

Міністерство освіти і науки України  
Центральноукраїнський національний технічний університет  
Центр заочної та дистанційної освіти  
Кафедра «Електротехнічні системи та енергетичний менеджмент»

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

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

на тему:

## **Розробка системи електропостачання ВАТ «Одеський завод сільськогосподарського машинобудування» Development of a power supply system for Odesa Agricultural Engineering Plant OJSC**

Виконав студент 4 курсу групи ЕЕ-21ПЗ  
спеціальності 141 «Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка»  
\_\_\_\_\_ Тимофій АНТИБУРА  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

Керівник проекту  
доц, канд.техн.наук  
\_\_\_\_\_ Іван САВЕЛЕНКО  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

Рецензент \_\_\_\_\_

м. Кропивницький

**Міністерство освіти і науки України**  
**Центральноукраїнський національний технічний університет**

Факультет центр заочної та дистанційної освіти

Кафедра електротехнічних систем та енергетичного менеджменту

Освітній ступінь бакалавр

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ *Плешков П.Г.*

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 р.

## **ЗАВДАННЯ НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТА**

*Антибури Тимофія Миколайовича*

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи (проекту) Розробка системи електропостачання ВАТ «Одеський завод сільськогосподарського машинобудування»

Development of a power supply system for Odesa Agricultural Engineering Plant OJSC

2. Керівник роботи (проекту) Савеленко Іван Володимирович, к.т.н., доц.

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

3. Строк подання студентом роботи до захисту 18.06.2025 р.

4. Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи (проекту) Розробити систему електропостачання ВАТ «Одеський завод сільськогосподарського машинобудування», згідно завдання: Виконати розрахунок електричних та теплових навант. підприємства. Побудувати графіки та картограму електричних навантажень. Виконати вибір варіантів схем електропостачання. Виконати розрахунки режимів реактивної потужності, вибору трансформаторів та струмів КЗ. Вибрати технологічне обладнання в розподільчому пристрої. Розробити спеціальний розділ.

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

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

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Розрахунок енергетричних навантажень</i>	8.05.25	
2	<i>Побудова графіків ен. навантажень</i>	10.05.25	
3	<i>Побудова картограм ен. навантажень</i>	16.05.25	
4	<i>Вибір напруги і електричних схем електропостачання</i>	18.05.25	
5	<i>Режими реактивної потужності</i>	18.05.25	
6	<i>Вибір трансформаторів</i>	20.05.25	
7	<i>Розрахунок струмів КЗ</i>	24.04.25	
8	<i>Вибір високовольтного обладнання</i>	26.05.25	
11	<i>Спеціальний розділ</i>	30.05.25	
12	<i>Оформлення пояснювальної записки</i>	5.06.25	
13	<i>Виконання графічної частини</i>	8.06.25	

Дата видачі завдання

Підпис керівника \_\_\_\_\_

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

Завдання прийнято до виконання

Підпис студента \_\_\_\_\_

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

## АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: 65 с.; 11 рис.; 23 табл.; 10 джерел

**Антибура Т. Розробка системи електропостачання ВАТ «Одеський завод сільськогосподарського машинобудування».— Рукопис.**

*Development of a power supply system for Odesa Agricultural Engineering Plant OJSC*

Бакалаврська робота за спеціальністю 141 - «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». - Центральноукраїнський національний технічний університет. - м. Кропивницький, 2025 р.

В кваліфікаційній роботі виконано розробку системи електропостачання ВАТ «Одеський завод сільськогосподарського машинобудування» згідно завдання.

В роботі представлений огляд існуючих рішень, вибрано обладнання та принцип його роботи, розроблена система електропостачання та вибране необхідне обладнання.

В спеціальному розділі розроблено автоматизовану систему обліку електричної енергії.

електропостачання, АСКОЕ, електричні навантаження, прилади обліку.

## ABSTRACT

Qualification work: 65 p.; 11 Fig.; 23 tables; 10 sources

**ANTYBURA T. Development of a power supply system for Odesa Agricultural Engineering Plant OJSC – Manuscript.**

**Розробка системи електропостачання ВАТ «Одеський завод сільськогосподарського машинобудування»**

Bachelor's Thesis in the specialty 141 - "Electrical Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics". - Central Ukrainian National Technical University. - Kropyvnytskyi, 2025.

In the qualification work, the development of the power supply system of OJSC "Odessa Agricultural Machinery Plant" was carried out according to the task.

The work includes an overview of existing solutions, selection of equipment and description of its operation principles, development of the power supply system, and selection of the necessary equipment.

A dedicated section is devoted to the development of an automated system for electricity metering and control.

power supply, SCADA, electrical loads, metering devices.

## ЗМІСТ

Вступ.....	7
1. 1. Коротка характеристика технологічного процесу підприємства .....	9
2. 2. Розрахунок електричних навантажень.....	11
2.1. Розрахунок силових електричних навантажень в електричних мережах до 1000 в.....	11
2.2. Розрахунок освітлювальних підприємства навантажень до реконструкції 15	
2.3. Розрахунок електричних навантажень в силових мережах вище 1000 в..	17
3. Побудова графіків електричних навантажень підприємства.....	21
4. Побудова картограм електричних навантажень та вибір місця розташування центру електричних навантажень.....	28
5. Техніко-економічне обґрунтування схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання підприємства .....	30
6. Режими реактивної потужності системи електропостачання.....	36
6.1. Розрахунок балансу реактивної потужності та вибір компенсуючих пристроїв в високовольтних та низьковольтних мережах .....	37
6.2. Вибір кількості та місць розташування компенсуючих пристроїв .....	41
7. Розрахунок струмів коротких замкнень та вибір високовольтного обладнання і високовольтних мереж системи електропостачання.....	43
7.1. Вибір електричного обладнання .....	47
7.2. Вибір високовольтного обладнання .....	49
7.3. Вибір трансформаторів власних потреб.....	51
8. Розробка системи автоматизованого обліку.....	52
8.1. Структура АСКОЕ.....	52
8.2. Підсистема обліку.....	54
8.3. Підсистема збору і передачі даних .....	56
8.4. Вибір електричних схем підключення лічильників та вибір трансформаторів струму та трансформаторів напруги.....	59
9. Висновок.....	63
10. Список використаної літератури. ....	65

<b>КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА</b>				
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>
		<i>Розробив Антибура Т.М.</i>		
		<i>Перевірів Савеленко І.В.</i>		
		<i>Н. Контр.</i>		
		<i>Затв. Плешков П Г</i>		
Розробка системи електропостачання ВАТ «Одеський завод сільськогосподарського машинобудування»				
		<i>Літера</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
			6	65
<i>ЕЕ-21ПЗ, ЦНТУ</i>				

## ВСТУП

У сучасних умовах індустріалізації та інноваційного розвитку промисловості забезпечення надійного, ефективного та безпечного електропостачання є одним із ключових чинників стабільного функціонування підприємств важкого машинобудування. Високі вимоги до енергоживлення зумовлені складністю технологічних процесів, високою енергоємністю обладнання та необхідністю дотримання високих стандартів якості продукції.

ВАТ «Одеський завод сільськогосподарського машинобудування» спеціалізується на виробництві гірничо-шахтарського, підйомно-транспортного, металургійного обладнання, а також устаткування для хімічної та будівельної галузей. Це потужне підприємство важкого машинобудування, виробничий комплекс якого має власну систему електропостачання, що забезпечує енергією численні технологічні цехи. У виробничому процесі використовуються операції механічної та термічної обробки металів, зварювання, складання конструкцій, а також застосовується широкий спектр сучасного високотехнологічного обладнання — від верстатів з тиристорними електроприводами до індукційних печей та установок лазерного різання.

Характерною особливістю таких підприємств є безперервне впровадження нових технологій, модернізація обладнання та зміна виробничих моделей, що ставить підвищені вимоги до гнучкості, надійності та енергоефективності системи електропостачання. Значна частина обладнання підприємства є споживачами змінного струму напругою 380 В і частотою 50 Гц. При цьому, через важливість безперебійної роботи, більшість електроспоживачів належать до II категорії надійності електропостачання. Потужність окремих верстатів, зварювальних трансформаторів та інших установок варіюється в широких межах — від 5 до 550 кВт, що вимагає ретельного проектування енергетичної інфраструктури.

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

Метою даної бакалаврської роботи є розробка сучасної, технічно обґрунтованої та енергетично ефективної системи електропостачання для ВАТ «Одеський завод сільськогосподарського машинобудування» з урахуванням технологічної специфіки виробництва, особливостей обладнання та діючих норм електробезпеки. У процесі роботи буде виконано аналіз електричних навантажень, вибір джерел живлення, проектування мереж, а також підбір електротехнічного обладнання, що забезпечить надійну роботу підприємства в умовах динамічної модернізації.

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

# 1. КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ПІДПРИЄМСТВА

На ВАТ «Одеський завод сільськогосподарського машинобудування» сформовано розгалужену виробничу структуру, у межах якої функціонують високотехнологічні цехи з розрахунковим електричним навантаженням понад 1000 кВА. До таких належать: механоскладальний цех №1 (МСЦ-1), основний корпус ливарного цеху, обрубне відділення ливарного цеху та металообробний цех. Особливості технологічного процесу в цих підрозділах обумовлюють підвищені вимоги до системи електропостачання за критеріями надійності, безперервності та якості живлення.

Механоскладальний цех є ключовим вузлом обробки і складання великогабаритних деталей машинобудівного профілю. У ньому зосереджено понад 270 металорізальних верстатів, переважна частина яких оснащена тиристорними електроприводами змінного струму з живленням від мережі напругою 380 В. Сумарна встановлена потужність лише цієї групи обладнання становить понад 4000 кВт. Також до складу енергетично навантаженого технологічного обладнання входять 38 зварювальних апаратів (ручних і автоматичних), сушильні шафи, конвеєри та допоміжні установки.

