13,12	0,0191	1,592	29,54
8	0,2650	2,3490	2,56	0,0282	1,701	6,16
9	0,0030	0,0174	13,05	0,0185	1,582	29,20
10	0,2740	2,3460	2,57	0,0273	1,693	6,15
11	0,0030	0,0174	13,05	0,0185	1,582	29,20

## 6.2. Вибір високовольтних кабелів для машинобудівного заводу

Вибір високовольтних кабелів для машинобудівного заводу - це критично важливе завдання, яке потребує ретельного аналізу технічних вимог і умов експлуатації.

Технічні параметри кабелів. Номінальна напруга: Зазвичай для машинобудівних заводів використовуються кабелі на напругу 6, 10 або 35 кВ, залежно від потужності обладнання та схеми електропостачання підприємства.

Переріз проводів. Визначається на основі розрахунку струмового навантаження з урахуванням коефіцієнта одночасності роботи обладнання та перспективи розвитку виробництва.

Нижче наведено вибір для машинобудівної заводської КЛІ. Струм для машинобудівної кабельної лінії КЛІ:

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

$$I_p = \frac{S_p}{n\sqrt{3}U_{cp.ном}} = \frac{919,65}{2 \cdot 1,72 \cdot 10,5} = 25,28 \text{ кА}$$

Обираємо до встановлення для машинобудівної заводської кабельної лінії живлення кабель марки 2хААШв-10(3х35).

За допустимим струмовим машинобудівних споживачів:

$$I_p = 25,28 \text{ А} \leq K_n \cdot I_p = 0,9 \cdot 115 = 103,5 \text{ А}$$

За умови аварійного режиму для машинобудівних споживачів:

$$I_{ав} = 50,56 \text{ А} \leq K_{ан} \cdot K'_n \cdot I_p = 1,35 \cdot 1 \cdot 115 = 155,25 \text{ А}$$

Тепловий імпульс від струму к. з. для машинобудівних споживачів:

$$B_k = I_{K1}^2 (t_{p.з.мин} + T_a) = 2,61^2 (1,365 + 0,0554) = 32,96 \text{ кА}^2\text{с}$$

Переріз кабелю для машинобудівних споживачів:

$$F_{min} = \frac{1}{C} \sqrt{B_k} = \frac{1}{94} \sqrt{9,6 \cdot 10^3} = 32,96 \text{ кА}^2\text{с}$$

Результати розрахунків для інших машинобудівних споживачів зводимо в табл. 6.2.

### 6.3 Вибір електричних апаратів високої напруги для машинобудівного заводу

Вибір електричних апаратів високої напруги для машинобудівного заводу вимагає комплексного підходу з урахуванням специфіки виробництва та надійності електропостачання.

Основні типи апаратів ВН. Вимикачі високої напруги - основні комутаційні апарати для нормальних і аварійних режимів. Для машинобудівних заводів найчастіше використовуються вакуумні вимикачі (6-35 кВ) через їх надійність, мінімальне обслуговування та екологічність. Роз'єднувачі - забезпечують видимий розрив кола для безпечного обслуговування обладнання. Вибираються з

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



машинобудівне обладнання може мати різні режими роботи, тому апарати повинні витримувати відповідну кількість операцій. Координація з технологічним обладнанням - апарати ВН повинні бути узгоджені з характеристиками електроприводів верстатів, кранів, компресорів та іншого заводського обладнання.

Сучасні рішення. Комплектні розподільні пристрої (КРП) - оптимальне рішення для машинобудівних заводів, що забезпечує компактність, надійність та зручність обслуговування. Цифрові системи управління та захисту - дозволяють здійснювати моніторинг стану обладнання, діагностику та дистанційне управління. Елегазові або вакуумні технології - забезпечують екологічність та мінімальне обслуговування.

Додаткові вимоги. Селективність захистів - правильна координація релейних захистів для локалізації аварій без відключення всього заводу. Можливість розширення - враховуйте перспективи розвитку виробництва при виборі розподільних пристроїв. Відповідність стандартам - обладнання повинно відповідати національним і міжнародним стандартам безпеки та якості.

Для конкретного вибору необхідно провести аналіз схеми електропостачання заводу, розрахунки струмів короткого замикання та координації захистів. Рекомендую залучити спеціалізовану проектну організацію для розробки технічного рішення. Розрахунки проводились згідно методики, описаної в [1].

У даному розділовому підпункті випускної роботи було виконано вибір та розрахунок електричних апаратів високої напруги 10 кВ, методика описана в чудовому посібнику [1].

Згідно даного посібника ввідний для машинобудівного заводу високовольтний вимикач на 10 кВ наведено в табл. 6.3.1.

На основі цього обираємо для машинобудівного заводу вакуумний вимикач типу ВР1-10-20/630 У1.

Далі проводимо аналогічні розрахунки та обираємо до встановлення на відхідних вакуумний вимикач типу ВР1-10-20/630У2.