Загальна розрахункова потужність електроспоживачів МСЦ-1 досягає 1878,51 кВА, що обумовлено інтенсивністю використання потужних приводів і термічного устаткування. З урахуванням важливості безперебійного функціонування технологічного циклу, електроспоживачі цього цеху віднесено до II категорії надійності.

Головний корпус ливарного цеху виконує повний цикл обробки литих заготовок — від плавлення металу до обрубки та зачистки виробів. У технологічному процесі використовуються електропечі (у т. ч. камерні — потужністю до 285 кВт), фрикційні та кривошипні преси, зварювальні апарати, піскоструминні установки, сушила та оброблювальне обладнання.

Розрахункова потужність цеху складає 872,94 кВА, активна — 823,9 кВт.

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

Значне теплове навантаження і наявність транспортних механізмів (кран-балки, елеватори, транспортери) створюють складний режим енергоспоживання з необхідністю забезпечення високої стійкості параметрів електроживлення.

Обрубочне відділення здійснює завершальну обробку литих деталей, включаючи видалення облоя, дробоструминну очистку, термічну обробку та транспортування. Найпотужнішими споживачами є плавильно-роздаточні печі (до 40 кВт), камерні печі (71 кВт × 6 од.), машина для лиття під тиском, установки плазмового різання та галтовочні барабани. Допоміжне обладнання включає крани, елеватори, конвеєри та бігуни.

Сумарна розрахункова потужність становить 1127,28 кВА, активна — 844,9 кВт, що потребує відповідного розрахунку силової електромережі з урахуванням нерівномірності навантаження та можливих пікових струмів.

Сушильний цех спеціалізується на термічній обробці, сушінні та вентиляції технологічних матеріалів і напівфабрикатів. Виробничий процес зосереджений на роботі сушильних камер (до 100 кВт на одиницю), вентиляторів та кранового устаткування.

Цех має розрахункову потужність 831,51 кВА, активну — 737,7 кВт. Основну частку енергоспоживання становлять теплові споживачі, що вимагає особливої уваги до режимів навантаження і втрат потужності у трансформаторах і кабельних лініях.

Усі розглянуті цехи мають високий рівень енергоспоживання, значну щільність розташування технологічного обладнання та специфічні умови електроживлення. Для забезпечення їх ефективної та безпечної роботи необхідно проектувати систему електропостачання з урахуванням розподілу навантаження, режимів роботи обладнання, категорій надійності та можливостей подальшої модернізації.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		10

## 2. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Електричні навантаження є вихідною основою для вирішення широкого спектра технічних і економічних завдань, що постають під час проектування системи електропостачання промислового підприємства. Розрахунок навантажень здійснюється з метою вибору та перевірки параметрів струмопровідних елементів і трансформаторів за умовами теплового режиму, визначення допустимих відхилень та коливань напруги, підбору компенсувального обладнання, захисних пристроїв та інших ключових компонентів системи.

Точність прогнозування електричних навантажень безпосередньо впливає на раціональність вибору топології системи електропостачання, її надійність, енергоефективність та загальні техніко-економічні показники. З огляду на важливість цієї стадії проектування, у сучасній практиці застосовується низка науково обґрунтованих методів розрахунку електричних навантажень. У межах даної роботи використано один з найпоширеніших і методично перевірених підходів — метод упорядкованих діаграм, запропонований доктором технічних наук, професором Г.М. Каяловим. Цей метод забезпечує достатню точність при визначенні середніх та максимальних електричних навантажень, що робить його ефективним інструментом для інженерного аналізу на етапі технічного проектування.

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

При визначенні електричних навантажень в мережах до 1000 В застосовується певний порядок розрахунків. Розрахунок навантажень до 1000 В наведений в таблиці 2.1. Розрахунок навантажень виконуємо в стандартній табличній формі (таблиця 2.1.), приводимо розрахунок на прикладі механообробного цеху.

									Арк.
									11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата					

Середня активна потужність групи верстатів металорізальних:

$$P_{cm} = K_B \cdot P_H = 0,11 \cdot 1562 = 172 \text{ кВт},$$

де  $K_B = 0,2$  – коефіцієнт використання активної потужності.

Середня реактивна потужність групи металорізальних верстатів:

$$Q_{cm} = tg \varphi \cdot P_{cm} = 0,75 \cdot 172 = 129 \text{ квар},$$

Ефективне число електроприймачів  $n_e$  визначається в залежності від значення  $K_B$  і співвідношення:

$$m = \frac{P_{nmax}}{P_{nmin}} = \frac{32}{0,5} = 64,$$

де  $P_{nmax}$ ,  $P_{nmin}$  – номінальна потужність відповідно найбільшого та найменшого електроприймача в групі.

Розрахункове максимальне навантаження споживачів механообробного цеху визначаємо, як суму однотипних груп споживачів:

$$\sum P_{cm} = 171,8 + 103,8 + 8,4 + 116,4 + 24,5 + 82,8 + 6,3 + 9,50 = 523 \text{ кВт};$$

$$P_p = K_M \cdot \sum P_{cm} = 1,2 \cdot 533 = 623 \text{ кВт},$$

де  $K_M = 1,2$  – коефіцієнт максимуму активної потужності;

Розрахункове реактивне навантаження групи електроприймачів приймається при  $n_e = 141 > 10$  :

$$Q_p = \sum Q_{cm} = 606 \text{ квар},$$

де  $\sum Q_{cm}$  – середнє реактивне навантаження споживачів цеху за найбільш завантажену зміну, визначається за формулою:

$$\sum Q_{cm} = 128,9 + 179,8 + 8,6 + 155,21 + 11,9 + 96,8 + 3,05 + 21,77 = 606 \text{ квар};$$

Розрахунковий максимум повного навантаження

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{623^2 + 606^2} = 869 \text{ кВА},$$

де  $Q_p$ ,  $P_p$  - Розрахункове максимальне навантаження групи електроприймачів і розрахункове реактивне навантаження групи електроприймачів.

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

Таблиця 2.1 — Розрахунок електричних навантажень підприємства до 1000 В

№	Назва вузлів навантаження та груп електроприймачів	Кіл-сть	Встановлена потужність, кВт		m	Кв	cosφ	tgφ	Середнє навантаження за зміну		пс	Км	Розрахункова потужність			
			Одного	Сумарна					Рср	Qср			Рр	Qр	Sp	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
	<u>Завод важкого с/г машинобудування</u>															
1	Металообробний цех															
	Верстати металорізальні	132	0,5 - 32	1562	64	0,11	0,80	0,75	172	129						
	Вентилятори	5	1,5 - 3,0	9,0	2	0,70	0,90	0,484	6,30	3,05						
	Зварювальні апарати	14	27,0 - 38	346,0	1	0,30	0,50	1,732	103,80	179,79						
	Конверси	3	7 - 7	14,0	1	0,60	0,70	1,02	8,40	8,57						
	Кран-балка	5	7 - 22	38,0	3	0,25	0,40	2,291	9,50	21,77						
	Печі	8	4 - 7,5	35,0	1	0,70	0,90	0,484	24,50	11,87						
	Преси	32	5 - 40	332,6	8	0,35	0,60	1,333	116,41	155,21						
	Шліфувальні верстати	33	7 - 24	487,0	3	0,17	0,65	1,169	82,79	96,79						
	Всього по цеху	232	0,5 - 40	2823,6	80	0,19	0,65	1,157	523,5	605,9	141	1,2	623	606	869	
2	Склад															
	Тельфери ТВ-40%	5	3,0 - 3,0	12,0	1	0,10	0,50	1,732	1,20	2,08						
	Вентилятори	6	5,0 - 7,5	30,0	1	0,65	0,70	1,02	19,50	19,89						
	Підігрівачі	3	3,0 - 5,0	8,0	1	0,60	1,00	0	4,80	0,00						
	Всього по складу	14	3,0 - 7,5	50,0	2	0,51	0,76	0,862	25,50	21,97	11	1,34	34,2	21,97	40,67	
3	Механоскладальний цех															
	Верстати металорізальні	275	0,5 - 30	4080	60	0,15	0,5	1,732	612,00	1060,02						
	Вентилятори	7	0,5 - 3	10,5	6	0,6	0,5	1,732	6,30	10,91						
	Зварювальні апарати	39	27,0 - 75	1212	3	0,2	0,5	1,732	242,40	419,85						
	Конверси	2	7,0 - 7	7	1	0,6	0,5	1,732	4,20	7,27						
	Шафи сушильні	5	11,0 - 11	44	1	0,6	0,5	1,732	26,40	45,73						
	Всього по МСЦ	328	0,5 - 75	5353,5	150	0,17	0,5	1,732	891,30	1543,8	143	1,20	1070,3	1543,78	1878,51	
4	Музей															
	Комп'ютери	53	0,3 - 0,3	15,6	1	0,8	0,9	0,484	12,48	6,04						
	Вентилятори	20	3,0 - 11,0	93	3	0,6	0,8	0,75	55,80	41,85						
	Кондиціонери	45	1,6 - 1,6	70,4	1	0,7	0,8	0,75	49,28	36,96						
	Всього по музею	118	0,3 - 11	179	36	0,66	0,81	0,722	117,56	84,85	33	1,12	131,2	84,85	156,28	

продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
5	Компресорна														
	Компресори	10	5,0 - 50	370	10	0,7	0,8	0,75	259,00	194,25					
	вентилятори	5	3 - 15	45	5	0,7	0,8	0,75	31,50	23,63					
	Живильні насоси	5	22,0 - 22	110	1	0,7	0,8	0,75	71,50	53,63					
	Конденсагні насоси	6	19 - 19	111	1	0,6	0,8	0,75	66,60	49,95					
	Сольові насоси	7	3,2 - 3	22,4	1	0,6	0,8	0,75	13,44	10,08					
	Всього по котельні	33	3,0 - 50	658,4	16	0,67	0,8	0,75	442,04	331,53	26	1,13	497,7	331,53	598,05
6	<u>Склад краски</u>														
	Кран-балка	2	1,0 - 4	8	4	0,3	0,5	1,732	2,00	3,46					
	Вентилятори	4	3,0 - 5	22	1	0,7	0,8	0,75	14,30	10,73					
	Всього по складу	6	1,0 - 5	30	5	0,6	0,8	0,87	16,3	14,2	6	1,34	21,9	15,61	26,89
7	Склад														
	Кран мостовий	1	21,0 - 21,0	21	1	0,2	0,6	1,333	4,20	5,60					
	Ел. тельфери	2	5,0 - 5,0	10	1	0,16	0,5	1,732	1,60	2,77					
	Всього по складу	3	5,0 - 21	31	4	0,19	0,57	1,443	5,8	8,4	3	2,94	17,1	9,21	19,40
8	Ідальня														
	Електропечі	10	0,1 - 4	39	40	0,6	0,7	1,02	23,40	23,87					
	Вентилятори	10	0,5 - 5	45	10	0,6	0,8	0,75	27,00	20,25					
	Жарочні шкафи	4	5,0 - 18	52	3	0,7	0,95	0,329	36,40	11,96					
	Тістомішалки	3	0,1 - 3	7,2	25	0,4	0,5	1,732	2,88	4,99					
	Холодильники	8	2,0 - 10	64	5	0,7	0,8	0,75	44,80	33,60					
	Всього по ідальні	35	0,1 - 18	207	180	0,65	0,82	0,704	134,48	94,68	23	1,15	154,3	94,68	181,00
9	Головний корпус														
	Точило одостороннє	10	3,0 - 3	30	1	0,3	0,7	1,02	9,00	9,18					
	Елеватор	1	3,0 - 3	3	1	0,6	0,7	1,02	1,80	1,84					
	Електропечі	2	71,0 - 75	146	1	0,7	0,9	0,484	102,20	49,50					
	Зварювальні апарати	1	40,0 - 40	40	1	0,4	0,6	1,333	16,00	21,33					
	Металообробні верстати	5	7,0 - 7	35	1	0,12	0,8	0,75	4,20	3,15					
	Прес кривошипний	2	4,0 - 5	9	1	0,3	0,6	1,333	2,70	3,60					
	Прес фрикційний	3	7,5 - 7,5	23	1	0,4	0,65	1,169	9,00	10,52					
	Транспортери	4	2,0 - 3	10	1	0,6	0,7	1,02	6,00	6,12					

продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	Бігуни	3	10,0 - 10	30	1	0,8	0,8	0,75	24,00	18,00					
	Кран-балка	3	11,2 - 11,2	34	1	0,4	0,6	1,333	13,44	17,92					
	Машини піскоструйні	8	1,0 - 1	8	1	0,6	0,7	1,02	4,80	4,90					
	Сушило вертикальне	1	285 - 285	285	1	0,4	0,7	1,02	114,00	116,30					
	Всього по цеху	43	1,0 - 285	1260	285	0,45	0,91	0,461	570	262	9	1,45	823,9	288,60	872,94
10	Обрубочне відділення														
	Плавильно-раздаточна піч	5	40,0 - 40	200	1	0,6	0,7	1,02	120,00	122,42					
	Барабан галтовочний	4	4,5 - 13	30	2	0,3	0,5	1,732	8,85	15,33					
	Бігуни	4	30,0 - 30	120	1	0,7	0,8	0,75	84,00	63,00					
	Елеватор	3	7,0 - 17	31	2	0,7	0,8	0,75	21,70	16,28					
	Електровізок	1	1,7 - 1,7	1,7	1	0,3	0,6	1,333	0,51	0,68					
	Конвейери	16	4,5 - 30	186	6	0,6	0,7	1,02	111,60	113,85					
	Кран мостовий	7	5,5 - 34	155	6	0,4	0,65	1,169	61,88	72,35					
	Кран-балка	7	5,0 - 6	38	1	0,2	0,5	1,732	7,58	13,13					
	Машина для лиття під тиском	3	16,0 - 21	58	1	0,4	0,6	1,333	23,20	30,93					
	Наждак одсторонний	1	3,0 - 3	3	1	0,2	0,8	0,75	0,60	0,45					
	Піднімач скіловий	2	22,0 - 22	44	1	0,7	0,9	0,484	30,80	14,92					
	Піч камерна	6	71,0 - 71	426	1	0,6	0,7	1,02	255,60	260,76					
	Сито полігональне	1	7,0 - 7	7	1	0,4	0,6	1,333	2,80	3,73					
	Сушильна піч	2	8,0 - 8	16	1	0,7	0,8	0,75	11,20	8,40					
	Установка плазменої різки	1	25,0 - 25	25	1	0,3	0,6	1,333	7,50	10,00					
	Всього по цеху	63	1,7 - 71	1340	41	0,6	0,7	1,02	747,82	746,24	38	1,13	844,9	746,24	1127,28
11	Сушильний цех														
	Вентилятори	16	5,0 - 15	180	3	0,6	0,7	1,02	108,00	110,18					
	Кран-балка	4	22,0 - 22	88	1	0,25	0,6	1,333	22,00	29,33					
	Сушильні камери	10	30,0 - 100	720	3	0,7	0,9	0,484	504,00	244,10					
	Всього по цеху	30	5,0 - 100	988	20	0,64	0,86	0,605	634	384	20	1,16	737,7	383,61	831,51
	Всього на стороні 0,4 кВ	750	0,1 - 75	9333	750	0,23	0,62	1,254	2157	2705	249	1,00	2156,5	2705,3	3459,63

## 2.2. Розрахунок освітлювальних підприємства навантажень до реконструкції

У структурі електроспоживання промислових підприємств освітлення займає помітну частку — орієнтовно до 10% від загального обсягу використаної електроенергії. Як правило, освітлювальні установки живляться від цехових трансформаторних підстанцій або безпосередньо з шин розподільчих пристроїв, що мають вторинну напругу 0,38/0,22 кВ із глухозаземленою нейтраллю.

Сумарну потужність освітлювальних навантажень для металообробного цеху визначаємо методом питомої щільності навантаження:

$$P_{осв} = P_{пит} \cdot F = 12 \cdot 2400 = 29 \text{ кВт},$$

де  $P_{пит} = 12 \text{ Вт/м}^2$  — питома щільність навантаження освітлення;

$F = 2400 \text{ м}^2$  — площа МОЦ.

Розрахункова потужність освітлювальних навантажень:

$$P_p = K_1 \cdot K_C \cdot P_{осв} = 1,12 \cdot 0,85 \cdot 29 = 27,6 \text{ кВт},$$

де  $K_1 = 1,12$  — коефіцієнт, який враховує втрату потужності в ПРА;

$K_C = 0,85$  — коефіцієнт попиту;

$$Q_p = P_p \cdot \text{tg} \varphi = 27,6 \cdot 1,73 = 47,5 \text{ квар},$$

де  $\text{tg} \varphi$  відповідає характерному для даних джерел світла коефіцієнту потужності  $\cos \varphi = 0,5$ .

Розрахунки освітлювальних навантажень подаємо у вигляді стандартної таблиці 2.2.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		16

Таблиця 2.2 — Розрахунок освітлювальних навантажень.

№	Найменування	F, м <sup>2</sup>	p <sub>о</sub> , Вт/м <sup>2</sup>	P <sub>в</sub> , кВт	K <sub>с</sub>	K <sub>1</sub>	tgφ	P <sub>р</sub> , кВт	Q <sub>р</sub> , квар	S <sub>р</sub> , кВА
1	Металообробний цех	2400	12	29	0,85	1,12	1,73	27,6	47,5	55
2	Склад	510	6	3,1	0,9	1,12	0,48	3,1	1,5	3,4
3	Механоскладальний цех	2800	14	39,2	0,9	1,12	0,48	39,5	19,0	43,8
4	Музей	1174	18	21,2	0,9	1,12	1,73	21,3	36,9	42,6
5	Компресорна	573	8	4,6	0,85	1,12	0	4,4	0,0	4,4
6	Склад краски	115	6	0,7	0,9	1,12	1,73	0,7	1,2	1,4
7	Склад	360	6	2,2	0,9	1,12	1,73	2,2	3,8	4,4
8	Ідальня	1030	18	18,6	0,9	1,12	1,73	18,7	32,4	37,4
9	Головний корпус	8000	10	80,0	0,95	1,2	0,48	91,2	43,8	101,2
10	Обрубочне відділення	1580	10	15,8	0,85	1,2	0,48	16,2	7,8	17,9
11	Сушільний цех	1294	12	15,6	0,85	1,12	1,73	14,8	25,6	29,6
12	Територія заводу	53570	0,2	10,7	0,3	1,2	0,48	3,9	1,9	4,3
	Всього							216	174	277

### 2.3. Розрахунок електричних навантажень в силових мережах вище 1000 В

У процесі проектування системи електропостачання на промислових підприємствах необхідним етапом є визначення навантаження в мережах високої напруги (понад 1000 В). Розрахунковими вузлами для таких мереж є шини трансформаторних підстанцій, розподільчих пунктів або головних знижувальних підстанцій. До розрахунку необхідно визначити потужність трансформаторів. Для розрахунку навантажень у мережі з напругою понад 1000 В спочатку проводиться підсумовування номінальних потужностей усіх встановлених силових електроприймачів, які передбачається живити від відповідної трансформаторної підстанції. На основі зібраних даних визначається середнє електричне навантаження, що дозволяє отримати найбільш імовірне значення розрахункового навантаження. Додатково враховується сумарне навантаження освітлювальних приладів, а також втрати електроенергії в силових трансформаторах.

Втрати в трансформаторах приймають по розрахунковим кривим або визначають по формулам:

$$\Delta P = n(\Delta P_x + \Delta P_k \cdot K_3^2);$$
$$\Delta Q = n\left(\frac{I_x}{100} S_{\text{ном}} + \frac{U_k}{100} S_{\text{ном}} \cdot K_3^2\right),$$

де  $n$  – число трансформаторів;  $\Delta P_x$ ,  $\Delta P_k$  – втрати відповідно х.х. і к.з., кВт;  $I_x$  – струм х.х.,  $U_k$  – напруга КЗ, %;  $S_{\text{ном}}$  – номінальна потужність трансформатора, кВА;  $K_3$  – коефіцієнт завантаження трансформатора;

г) підводиться загальний підсумок по ТП.