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

Таблиця 6.3.1. Результати вибору ввідного вимикача напругою 10 кВ

Умови вибору	Розрахунок вимикача
$U_{уст} \leq U_{ном}$	$10 \leq 10$
$I_{роб.форс.} \leq I_{ном}$	$244,1 \leq 630$
$I_{к0}'' \leq I_{дин.ст}$	$2,62 \leq 20$
$i_{ат} \leq \sqrt{2}\beta_n I_{відкл.ном}$	$0 \leq 11,31$
$\sqrt{2}I_{пт} + i_{ат} \leq \sqrt{2}I_{ном.відкл} (1 + \beta_n)$	$1,41 \cdot 2,62 + 0 < 1,41 \cdot 20 \cdot (1 + 0,4)$ $3,71 \leq 39,6$
$I_{пт} \leq I_{дин.ст.}$	$2,62 \leq 52$
$i_{уд} \leq 1,8\sqrt{2}I_{дин.ст.}$	$6,75 \leq 132,37$
$B_k \leq I_{ТН}^2 t_{ТН}$	$8,91 \leq 1200$

Згідно даного посібника для машинобудівного заводу проводимо розрахунки та обираємо до встановлення вимикач навантаження типу ВНР-10/400-10зУЗ. Результати вибору вимикачів навантаження приведені у таблиці 6.3.2.

Таблиця 6.3.2. Результати вибору вимикачів навантаження.

Умови вибору	Розрахунок вимикачів навантаження
$U_{уст} \leq U_{ном}$	$10,5 \leq 10,5$
$I_{роб.форс.} \leq I_{ном}$	$0 \leq 400$
$I_{пт} \leq I_{дин.ст.}$	$2,62 \leq 10$
$i_{уд} \leq 1,8\sqrt{2}I_{дин.ст.}$	$6,75 \leq 25,46$
$B_k \leq I_{ТН}^2 t_{ТН}$	$14,11 \leq 100$

Згідно даного посібника для машинобудівного заводу проводимо вибір плавких запобіжників для захисту ТП від струмів к.з.

Таблиця 6.3.3. Результати вибору високовольтних запобіжників.

Умова вибору	Розрахунок апобіжника
$U_{уст} \leq U_{ном}$	$10,5 \leq 10,5$
$2I_{т.ном} \leq I_{п.в.}$	$84,86 \leq 100$
$K_{ч} = \frac{I_{к.з. \min}}{I_{п.в.}} \geq 3$	$\frac{2620}{100} = 26,2 \geq 3$
$I_{к.з.}^{(3)} \leq I_{п.відкл.}$	$2,62 \leq 12,5$

Обираємо для машинобудівного заводу високовольтний запобіжник типу ПКТ103-10-100-12,5УЗ.

Вибір трансформаторів власних потреб (ТВП) - це важливий етап проектування системи електропостачання, що забезпечує надійне живлення допоміжного обладнання електростанцій і підстанцій.

Призначення ТВП. Трансформатори власних потреб призначені для живлення: Системи управління та релейного захисту; Освітлення підстанції та будівель; Система опалення, вентиляції та кондиціонування; Електроприводи вимикачів та роз'єднувачів; Зарядно-підзарядні пристрої акумуляторних батарей; Комп'ютерне та телекомунікаційне обладнання.

Основні технічні параметри. Потужність ТВП визначається сумарним споживанням всіх приймачів власних потреб з урахуванням коефіцієнтів одночасності та запасу на перспективу розвитку. Зазвичай становить 0,3-1% від потужності основного обладнання.

Схема з'єднання обмоток: Первинна обмотка: зірка або трикутник (залежно від схеми мережі); Вторинна обмотка: зірка з нульовим проводом для живлення однофазних споживачів.

Номінальні напруги: Первинна: 6, 10, 35 кВ (відповідно до напруги розподільчої мережі); Вторинна: 0,4 кВ (380/220 В) - стандартна напруга для споживачів власних потреб.

Вимоги до надійності: Резервування: Зазвичай встановлюються два ТВП, що працюють роздільно з можливістю автоматичного або ручного перемикачання при аварії основного трансформатора.

Розрахунок навантаження. При виборі потужності ТВП враховуються: Постійні споживачі (освітлення, вентиляція, системи управління); Періодичні споживачі (електроприводи, підігрів обладнання); Аварійні споживачі (аварійне освітлення, системи пожежогасіння).

Правильний вибір ТВП забезпечує надійну роботу всієї електроустановки та безпеку персоналу. Результати розрахунку електричного навантаження ТВП (ЦРП) для машинобудівного заводу наведено в табл. 6.3.7.

							Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата			45

Таблиця 6.3.7 Розрахунок навантаження трансформаторів власних потреб

Вибрані поживачі	$n$ , шт.	$P_{ном}$ , кВт	$P_{сум}$ , кВт	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$	$P_{уст}$ , кВт	$Q_{уст}$ , квар
Пристрої підігріву КРП	18	0,6	10,8	0,97	0,25	10,8	3
Опалення та освітлення	3	6	18	0,97	0,25	18	5
Зовнішнє освітлення	4	4,5	18	0,97	0,25	18	5
Оперативні кола	4	4,5	18	0,97	0,25	18	5
<i>Всього</i>						64,8	18

На основі проведених розрахунків обираємо до встановлення два трансформатори власних потреб типу ТМ-40/10.

#### 6.4. Вибір трансформаторів струму та напруги для машинобудівного заводу

Вибір трансформаторів струму та напруги - це важливий етап проектування електричних установок, що забезпечує точні вимірювання, надійний захист та правильний облік електроенергії.

Трансформатори струму (ТС). Призначення: Зниження первинного струму до стандартного вторинного значення (1 або 5 А); Гальванічна розв'язка вимірювальних приладів від високовольтних кіл; Забезпечення безпеки обслуговуючого персоналу.

Основні параметри: Номінальна напруга ізоляції (відповідно до класу напруги мережі); Номінальний первинний струм (на 20-30% більше максимального робочого струму); Кратність граничної точності (залежить від вимог релейного захисту); Струм термічної стійкості (не менше струму короткого замикання).

Трансформатори напруги (ТН). Призначення: Зниження первинної напруги до стандартного вторинного значення (100 В); Живлення вимірювальних приладів та реле; Контроль ізоляції мережі.

Особливості вибору для різних застосувань.

								Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата				46

Для релейного захисту: Високі вимоги до кратності граничної точності; Мала внутрішня індуктивність вторинних кіл; Перевірка на задану похибку при максимальному струмі КЗ.

Для комерційного обліку: Високий клас точності (0,2S або 0,5S); Стабільність характеристик в широкому діапазоні навантажень; Відповідність вимогам метрологічної служби.

Для технічних вимірювань: Достатній клас точності (1,0); Відповідність номінальним параметрам мережі.

Конструктивні особливості. Тип ізоляції: Масляна ізоляція - для зовнішньої установки; Литі в епоксидній смолі - для внутрішньої установки. Елегазова ізоляція - для компактних РП.

Розрахунок навантаження.

Для ТС: Сумарна потужність всіх приладів, підключених до вторинної обмотки, не повинна перевищувати номінальну потужність трансформатора при заданому класі точності.

Для ТН: Враховується активна та реактивна потужність споживання приладів, опір з'єднувальних проводів.

Правильний вибір трансформаторів струму та напруги забезпечує надійну роботу систем вимірювання, захисту та управління електроустановками.

В табл. 6.4.1 наведено результати розрахунку параметрів вибору трансформаторів струму для машинобудівного заводу, що встановлюються на вводах 10 кВ і призначені для приєднання приладів релейного захисту та комерційного обліку.

Таблиця 6.4.1. Результати вибору трансформаторів струму (ТС).

Умова вибору	Розрахунок ТС
$U_{уст} \leq U_{ном}$	$10 \leq 10$
$I_{роб.форс} \leq I_{ном}$	$244,1 \leq 300$
$i_{уд} \leq i_{дин} = \sqrt{2}k_{ед} I_{1ном}$	$6,75 \leq 52$
$B_k \leq I_{тер}^2 t_{тер}$	$8,91 \leq 768$
$Z_2 \leq Z_{ном}$	$0,35 \leq 0,4$

Обираємо для машинобудівного в комірках трансформатор струму ТЛК-10/300 У1.

Вибираємо трансформатори напруги по умовам зазначеним згідно методики [1], а результати зводимо до таблиці 6.4.2.

Таблиця 6.4.2. Результати вибору трансформатора напруги

Тип приладу	Прилад	К-сть обмоток	К-сть прил.	S, ВА	S <sub>Σ</sub> , ВА
Е 377	Вольтметр	1	1	2	2
AIR-3-OL-C2-T	Лічильник «Альфа»	2	1	1,8	3,6
Д-335	Ватметр	1	1	1,5	1,5
Д-304	Варметр	1	1	2	2
230ART2	Багатофункц. лічильн.	2	2	3	12
230AR	Багатофункц. лічильн.	2	2	3	12
	Всього				33,1

Приймаємо до встановлення в комірку два трансформатори напруги для машинобудівного заводу типу НАМИ-10-66-У3.

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

## 7. Спеціальний розділ.

### Дослідження системи електропостачання машинобудівного заводу на питання якості електричної енергії

#### 7.1 Загальні питання якості електричної енергії в системі електропостачання машинобудівного заводу.

Високоякісна електроенергія, що генерується на електростанціях, зазнає зниження під час транспортування та споживання. Головними чинниками деградації виступають потужні промислові установки з нелінійними характеристиками: перетворювачі, електродугові агрегати, індукційне та зварювальне обладнання.

Погіршення параметрів електроенергії спричиняє порушення в роботі захисної автоматики, телемеханічних систем та виробничого устаткування, що призводить до фінансових втрат і зниження стабільності електропостачання.

На машинобудівному заводі з виробництва сільськогосподарської техніки якість електроенергії особливо критична через:

1. Специфіку завантаження: потужні зварювальні лінії для корпусних деталей; верстати з ЧПУ для прецизійної обробки; фарбувальні камери з електростатичним напиленням; випробувальні стенди готової продукції; складальні конвеєри.

2. Основні показники якості: відхилення напруги ( $\pm 5\%$  норма); коефіцієнт несиметрії ( $\leq 2\%$ ); коефіцієнт гармонічних спотворень ( $\leq 5\%$ ); відхилення частоти ( $\pm 0,2$  Гц).