Навантаження в цілому по підприємству (на шинах ЦРП або ГЗП) визначається таким самим чином як і навантаження окремих ТП.

Розрахунок навантажень в мережі вище 1000В приведений в таблиці 2.3.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		18

Таблиця 2.3. Розрахунок силових навантажень в мережі вище 1000 В

№	Назва вузлів навантаження та груп електроприймачів	Кількість		Встановлена потужність, кВт		m	Кв	cos	tg	Середнє навантаження за зміну			Розрахункова потужність		
		Одного	Сумарна	Одного	Сумарна					Рср	Qср	ne	Км	Рр	Qр
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	<b>ТП№1</b>														
1	<b>Металообробний цех</b>	224,0	0,5 - 40,0	2823,6	80,0	0,2	0,7	1,2	523,5	605,9	141,0	1,2	623	606	869
	силова														
	освітлювальна												26	45	
	<b>Склад краски</b>														
	силова	6,0	1,0 - 5,0	30,0	5,0	0,6	0,8	0,9	16,3	14,2	6,0	1,3	22	16	27
	освітлювальна												1	1	
	<b>Склад</b>														
	силова	11,0	3,0 - 7,5	50,0	2,0	0,5	0,8	0,9	25,5	22,0	11,0	1,3	34	22	41
	освітлювальна												3	5	
	Всього по ТП№1														
	силова	241,0	0,5 - 40	2903,6	80	0,2	0,7	1,1	565,3	642,1	145,0	1,2	667	642	926
	освітлювальна												29	50	
	Всього												696	692	982
	<b>БСК</b>														
	3 урахуванням БСК												696	692	
	Втрати в трансформаторі S <sub>нтр</sub> = 1000												8	52	
	Всього на шинях 10 кВ ТП№1												705	745	1025
	<b>ТП№2</b>														
	<b>Головний корпус</b>														
	силова	43,0	1,0 - 285,0	1259,9	285,0	0,5	0,9	0,5	569,5	262,4	9,0	1,4	824	289	873
	освітлювальна												68	33	
	Всього														
	Всього по ТП № 5														
	силова	43,0	3 - 285	1259,9	114	0,5	0,9	0,5	569,5	262,4	9,0	1,4	824	262	865

продовження таблиці 2.3.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	освітлювальна												68	33	
Всього															
БСК													892	295	
	З урахуванням БСК														
	Втрати в трансформаторі S <sub>н.тр</sub> = 1600	1,0											3	70	
	Всього на шинях 10 кВ ТП№2												895	365	967
	ТП№3	0,6													
	<b>Сушильний цех</b>														
	силова	30,0	5,0 - 100,0	988,0	20,0	0,6	0,9	0,6	634,0	383,6	20,0	1,2	738	384	832
	освітлювальна												12	22	
	<b>Адміністративно-побутовий корпус</b>														
	силова	142,0	0,3 - 30,0	314,9	100,0	0,7	0,8	0,7	213,7	140,2	21,0	1,1	243	140	281
	освітлювальна												19	33	
	<b>Склад ПИС</b>														
	силова	3,0	5,0 - 21,0	31,0	4,0	0,2	0,6	1,4	5,8	8,4	3,0	2,9	17	9	19
	освітлювальна												2	3	
	<b>Обрубочне відділення</b>														
	силова	63,0	1,7 - 71,0	1339,8	41,0	0,6	0,7	1,0	747,8	746,2	38,0	1,1	845	746	1127
	освітлювальна												14	7	
	<b>Компресорна</b>														
	силова	33,0	3,0 - 50,0	658,4	16,0	0,7	0,8	0,8	442,0	331,5	26,0	1,1	498	332	598
	освітлювальна												4	0	
	Всього по ТП№3														
	силова	271,0	0,3 - 100	3332,1	333	0,6	0,8	0,8	2043,3	1610,0	67,0	1,1	2229	1610	2749
	освітлювальна												33	58	
	Всього												2262	1668	2810
	БСК														
	З урахуванням БСК														
	Втрати в трансформаторі S <sub>н.тр</sub> = 1600	2,0											2262	1668	
	Всього на шинях 10 кВ ТП№3												25	166	
													2287	1834	2931

продовження таблиці 2.3.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	Всього по заводу														
	силова	750,0	0,1 - 75,0	9332,7	750,0	0,2	0,6	1,3	2156,5	2705,3	249,0	1,0	2157	2705	3460
	освітлювальна												216	174	
	Всього												2372	2879	3731
	Компенуючі пристрої														
	Всього з врахуванням КП-0,4												2372	2879	3731
	Втрати в трансформаторах	4,0											36	288	
	Всього по заводу												2409	3167	3979
	Компенуючі пристрої 10 кВ														
	Високовольтне навантаження														
	ТПЧ-800	3	800,0 - 800	2400	1	0,45	0,80	0,75	1080	810			1080	810	1350
	ДЧМ-10	2	2250,0 - 2250	4500	1	0,6	0,80	0,75	2700	2025			2700	2025	3375
	ДСН-1,5	1	1000,0 - 1000	1000	1	0,6	0,80	0,75	600	450			600	450	750
	Всього на шинях 10 кВ												6789	6452	9366
													$\text{tg}\varphi_{\text{стат}}=$	0,15	
													$\text{tg}\varphi_{\text{расч}}=$	0,95	

## ПОБУДОВА ГРАФІКІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ПІДПРИЄМСТВА

Для забезпечення достовірності розрахунків режимів електроспоживання на підприємстві проводиться аналіз змін електричних навантажень у часі, з урахуванням сезонної та добової нерівномірності виробничих процесів. На підставі фактичних замірів, отриманих в умовах реальної експлуатації обладнання, при цьому враховано різницю між робочими та вихідними днями, що дозволяє отримати наближену до реальності картину навантаження впродовж року.

На основі добових графіків формується річний графік навантаження за тривалістю, який відображає зміну навантаження упродовж року в порядку зменшення його величини. Добовий графік дає змогу визначити навантажувальну здатність трансформаторів, а також встановити значення максимального та мінімального навантаження, які важливі розрахунку відхилень напруги в електричній мережі.

Для обліку сезонної специфіки електроспоживання прийнято:

- Кількість робочих днів: 147 у зимовий період та 105 у літній;
- Кількість вихідних днів: 65 взимку та 48 влітку.

Час повних втрат електроенергії визначається аналогічно для втрат потужності в мережі.

Для побудови графіків електричних навантажень використано програмне середовище Microsoft Excel, що забезпечує зручність обробки експериментальних даних та графічне представлення результатів. При цьому в розрахунках враховано, що літнє навантаження на 15 % нижче зимового, що відповідає типовій сезонній структурі енергоспоживання на промислових підприємствах.

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

Таблиця 3.1. Активне навантаження за періодами року

Години	Навантаження робочої доби				Навантаження вихідної доби			
	%	Зима (P <sub>зр</sub> ), кВт	%	Літо (P <sub>лр</sub> ), кВт	%	Зима (P <sub>зв</sub> ), кВт	%	Літо (P <sub>лв</sub> ), кВт
1	24	1629,3	24	1384,9	18	1222,0	15	1038,67
2	29	1968,7	40	2308,2	18	1222,0	15	1038,67
3	24	1629,3	34	1961,9	18	1222,0	15	1038,67
4	19	1289,8	29	1673,4	18	1222,0	15	1038,67
5	24	1629,3	34	1961,9	18	1222,0	15	1038,67
6	24	1629,3	34	1961,9	18	1222,0	15	1038,67
7	29	1968,7	40	2308,2	18	1222,0	15	1038,67
8	69	4684,2	80	4616,3	18	1222,0	15	1038,67
9	88	5974,0	90	5193,3	14	950,4	11	807,9
10	100	6788,7	100	5770,4	14	950,4	11	807,9
11	93	6313,5	100	5770,4	14	950,4	11	807,9
12	48	3258,6	58	3346,8	14	950,4	11	807,9
13	78	5295,2	88	5077,9	14	950,4	11	807,9
14	88	5974,0	98	5655,0	14	950,4	11	807,9
15	83	5634,6	93	5366,5	14	950,4	11	807,9
16	48	3258,6	58	3346,8	14	950,4	11	807,9
17	83	5634,6	93	5366,5	14	950,4	11	807,9
18	78	5295,2	88	5077,9	14	950,4	11	807,9
19	83	5634,6	93	5366,5	14	950,4	11	807,9
20	78	5295,2	68	3923,9	18	1222,0	15	1038,7
21	74	5023,6	68	3923,9	18	1222,0	15	1038,7
22	68	4616,3	68	3923,9	18	1222,0	15	1038,7
23	58	3937,4	40	2308,2	18	1222,0	15	1038,7
24	24	1629,3	34	1961,9	18	1222,0	15	1038,7
Σдобове		95992,0		89556,3		26340,09		22389,07

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		23

Таблиця 3.2. Реактивне навантаження за періодами року

Години	Навантаження робочої доби				Навантаження вихідної доби			
	%	Зима (Q <sub>зр</sub> ), кВар	%	Літо (Q <sub>лр</sub> ), кВар	%	Зима (Q <sub>зв</sub> ), кВар	%	Літо (Q <sub>лв</sub> ), кВар
1	34	2193,7	34	1864,7	28	1806,6	23	1535,6
2	40	2580,9	40	2193,7	28	1806,6	23	1535,6
3	34	2193,7	34	1864,7	28	1806,6	23	1535,6
4	29	1871,1	29	1590,5	28	1806,6	23	1535,6
5	34	2193,7	34	1864,7	28	1806,6	23	1535,6
6	34	2193,7	34	1864,7	28	1806,6	23	1535,6
7	40	2580,9	40	2193,7	28	1806,6	23	1535,6
8	80	5161,7	80	4387,5	28	1806,6	23	1535,6
9	90	5806,9	90	4935,9	24	1548,5	20	1316,2
10	100	6452,2	100	5484,3	24	1548,5	20	1316,2
11	100	6452,2	100	5484,3	24	1548,5	20	1316,2
12	58	3742,2	58	3180,9	24	1548,5	20	1316,2
13	88	5677,9	88	4826,2	24	1548,5	20	1316,2
14	98	6323,1	98	5374,6	24	1548,5	20	1316,2
15	93	6000,5	93	5100,4	24	1548,5	20	1316,2
16	58	3742,2	58	3180,9	24	1548,5	20	1316,2
17	93	6000,5	93	5100,4	24	1548,5	20	1316,2
18	88	5677,9	88	4826,2	24	1548,5	20	1316,2
19	93	6000,5	93	5100,4	24	1548,5	20	1316,2
20	68	4387,5	68	3729,3	28	1806,6	23	1535,6
21	68	4387,5	68	3729,3	28	1806,6	23	1535,6
22	68	4387,5	68	3729,3	28	1806,6	23	1535,6
23	40	2580,9	40	2193,7	28	1806,6	23	1535,6
24	34	2193,7	34	1864,7	28	1806,6	23	1535,6
Σдобове		100782,6		85665,2		40519,52		34441,6

Добові графіки електроспоживання зображено на рис. 3.1-3.5.