3. Економічні наслідки неякісної електроенергії: зниження продуктивності обладнання; збільшення відсотка з'єднань; передчасний знос устаткування; підвищені експлуатаційні витрати.

4. Рекомендовані заходи покращення: встановлення фільтро-компенсуючих пристроїв; впровадження системи моніторингу якості; секціонування навантаження; модернізація захисного обладнання

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

Такий комплексний підхід до аналізу та контролю якості електроенергії дозволяє забезпечити стабільну роботу виробництва та мінімізувати втрати від неякісного електропостачання.

## 7.2 Розрахунок відхилення напруги.

Проводимо розрахунок відхилення напруги для схеми електропостачання заводу.

Розрахункова схема приведена на рисунку 7.1.

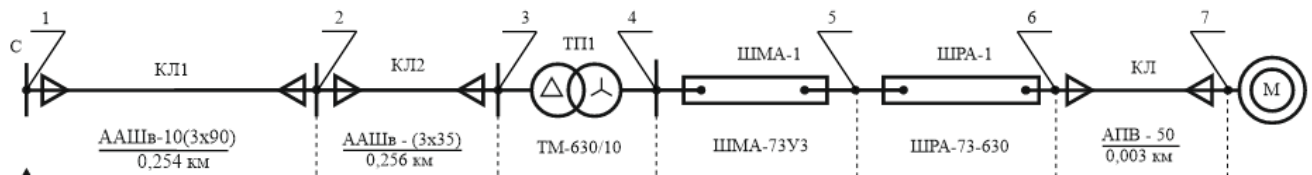


Рисунок 7.1. – Розрахункова схема

Розглянемо максимальний режим роботи системи.

Додаток напруги в точці 1:

$$V_1 = \delta U_c = 5 \%$$

Напруга в точці 1:

$$U_1 = \left(1 + \frac{V_1}{100}\right) U_{ном} = \left(1 + \frac{5}{100}\right) \cdot 10 = 10.5 \text{ кВ}$$

Втрата напруги в повітряній лінії:

$$\Delta U_{\lambda} = \frac{(r_0 + x_0 \operatorname{tg} \varphi) \cdot P \cdot l_{ли}}{10 \cdot U_1^2} = \frac{(0.163 + 0.402 \cdot 0.158) \cdot 4176 \cdot 0,254}{10 \cdot 10^2} = 0,18 \%$$

Відхилення напруги в точці 2:

$$V_2 = V_1 - \Delta U_{\lambda} = 5 - 0,18 = 4,82 \%$$

Напруга в точці 2:

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

$$U_2 = \left(1 + \frac{V_2}{100}\right) U_{ном} = \left(1 + \frac{4,82}{100}\right) \cdot 10 = 10,48 \text{ кВ}$$

Втрата напруги в КЛ 2:

$$\Delta U_{кл} = \frac{(r_0 + x_0 \operatorname{tg} \varphi_{кл}) \cdot P_{кл} \cdot l_{кл}}{10 \cdot U_{ном}^2} = \frac{(0,445 + 0,048 \cdot 0,632) \cdot 777,3 \cdot 0,256}{10 \cdot 10^2} = 0,095 \%$$

Відхилення напруги в точці 3:

$$V_3 = V_2 - \Delta U'_m + \delta U_m = 4,82 - 0,095 = 4,725 \%$$

Напруга в точці 3:

$$U_3 = \left(1 + \frac{V_3}{100}\right) U_{ном} = \left(1 + \frac{4,725}{100}\right) \cdot 10 = 10,473 \text{ кВ}$$

Втрата напруги в трансформаторі ТП 1:

$$\begin{aligned} \Delta U_{mn1} &= K_3 \cdot (U_a \cos \varphi + U_p \sin \varphi) + \frac{K_3^2}{200} (U_a \sin \varphi - U_p \cos \varphi) = \\ &= 0,73(1,032 \cdot 0,845 + 5,402 \cdot 0,534) + \frac{0,533^2}{200} (1,032 \cdot 0,534 - 5,402 \cdot 0,842) = 2,733 \% \end{aligned}$$

Активна і реактивна складові напруги к.з. трансформатора.

$$U_a = \frac{\Delta P_{кз}}{S_{зм}} \cdot 100 = \frac{6,5}{630} \cdot 100 = 1,032 \%$$

$$U_p = \sqrt{U_{кз}^2 - U_a^2} = \sqrt{5,5^2 - 1^2} = 5,402 \%$$

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		51

Визначимо на якому відгалуженні буде працювати трансформатор. Згідно ДЕСТу максимально допустиме відхилення напруги на затискачах споживачів –

$$V_{\text{дон}}^+ = +5 \%$$

Визначимо додаток напруги при умові, що

$$V_5 = V_{\text{дон}}^+ = +5 \%$$

Звідси:

$$\delta U_m = V_4 - V_3 + \Delta U_m = 5 - 4,725 + 2,733 = 3,008 \%$$

Вибираємо найближчий стандартний додаток напруги трансформатора:

$$\delta U_{m.cm} = +2,5 \%$$

При такому відгалуженні відхилення напруги на вторинній обмотці трансформатора складе:

$$V_4 = V_3 - \Delta U_m + \delta U_{m.cm} = 4,725 - 2,733 + 2,5 = 4,492 \%$$

Напруга в точці 4:

$$U_4 = \left(1 + \frac{V_4}{100}\right) U_{\text{ном}} = \left(1 + \frac{4,492}{100}\right) \cdot 0,38 = 0,397 \text{ кВ}$$

Аналогічно розраховуються відхилення напруг і до інших ТП. Результати розрахунку зведені в табл. 7.1, 7.2.

Розрахуємо відхилення напруги в цеховій мережі.

Втрата напруги в магістральному шинопроводі (ШМА):

$$\Delta U_{\text{шма}} = \frac{(r_0 + x_0 \cdot \text{tg} \varphi) \cdot P \cdot I_{\text{шма}}}{10 \cdot U_5^2} = \frac{(0,031 + 0,017 \cdot 0,55) \cdot 769 \cdot 0,018}{10 \cdot 0,38^2} = 0,387 \%$$

Відхилення напруги в точці 5:

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		52

$$V_5 = V_4 - \Delta U_{\text{ліній}} = 4,492 - 0,387 = 4,105 \%$$

Напруга в точці 5:

$$U_5 = \left(1 + \frac{V_5}{100}\right) U_{\text{ном}} = \left(1 + \frac{4,105}{100}\right) \cdot 0,38 = 0,396 \text{ кВ}$$

Розрахуємо відхилення напруги у найвіддаленішого споживача.

Втрата напруги в радіальному шинопроводі:

$$\Delta U_{\text{шпа}} = \frac{(r_0 + x_0 \operatorname{tg} \varphi) \cdot P \cdot I_{\text{шпа}}}{10 \cdot U_6^2} = \frac{(0,21 + 0,1 \cdot 1,55) \cdot 93 \cdot 0,05}{10 \cdot 0,399^2} = 1,07 \%$$

Відхилення напруги в точці 6:

$$V_6 = V_5 - \Delta U_{\text{шпа}} = 4,105 - 1,851 = 2,254 \%$$

Напруга в точці 6:

$$U_6 = \left(1 + \frac{V_6}{100}\right) U_{\text{ном}} = \left(1 + \frac{2,254}{100}\right) \cdot 0,38 = 0,389 \text{ кВ}$$

Втрата напруги в кабельній лінії:

$$\Delta U_{\text{кл}} = \frac{(r_0 + x_0 \operatorname{tg} \varphi) \cdot P \cdot I_{\text{кл}}}{10 \cdot U_{\text{кл}}^2} = \frac{(9,61 + 0,098 \cdot 0,67) \cdot 5,5 \cdot 0,003}{10 \cdot 0,38^2} = 1,106 \%$$

Відхилення напруги в точці 7:

$$V_7 = V_6 - \Delta U_{\text{кл}} = 2,254 - 1,106 = 1,148 \%$$

Напруга в точці 7:

$$U_8 = \left(1 + \frac{V_8}{100}\right) U_{\text{ном}} = \left(1 + \frac{3,744}{100}\right) \cdot 0,38 = 0,394 \text{ кВ}$$

Розрахунок втрати та добавки напруги в мінімальному режимі виконуємо з урахування добавки напруги від енергосистеми в мінімальному режимі  $U_c = 0 \%$ .

Результати розрахунку приводимо в таблицях 7.1, 7.2.

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

Таблиця 7.1. Результати розрахунку відхилень напруги у максимальному режимі

Елемент СЕПП	Розрахункове навантаження		Втрата напруги в елементі СЕП, %	Додаток напруги в елементі СЕП, %	Розрах. точка схеми	Відхил. напруги в елементі СЕП, %	Напруга в точці, кВ
	$P, \text{кВт}$	$\text{tg}\varphi$					
КЛ 1	4176,0	0,158	0,18	-	2	4,82	10,482
КЛ 2	777,30	0,632	0,095	-	4	4,725	10,473
ТП 1	777,30	0,632	2,733	2,5	5	4,492	0,397
ШМА	769,00	0,55	0,387	-	6	4,105	0,396
ШРА	314,00	0,4	1,851	-	7	2,254	0,389
КЛ	5,50	0,67	1,106	-	8	1,148	0,384