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

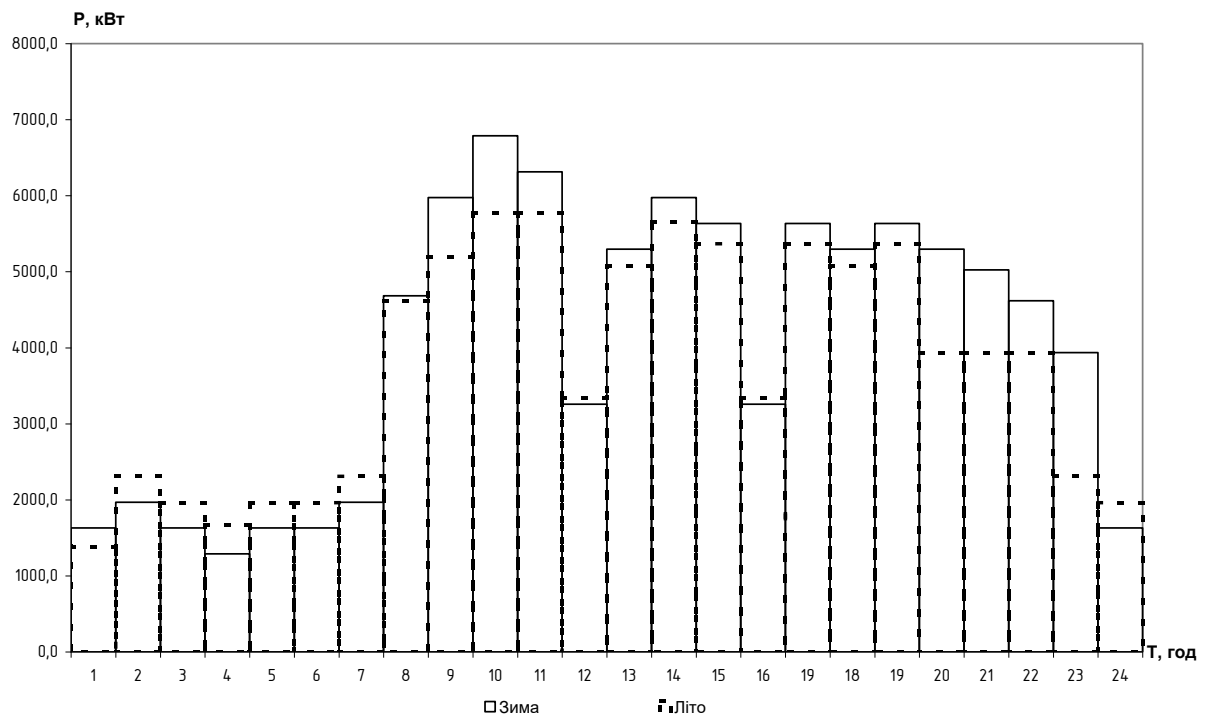


Рис. 3.1 Споживання активної потужності в робочий день

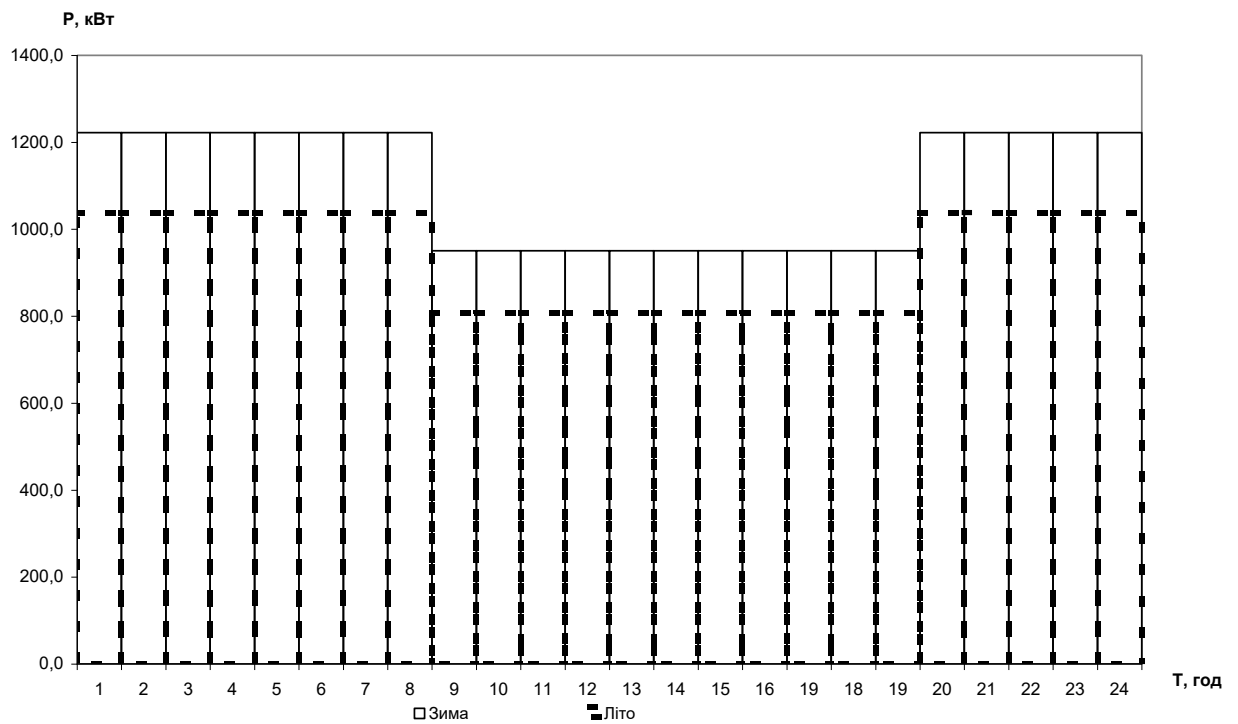


Рис. 3.2 Споживання активної потужності у вихідний день

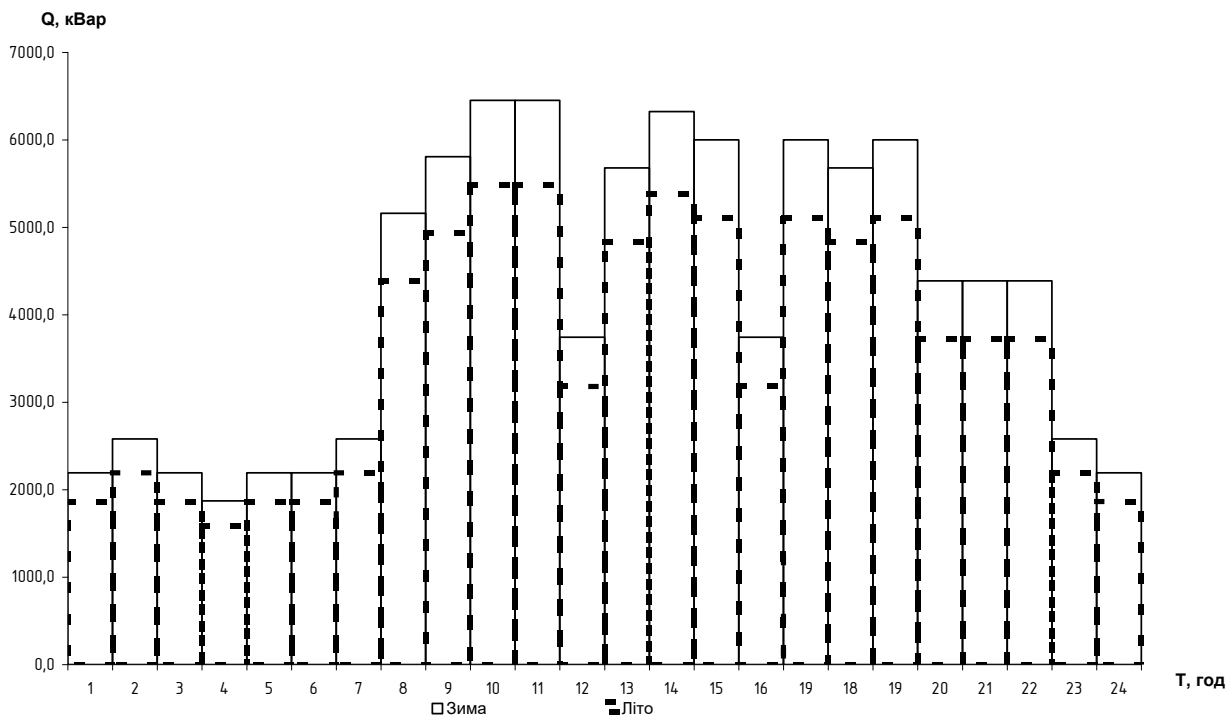


Рис. 3.3 Споживання реактивної потужності в робочий день

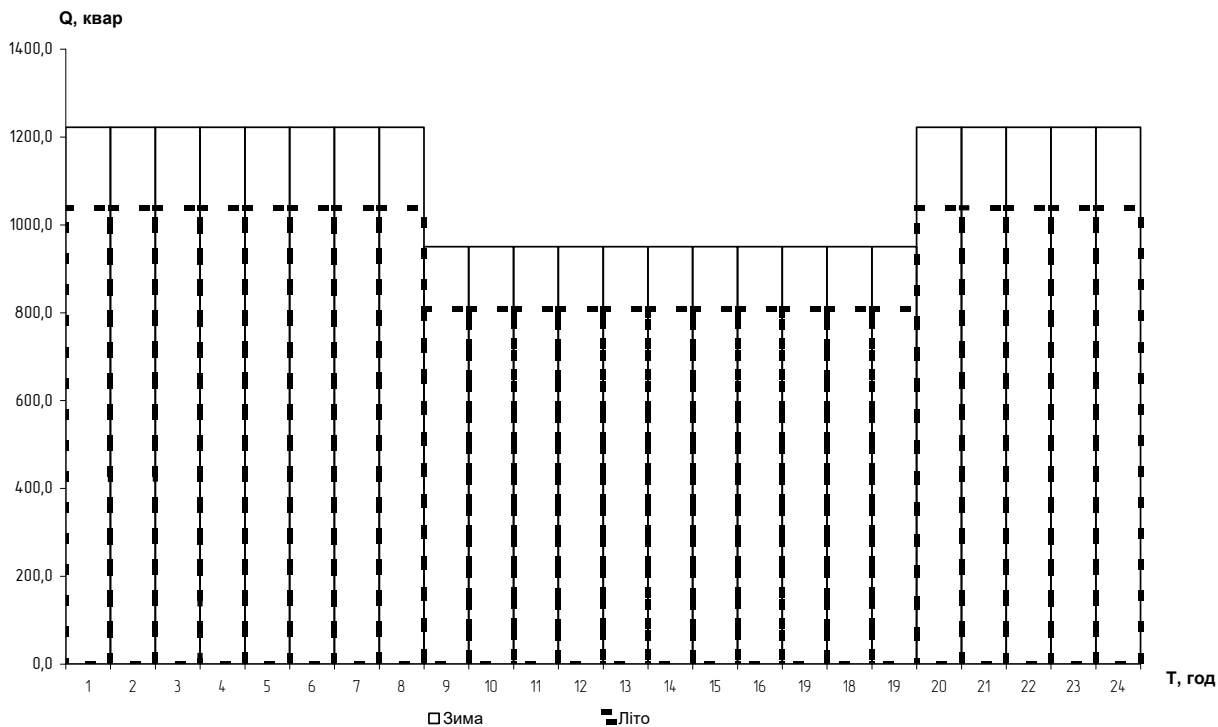


Рис. 3.4 Споживання реактивної потужності у вихідний день



## Програма для побудови графіків електричних навантажень

$$P = 6788 \text{ кВт}$$
$$Q = 6452 \text{ кВар}$$
$$S = 9365 \text{ кВА}$$

Виконати розрахунок ?  
Ок

Робочі дні:

Зимові

Річна витрата активної електричної енергії, кВт\*год:  $W_{зр} = 14110819$

Річна витрата реактивної електричної енергії, кВАр\*год:  $V_{зр} = 14815046$

Літні

Річна витрата активної електричної енергії, кВт\*год:  $W_{лр} = 9403411$

Річна витрата реактивної електричної енергії, кВАр\*год:  $V_{лр} = 8994849$

Вихідні дні:

Зимові

Річна витрата активної електричної енергії, кВт\*год:  $W_{зв} = 1712106$

Річна витрата реактивної електричної енергії, кВАр\*год:  $V_{зв} = 2633769$

Літні

Річна витрата активної електричної енергії, кВт\*год:  $W_{лв} = 1074676$

Річна витрата реактивної електричної енергії, кВАр\*год:  $V_{лв} = 1653196$

Виводити на друк ?

Ок

Загальна річна витрата активної електричної енергії, кВт\*год:

$$W_{лр} = W_{зр} + W_{лр} + W_{зв} + W_{лв} = 26301012$$

Загальна річна витрата реактивної електричної енергії, кВАр\*год:

$$V_{лв} = V_{зр} + V_{лр} + V_{зв} + V_{лв} = 28096861$$

Час використання максимального навантаження, год:

$$T_m = 4109$$

Час максимальних втрат, год:

$$\tau_m = 2506$$

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

## ПОБУДОВА КАРТОГРАМ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ТА ВИБІР МІСЦЯ РОЗТАШУВАННЯ ЦЕНТРУ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Для оптимального розміщення головного розподільчого пункту виконується побудова картограми електричних навантажень. Під час побудови картограми на генеральний план підприємства наносяться умовні кола, кожне з яких відповідає окремому цеху. Площа кожного кола, у вибраному масштабі, є пропорційною до максимального електричного навантаження цеху. Після нанесення всіх навантажень виконується визначення умовного центру електричних навантажень (ЦЕН), який доцільно обирати як оптимальне місце головної понижувальної підстанції. Координати ЦЕН обчислюються за аналогією до центра тяжіння системи плоских фігур. Для необхідності врахування освітлювального навантаження застосовується секторна

Розраховані координати, які наведені в таблиці 4, що дозволяють обґрунтувати вибір місця ЦЕН з урахуванням мінімізації довжин ліній, зниження втрат енергії та підвищення ефективності електропостачання підприємства.

Таблиця 4. Розрахунок координат центру електричних навантажень

№ п/п	Найменування	Р <sub>рсил</sub> , кВт	Р <sub>росв</sub> , кВт	Р <sub>р</sub> , кВт	m	R, мм	$\alpha$ , °
1	Металообробний цех	623	27	650	0,2	32	15
2	Склад	34	3	37	0,2	8	30
3	Механоскладальний цех	1070	40	1110	0,2	42	13
4	Музей	131	21	153	0,2	16	50
5	Компресорна	498	4	502	0,2	28	3
6	Склад краски	22	1	23	0,2	6	11
7	Склад	17	2	19	0,2	6	41
8	Ідальня	154	19	173	0,2	17	39
9	Головний корпус	824	91	915	0,2	38	36
10	Обрубочне відділення	845	16	861	0,2	37	7
11	Сушільний цех	738	15	753	0,2	35	7
	Всього по заводу			5365			

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

продовження таблиці 4

№ п/п	Найменування	х, м	у, м	Р*х, кВт м	Р*у, кВт м
1	Металообробний цех	100,0	80,0	64990	51992
2	Склад	100,0	260,0	3732	9702
3	Механоскладальний цех	80,0	240,0	88785	266355
4	Музей	120,0	320,0	18309	48825
5	Компресорна	60,0	340,0	30127	170719
6	Склад краски	40,0	280,0	903	6322
7	Склад ЦИС	280,0	360,0	5391	6932
8	Ідальня	50,0	140,0	8649	24218
9	Головний корпус	220,0	380,0	201311	347720
10	Обрубочне відділення	220,0	430,0	189437	370263
11	Сушільний цех	160,0	260,0	120406	195660
	Всього по заводу			813664	1506189

$$x_0 = \sum_{i=1}^n x_i \cdot P_i / \sum_{i=1}^n P_i = 813634 / 5365 = 151;$$

$$y_0 = \sum_{i=1}^n y_i \cdot P_i / \sum_{i=1}^n P_i = 1506189 / 5365 = 280,$$

В даних координатах розмістити ЦЕН неможливо через наявність інших елементів, тому зміщуємо ЦЕН в точку з координатами (121;281) рухаючись в напрямку джерела живлення.

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

## ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ СХЕМ ЗОВНІШНЬОГО ТА ВНУТРІШНЬОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВА

Раціональне проектування системи зовнішнього електропостачання промислового підприємства значною мірою визначається обґрунтованим вибором рівня напруги та структури електропостачання. На ці параметри впливає розрахункове електричне навантаження споживача; відстань до точки приєднання; вимоги до надійності енергопостачання тощо.

Вибір напруги зводиться до визначення стандартного значення, яке відповідає технічним вимогам і забезпечує мінімальні зведені витрати. Практично кількість прийнятних варіантів обмежується двома-трьома, залежно від доступних рівнів напруги у найближчих точках приєднання до енергосистеми. На етапі попереднього техніко-економічного обґрунтування раціональні рівні напруги можуть бути визначені за допомогою номограм, що дає змогу оперативно оцінити доцільність окремих варіантів без виконання детальних розрахунків.

Остаточне рішення приймається шляхом порівняння зведених витрат за кожним із варіантів.

У роботі розглянуто два можливі варіанти організації зовнішнього електропостачання.

Варіант 1 передбачає живлення споживачів заводу важкого машинобудування від підстанції енергосистеми за допомогою двох кабельних ліній напругою 10 кВ довжиною 7,5 км (рис. 5а). У цьому випадку для забезпечення електропостачання передбачається будівництво розподільного пункту РП-10 кВ.

Варіант 2 передбачає живлення споживачів двома кабельними лініями напругою 35 кВ тієї ж довжини — 7,5 км (рис. 5б). Через щільну міську забудову застосування повітряної ЛЕП є недоцільним. У цьому випадку передбачено будівництво головної знижувальної підстанції ГЗП-35/10 кВ.

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата					31

Схеми зовнішніх мереж обох варіантів подано на аркуші графічної частини та на рис. 5а, б.