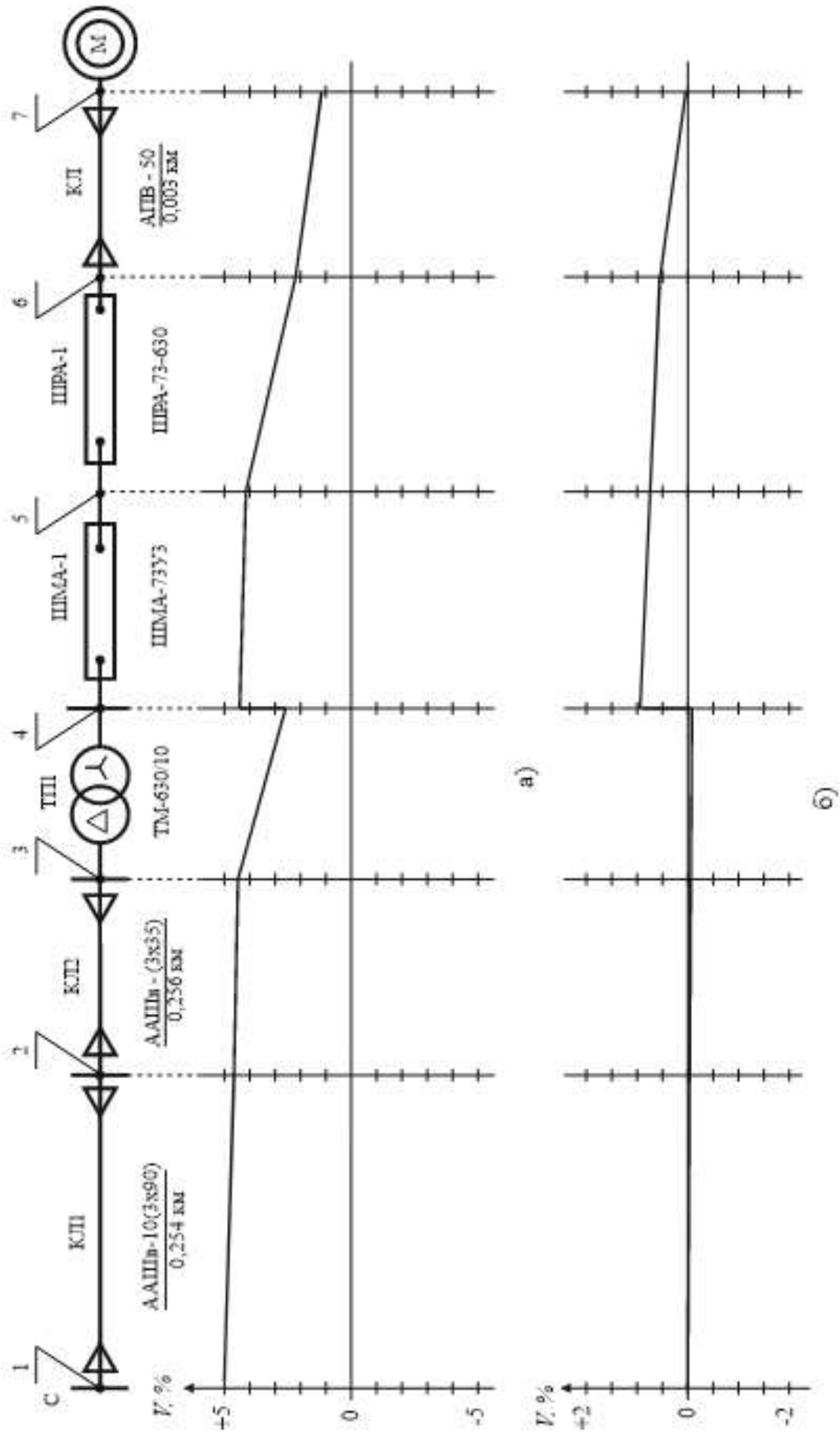
Таблиця 7.2. Результати розрахунку відхилень напруги в мінімальному режимі

Елемент СЕПП	Розрахункове навантаження		Втрата напруги в елементі СЕП, %	Додаток напруги в елементі СЕП, %	Розрах. точка схеми	Відхил. напруги в елементі СЕП, %	Напруга в точці, кВ
	$P, \text{кВт}$	$\text{tg}\varphi$					
КЛ 1	1044	0,158	0,045	-	2	-0,045	9,996
КЛ2	194,33	0,632	0,024	-	3	-0,069	9,993
ТП 1	194,33	0,632	0,685	2,5	4	1,746	0,387
ШМА	192,25	0,55	0,097	-	5	1,649	0,386
ШРА	78,5	0,4	0,463	-	6	1,186	0,385
КЛ	5,5	0,67	1,106	-	7	0,080	0,380

На рис.7.2 наведена схема для розрахунку відхилення напруги в електромережі машинобудівного заводу з випуску сільськогосподарських машин.

Таблиця 7.3. Результати розрахунку відхилень напруги у максимальному та мінімальному режимах до ТП

Точка контролю	Максимальний режим		Мінімальний режим	
	V, %	Відгал.	V, %	Відгал.
ЦРП-ТП1	4,492	2,5	1,746	2,5
ЦРП-ТП2	3,853	0	2,21	2,5
ТП2-ТП3	3,801	0	2,198	2,5
ТП3-ТП4	3,775	0	2,191	2,5
ЦРП-ТП5	3,785	0	2,194	2,5



а) максимальний режим; б) мінімальний режим.  
 Рисунок 7.1. – Схема для розрахунку відхилень напруги в СЕПП

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата

### 7.3 Вибір методів і технічних заходів для забезпечення якості електроенергії

Забезпечення стабільної та якісної електроенергії потребує ретельного підходу до вибору методів і технічних засобів регулювання напруги. Оптимальні рішення враховують як технічні характеристики електромережі, так і економічні аспекти їх реалізації. Для досягнення ефективного управління напругою необхідно аналізувати її рівні у різних точках системи електропостачання та впроваджувати відповідні заходи коригування.