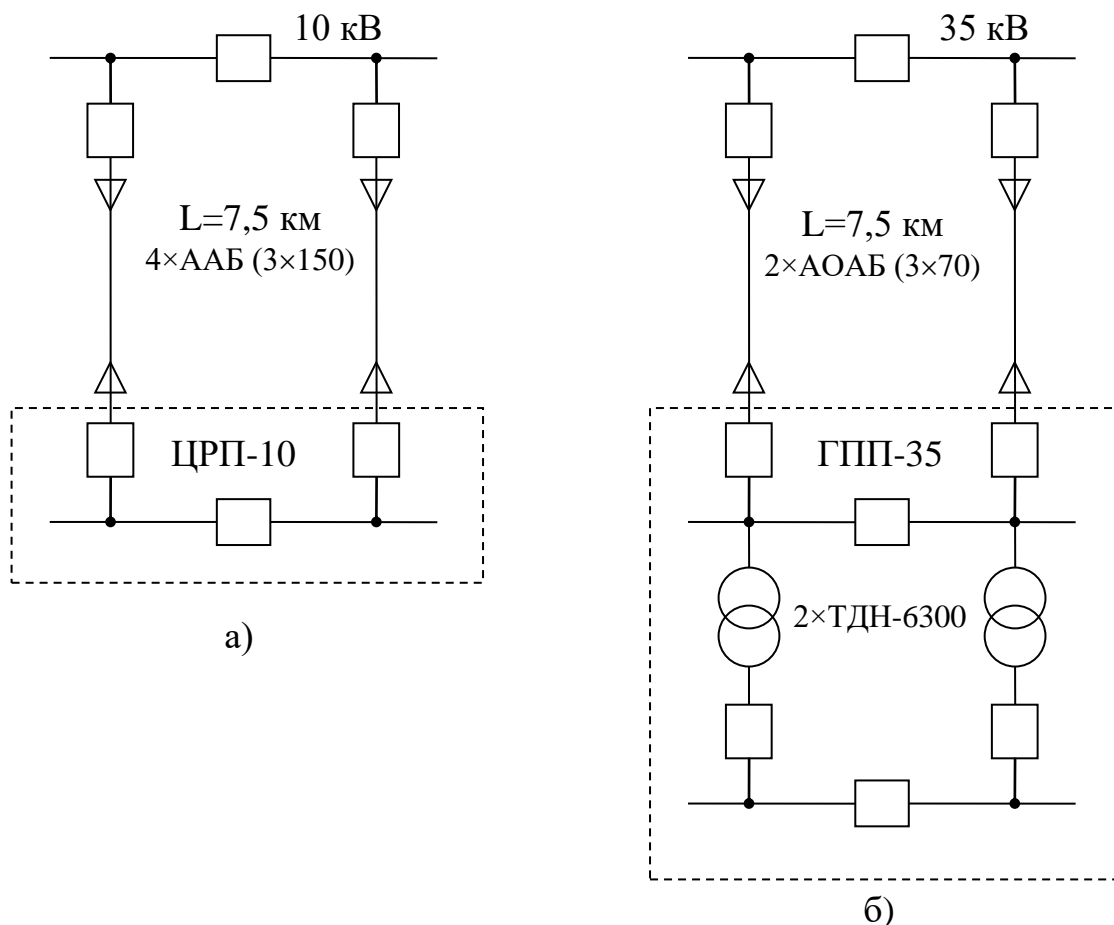


Рис. 5. Варіанти схем зовнішнього електропостачання.

Варіант №1. Живлення здійснюється напругою 10 кВ (рис 5а).

Розрахунковий струм в лінії

$$I_P = \frac{S_P}{n\sqrt{3}U_H} = \frac{9365,7}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 387,5 \text{ А}$$

Площа перерізу кабельної лінії визначається за економічною густиною струму:

$$F_{\text{э}} = \frac{I_P}{j_{\text{э}}} = \frac{378}{1,1} = 315 \text{ мм}^2$$

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

де  $j_{ек} = 1,1$  для кабелів з алюмінієвими жилами і при  $T_M \leq 5000$  год.

Приймаємо до прокладання дві кабельні лінії площею перерізу  $150 \text{ мм}^2$  кожна, кабель марки ААБ (3×150) з тривалим допустимим струмовим навантаженням  $I_D = 210 \text{ А}$ , втратами потужності на 1 км  $\Delta P_{1км} = 54 \text{ кВт}$  вартістю 1 км  $K_0 = 16,8 \text{ тис. грн}$ . Завантаження кабелю в нормальному режимі

$$K_3 = \frac{I_P}{2I_D} = \frac{378}{2 \cdot 210} = 0,44$$

При виході із ладу однієї лінії та, що залишається, працюючи з перевантаженням забезпечить живлення навантаження  $I = I_D \cdot K_{АП} \cdot K_{пр} = 210 \cdot 1,3 \cdot 0,9 \cdot 2 = 492 \text{ А}$ , де  $K_{АП}$  – допустимий коефіцієнт аварійного перевантаження,  $K_{пр}$  – коефіцієнт прокладки. Розрахунок показує, що в аварійному режимі живлення підприємства не порушується. Втрати відповідно потужності  $\Delta P$  та енергії  $\Delta \mathcal{E}$  в лінії

$$\Delta P_{л} = \Delta P_{1км} \cdot l_{\Sigma} \cdot K_3^2 = 54 \cdot 30 \cdot 0,44^2 = 544 \text{ кВт}$$

де  $l_{\Sigma}$  – сумарна довжина кабелю,  $l_{\Sigma} = 4l = 4 \cdot 7,5 = 30 \text{ км}$ .

$$\Delta \mathcal{E} = \Delta P_{л} \tau = 544 \cdot 2506 = 1363264 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

де  $\tau$  – час використання максимального навантаження (визначено в розділі 3 даного проекту).

Вартість втрат енергії:

$$C_{втр} = \Delta \mathcal{E} C_0 = 1363254 \cdot 10,32 = 14068 \text{ тис. грн.}$$

Варіант №2. Живлення здійснюється напругою 35 кВ (рис 5б).

Розрахунковий струм в лінії:

$$I_P = \frac{S_P}{n\sqrt{3}U_H} = \frac{9365}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 35} = 111 \text{ А}$$

Площа перерізу проводів повітряної лінії, що обирається за економічною густиною струму:

$$F_{\mathcal{E}} = \frac{I_P}{j_{\mathcal{E}}} = \frac{111}{1,1} = 100,9 \text{ мм}^2$$

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

Приймаємо до прокладання одну кабельну лінію площею перерізу 120 мм<sup>2</sup> кожна, кабель марки АОАБ (3×120) з тривалим допустимим струмовим навантаженням  $I_D = 158 \text{ A}$ , втратами потужності на 1 км  $\Delta P_{1KM} = 42 \text{ кВт}$  вартістю 1 км  $K_0 = 270,3 \text{ тис.грн}$ . Завантаження кабелю в нормальному режимі

$$K_3 = \frac{I_P}{2I_D} = \frac{100,9}{2 \cdot 158} = 0,32$$

При виході із ладу однієї лінії та, що залишається, працюючи з перевантаженням забезпечить живлення навантаження  $I = I_D \cdot K_{АП} \cdot K_{пр} = 158 \cdot 1,3 \cdot 1 = 205 \text{ A}$ , де  $K_{АП}$  – допустимий коефіцієнт аварійного перевантаження,  $K_{пр}$  – коефіцієнт прокладки. Розрахунок показує, що в аварійному режимі живлення підприємства не порушується.

На ГЗП передбачається встановлення двох трансформаторів типу ТДН-6300 потужністю  $S_H = 6300 \text{ кВА}$  кожен, напругою 35/10 кВ.  $\Delta P_X = 9,4 \text{ кВт}$ ,  $\Delta P_K = 46,5 \text{ кВт}$  [1]. Завантаження трансформаторів в нормальному режимі

$$K_3 = \frac{S_P}{2S_H} = \frac{9365}{2 \cdot 6300} = 0,73$$

При відключенні одного трансформатора, той що залишився, працюючи з допустимим аварійним перевантаженням, забезпечує живлення навантаження

$$S = 1,4S_H = 1,4 \cdot 6300 = 8820 \text{ кВА}$$

Втрати енергії в лінії

$$\Delta P_{Л} = \Delta P_{1KM} l_{\Sigma} K_3^2 = 42 \cdot 15 \cdot 0,32^2 = 64,6 \text{ кВт}$$

$$\Delta \mathcal{E}_{Л} = \Delta P_{Л} \tau = 64,6 \cdot 2506 = 161887 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Втрати енергії в трансформаторі

$$\Delta \mathcal{E}_{ТР} = 2(\Delta P_X t_{вкл} + \Delta P_K K_3^2 \tau) = 2(9,4 \cdot 8760 + 46,5 \cdot 2506 \cdot 0,53^2) = 61706 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Сумарні втрати

$$\Delta \mathcal{E} = \Delta \mathcal{E}_{Л} + \Delta \mathcal{E}_{ТР} = 161887 + 61706 = 223593 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Вартість втрат

$$C_{ВТР} = \Delta \mathcal{E} \cdot C_0 = 223593 \cdot 7,9 = 1766 \text{ тис. грн.}$$

										Арк.
										34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата						

Розрахунок витрат за варіантами наведено в таблицях 5.1.- 5.3.

Таблиця 5.1. Розрахунок капітальних вкладень.

№ варіанта	Назва елемента схеми	Одиниця	К-ть	Вартість тис. грн.	Всього тис. грн.
I	Шафи з вимикачами додатково встановлені на п/ст системи	шт	2	171,3	342,6
	Кабель ААБ	км	30	168	5040
Всього				0	5382,6
II	Вимикачі 35 кВ	шт	5	323	1615
	Кабель АОАБ	км	15	273	4095
	Трансформатори ТДН-6300/35	шт	2	852	1704
Всього					7414

Таблиця 5.2. Розрахунок поточних витрат.