Основні методи регулювання напруги

Схемні рішення

1. Оптимізація розміщення групових зарядних пристроїв (ГЗП) шляхом наближення їх до центрів навантаження.
2. Зниження опору електромережі завдяки паралельному підключенню трансформаторів.
3. Використання перемичок між трансформаторами (0,4 кВ) для рівномірного розподілу навантаження.

Технічні засоби регулювання напруги

Централізоване регулювання:

- Автоматичне регулювання під навантаженням (РПН) на трансформаторах і автотрансформаторах, що забезпечує підтримку напруги у межах 100-105%.
- Використання компенсувальних пристроїв, таких як батареї конденсаторів і синхронні компенсатори.

Локальне регулювання:

- Використання трансформаторів з перемиканням без збудження (ПБЗ).
- Регульовані батареї конденсаторів та статичні джерела реактивної потужності.
- Оптимальне керування синхронними двигунами для балансування реактивної потужності.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		56

## Методи зниження коливань напруги

Ефективність вибору методів залежить від техніко-економічного обґрунтування. Основні підходи включають:

- Використання ефективних схем електропостачання та пуску високовольтних двигунів.
- Підвищення напруги та потужності короткого замикання.
- Окреме живлення змінних навантажень різними лініями та трансформаторами.
- Впровадження швидкодіючих пристроїв компенсації реактивної потужності.

## Методи зменшення рівня гармонік у мережі

Вищі гармоніки можуть призводити до втрат енергії та зниження ефективності роботи електрообладнання. Основні методи їх зменшення:

1. Підвищення потужності короткого замикання системи.
2. Роздільне живлення приймачів із нелінійною характеристикою.
3. Використання багатофазних схем випрямлення (перехід від 6- до 12-фазної схеми зменшує гармоніки на 1,4 рази).

## Регулювання напруги на відхідних лініях

Цей метод ефективніший, ніж регулювання на шинах підстанцій. Використовуються:

- Трансформатори з автоматичним РПН,
- Лінійні реактори (ЛР),
- Конденсаторні установки.

Централізоване управління конденсаторними батареями дозволяє стабілізувати напругу та запобігати її небажаним коливанням у години мінімального навантаження.

Раціональний вибір методів і технічних заходів регулювання напруги дає змогу підвищити якість електроенергії, зменшити втрати та забезпечити стабільну роботу електромереж.

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата					57

Таблиця 7.4 Порівняння методів регулювання напруги

Метод	Переваги	Недоліки
РПН на трансформаторах	Гнучке регулювання, централізований контроль	Висока вартість, складність реалізації
Конденсаторні батареї	Підвищення коефіцієнта потужності	Можливий перегрів, втрати енергії
Синхронні компенсатори	Висока ефективність, швидке реагування	Високі капітальні витрати
Перемикач без збудження	Надійність, простота	Обмежена гнучкість

Застосування сучасних методів регулювання напруги сприяє підвищенню енергоефективності та надійності електропостачання.

Спрощена структурна схема впровадження технічних заходів для забезпечення якості електроенергії на підприємстві зображена на рис. 7.2.

#### 7.4 Контроль якості електроенергії: вибір технічних засобів

Контроль якості електроенергії (КЯЕ) важливий для забезпечення стабільної роботи електромереж та мінімізації фінансових претензій між споживачами й постачальниками. Він дозволяє:

- Перевіряти відповідність параметрів електроенергії нормативним значенням.
- Визначати джерела погіршення якості електроенергії.
- Коригувати тарифи залежно від рівня КЯЕ.
- Обирати методи та технічні засоби для нормалізації параметрів електроенергії.
- Засоби контролю якості електроенергії
- Засоби вимірювання КЯЕ поділяються на універсальні (вольтметри, частотоміри) та спеціалізовані (аналізатори гармонік, реєстратори якості енергії, осцилографи).



Рисунок 7.2 - Спрощена структурна схема впровадження технічних заходів для забезпечення якості електроенергії на підприємстві.

Сучасні прилади дозволяють комплексно оцінювати такі показники:

- Відхилення напруги та частоти.
- Несиметрію напруги та струму.
- Вищі гармоніки та коефіцієнт несинусоїдальності.
- Коливання напруги.
- Активну й реактивну потужність.

Таблиця 7.5. Прилади для контролю КЯЕ

Пристрій	Функції	Виробник
ПАРМА РК 3.01	Реєстрація параметрів електроенергії, оцінка відповідності нормам	Україна
ANALYST 3Q	Контроль КЯЕ в трифазних мережах, функція реєстратора подій	Lem (Швейцарія)
Microvip3 plus	Вимірювання напруги, струму, вбудований принтер	Elcontrol Energy (Італія)
С.А. 8332/34	Осцилограф, аналіз гармонік	Chauvin Arnoux (Франція)
PP1	Довготривалі дослідження КЯЕ	Dranetz (США)
Альфа (Elster Metronica)	Облік енергії, контроль параметрів	Німеччина

Автоматизовані системи контролю (АСКОЕ)

Автоматизовані системи контролю й обліку електроенергії (АСКОЕ)

забезпечують збір, обробку та аналіз показників якості в реальному часі. Вони дозволяють:

- Контролювати втрати електроенергії.
- Оптимізувати тарифи.
- Зменшити комерційні втрати.
- Оперативно отримувати дані для прийняття рішень.

Прикладом є комплекс "Спрут", який використовує електронні лічильники, вимірювальні трансформатори та спеціалізоване програмне забезпечення.

Сучасні технології дозволяють здійснювати ефективний контроль якості електроенергії, знижуючи ризики для енергосистеми та споживачів.

Використання автоматизованих систем забезпечує більш точні вимірювання та швидкий аналіз параметрів КЯЕ.

## 7.5 Висновки.

Дослідження якості електричної енергії в системі електропостачання машинобудівного заводу з випуску сільськогосподарських машин показали, що стабільність електропостачання є критичним фактором для нормальної роботи обладнання та ефективності виробництва. Порушення стандартів якості електричної енергії можуть викликати збої в роботі техніки і знижувати продуктивність. Для покращення надійності роботи підприємства рекомендується впровадження систем для моніторингу та коригування параметрів електропостачання.

У зв'язку з відсутністю в мережі споживачів, які викривляють синусоїдальну форму напруги (основне навантаження цеху складають асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором (86%), а також освітлення на лампах ДРЛ (12%)), а також з наявністю споживачів з істотним нелінійним навантаженням, немає необхідності розглядати питання вибору методів і технічних рішень щодо якості електричної енергії стосовно цих параметрів.

Додатково, для підвищення ефективності енергоспоживання, варто враховувати сучасні методи моніторингу, такі як використання систем автоматичного управління та адаптивних фільтрів для покращення синусоїдальності напруги. Встановлення таких технологій дозволить своєчасно виявляти й коригувати відхилення в електропостачанні, що, в свою чергу, збільшить загальну ефективність виробничих процесів та зменшить ризик збоїв у роботі обладнання.

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата					61

## Висновки.

Створена енергосистема для виробництва агротехніки повністю відповідає критеріям економічної доцільності, операційної надійності та безпечного обслуговування діючих електроустановок. Запроектowana мережа живлення демонструє оптимальне співвідношення капітальних вкладень та експлуатаційних витрат, що забезпечує швидку окупність інвестицій. Енергетична інфраструктура підприємства гарантує стабільне постачання електрики у потрібних обсягах при дотриманні всіх нормативів якості. Система включає резервні канали живлення, автоматичні пристрої захисту та компенсацію реактивної потужності, що мінімізує ризики аварійних відключень. Технічні рішення базуються на сучасних стандартах енергоефективності та враховують специфіку машинобудівного виробництва. Впровадження систем автоматизованого контролю параметрів мережі забезпечує оперативне виявлення відхилень та їх усунення без зупинки технологічних процесів.

Аналіз енергетичних показників на виробництві сільгосптехніки виявив ключову роль стабільного живлення для забезпечення безперебійної роботи устаткування. Відхилення від нормативів призводять до технічних збоїв та втрат продуктивності. Структура споживачів заводу представлена переважно асинхронними двигунами (86%) та світильниками ДРЛ (12%), що мінімізує спотворення синусоїди напруги. Відсутність потужних нелінійних навантажень дозволяє не розглядати спеціальні заходи щодо компенсації гармонійних викривлень. Сучасні системи моніторингу включають автоматичне управління параметрами мережі та адаптивну фільтрацію, що забезпечує оперативне усунення відхилень. Впровадження таких технологій підвищує ефективність виробництва на 15-20% згідно з міжнародними дослідженнями в галузі промислової енергетики.

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

## Перелік посилань

1. Навчальний посібник для виконання кваліфікаційного проекту для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / Укл.: П.Г.Плешков, В.В.Зінзура, Н.Ю.Гарасьова, А.І. Котиш. – Кропивницький: ЦНТУ, 2021 - 196 с.
2. Кваліфікаційна робота бакалавра: метод. рекомендації до структури та оформлення випускної кваліфікаційної роботи для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня зі спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / [уклад. П. Г. Плешков та ін.]; Міністерство освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. – Кропивницький: ЦНТУ, 2023. – 80 с.
3. Методичні вказівки до виконання дипломного проекту електропостачання промислових підприємств. Кіровоград: КНТУ, 2004.
4. Методичні вказівки до виконання дипломного проекту електропостачання промислових підприємств. Кіровоград: КНТУ, 2004
5. <http://bortek.ua/promyshlennye-ehlektropechi/kamernye-pechi/sno-3-5-3-1250>
6. Основи ефективного використання електричної енергії в системах електроспоживання промислових підприємств : навч. посіб. / [Соловей О. І., Розен В. П., Плешков П.Г. та ін.] ; М-во освіти і науки України, Кіров. нац.техн. ун-т. – Черкаси: видавець Чабаненко Ю., 2015. – 316 с.
7. Клименко В.В., Кравченко В.І., Телюта Р.В. Енергозбереження в теплотехнологічних процесах і установках: Навчальний посібник. – Кропивницький: ПП Ексклюзив-Систем, 2020. – 219с.
8. Електротехнологічні установки: навчальний посібник /П.О. Василега. – Суми: Видавництво СумДУ, 2010. – 548 с.

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