№ варіанта	Назва елемента схеми	К <sub>j</sub> тис. грн.	Р <sub>aj</sub> %	С <sub>aj</sub> тис. грн.	Р <sub>эj</sub> %	С <sub>эj</sub> тис. грн.	С <sub>j</sub> тис. грн.
I	Кабельна лінія	5040	5	252	5	252	504
	Шафи КРУ з вимикачами	342,6	15	51,39	5	17,13	68,52
	Всього					0	572,52
II	Вимикачі	1615	15	242,25	5	80,75	323
	Кабельна лінія	4095	5	204,75	5	204,75	409,5
	Трансформатори	1704	15	255,6	5	85,2	340,8
	Всього						1073,3

Таблиця 5.3. Техніко – економічні показники варіантів, тис. грн.

Показники	Варіанти	
	I	II
Капітальні вкладення	5382,6	7414
Поточні витрати	572,5	1073
Вартість втрат електроенергії	14068	1766
Зведені витрати	15286	3728



## РЕЖИМИ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Більшість промислових електроприймачів, крім активної потужності  $P$ , споживають також реактивну потужність  $Q$ . Основними її споживачами є: асинхронні електродвигуни (60–65% загального обсягу), силові трансформатори (20–25%) та інше обладнання (близько 10%).

Залежно від складу електрообладнання, реактивна потужність підприємства може бути більшою за 100% від його активної потужності. Передача значної кількості реактивної потужності через мережі та трансформатори електропостачальної системи є неефективною через зростання втрат активної потужності та енергії у всіх елементах мережі через навантаження реактивною потужністю та підвищені втрати напруги, особливо характерні для мереж живлення промислових підприємств.

Для зменшення втрат у трансформаторах, лініях та інших елементах системи електропостачання, а також для оптимізації їх параметрів, застосовується компенсація реактивної потужності (КРП). Частково реактивна потужність може надходити від енергосистеми в межах економічно обґрунтованого значення, що визначається середньозваженим значенням коефіцієнта потужності.

Оптимальний розподіл потужності КП між рівнями високої та низької напруги залежить від витрат на обладнання (включаючи комутаційні пристрої й додаткові трансформатори), а також від вартості втрат електроенергії.

При проектуванні систем компенсації реактивної потужності доцільно розглядати кілька варіантів її розміщення з метою вибору найекономічнішого рішення. Критерієм вибору є мінімум зведених витрат.

Розрахункові затрати на компенсацію реактивної потужності визначаються:

$$Z = E_n \cdot (K_{KH} + K_{KB} + K_{KTP}) + (\Delta P_{KH} + \Delta P_{KB} + \Delta P_{TP}) \cdot C_o \cdot \tau$$

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

При виборі засобів компенсації вирішальне значення має кількість  $N$  трансформаторів які встановлюються. При проектуванні розглядають варіанти компенсації з установкою мінімального  $N = N_0$ , збільшеного на один  $N = N_0 + 1$  і збільшеного на два  $N = N_0 + 2$  числа трансформаторів.

### 6.1. Розрахунок балансу реактивної потужності та вибір компенсуючих пристроїв в високовольтних та низьковольтних мережах

Високовольтне навантаження:

$$P_V = 4380 \text{ кВт}$$

$$Q_V = 3285 \text{ квар}$$

Активне та реактивне навантаження в мережі до 1000 В (цехові ТП):

$$P_H = 2372 \text{ кВт}$$

$$Q_H = 2879 \text{ квар}$$

Сумарне споживання по заводу:

$$P_p = P_V + P_H + \Delta P_{тр} = 4380 + 2372 + 36,3 = 6788 \text{ кВт}$$

$$Q_p = Q_V + Q_H + \Delta Q_{тр} = 3285 + 2879 + 288 = 6192 \text{ квар}$$

Економічно доцільна потужність, що може бути передана від системи:

$$Q_e = P_p \cdot \operatorname{tg}\varphi_3 = 6788 \cdot 0,15 = 1018 \text{ квар}$$

Тоді сумарна потужність компенсуючих пристроїв визначається з умови балансу реактивної потужності:

$$Q_{ку} = Q_p - Q_e = 6192 - 1018 = 5174 \text{ квар}$$

Визначаємо мінімальну кількість трансформаторів:

$$N_0 = P_H / (K_3 \cdot S_{H \text{ тр}}) = 2372 / (0,7 \cdot 1000) = 3,4 \text{ шт}$$

Час максимальних втрат  $\tau_m = 4109$  год.

Приймаємо  $N_0 = 4$

Розглянемо варіанти компенсації при кількості трансформаторів  $N = N_0$ ,  $N = N_0 + 1$ ,  $N = N_0 + 2$

Варіант I:  $N = N_0 = 4$

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

Визначаємо реактивну потужність, яка може бути передана з мережі 10 кВ в мережу 0,4 кВ через цехові трансформатори:

$$Q_n = \sqrt{(n \cdot S_m \cdot K_s)^2 - P_n^2} = \sqrt{(4 * 1000 * 0)^2 - 2372^2} = 1487 \text{ кВар}$$

Потужність компенсуючих пристроїв які потрібно встановити в мережі 0,4 кВ визначаємо з умови балансу реактивної потужності на шинах ТП по (6.6):

$$Q_{кн} = Q_n - Q_{п} = 2879 - 1487 = 1391 \text{ квар}$$

Приймаємо до встановлення  $Q_{кн} = 1400$  квар, з них

БК потужністю 300 квар приймаємо 4 шт.

БК потужністю 50 квар приймаємо 4 шт.

$$\text{Уточнюємо значення } Q_{п} = Q_n - Q_{кн} = 2879 - 1400 = 1479 \text{ квар}$$

Потужність КП, встановлюємих на шинах 10 кВ:

$$Q_{кп\_дсп} = Q_{дсп} - P_v * \text{tg}\phi = 2475 - 3300 * 0,5 = 1980 \text{ кВар}$$

Приймаємо до встановки  $Q_{дчм}^{10} = 1950$  кВар

БК потужністю 900 квар приймаємо 2 шт.

БК потужністю 150 квар приймаємо 1 шт.

Потужність компенсуючих пристроїв, які необхідно встановити в мережі 10 кВ:

$$Q_{кв} = Q_r - Q_{кн} - Q_{дсп}^{10} - Q_e = 6192 - 1400 - 1950 - 1018 = 18236 \text{ кВар}$$

Приймаємо до встановки  $Q_{кв} = 1800$  кВар

БК потужністю 900 квар приймаємо 2 шт.

Сумарна потужність компенсуючих пристроїв в мережі 10 кВ:

$$Q^{10} = Q_{дчп}^{10} + Q_{кв} = 1950 + 1800 = 3750 \text{ кВар}$$

Активні втрати потужності при передачі реактивної енергії через трансформатори цехових ТП:

$$\Delta R_{ТП} = Q_{п}^2 * R_{ек} / U_{н}^2 = 1479^2 * 215 / 10 = 4 \text{ кВт}$$

$$\text{де } R_{ек} = (\Delta R_{кз} * U_{н}^2) / (N_{тр} * S_{нтр}^2) = (8 * 10^2 / (4 * 1000)) = 21500 * 10^{-6} \text{ кОм}$$

Втрати активної потужності у низьковольтних батареях конденсаторів:

$$\Delta R_{кв} = \Delta R_{пит} * Q_{кв} = 0,0045 * 3750 = 168 \text{ кВт}$$

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

де  $\Delta P_{\text{пит}} = 0045$  кВт/квар – питомі втрати потужності в низьковольтних конденсаторах.

Втрати активної потужності у високовольтних батареях конденсаторів:

$$\Delta P_{\text{кн}} = \Delta P_{\text{пит}} * Q_{\text{кн}} = 0,003 * 1400 = 4 \text{ кВт}$$

де  $\Delta P_{\text{пит}} = 003$  кВт/квар – питомі втрати потужності в низьковольтних конденсаторах.

Вартість низьковольтних конденсаторних батарей:

$$K_{\text{кн}} = N_{\text{бк}}^{0i} K_{\text{кку}}^{0i} = 4 * 29 + 4 * 84 = 1532 \text{ тис. грн.}$$

Вартість високовольтних конденсаторних батарей:

$$K_{\text{кв}} = N_{\text{бк}}^{10i} K_{\text{кку}}^{10i} = 2 * 15 = 3078 \text{ тис. грн.}$$

Вартість високовольтних конденсаторних батарей, що встановлені для печей:

$$K_{\text{кв}} = N_{\text{бк}}^{10i} K_{\text{кку}}^{10i} = 2 * 15 + 1 * 66 = 3733 \text{ тис. грн.}$$

Вартість комплектних трансформаторних підстанцій:

$$K_{\text{кТП}} = N_{\text{ТП}(1)} * K_{\text{ТП}(1)} + N_{\text{ТП}(2)} * K_{\text{ТП}(2)} = 2 * 167 + 1 * 627 = 210 \text{ тис. грн.}$$

де  $N_{\text{ТП}(1)}$ ,  $N_{\text{ТП}(2)}$  – кількість відповідно одно- та дво- трансформаторних підстанцій;  $K_{\text{ТП}(1)}$ ,  $K_{\text{ТП}(2)}$  – вартість відповідно одно- та дво- трансформаторних підстанцій.

Розрахункові витрати на компенсацію реактивної потужності :

$$Z_1 = E_{\text{н}} * ( K_{\text{кн}} + K_{\text{кв}} + K_{\text{кТП}} ) + ( \Delta P_{\text{кн}} + \Delta P_{\text{кв}} + \Delta P_{\text{ТП}} ) * C_0 * \tau = 0,12 * ( 1532 + 3078 + 210 ) + ( 4 + 168 + 4 ) * 7,9 * 2506 = 4552 \text{ тис. грн.}$$

$$\text{Варіант II: } N = N_0 + 1 = 5$$

Визначаємо реактивну потужність, яка може бути передана з мережі 10 кВ в мережу 0,4 кВ через цехові трансформатори по (6.5):

$$Q_{\text{н}} = \sqrt{(n \cdot S_m \cdot K_{\text{с}})^2 - P_{\text{н}}^2} = \sqrt{(5 * 1000 * 0)^2 - 2372^2} = 2573 \text{ кВар}$$

Потужність компенсуючих пристроїв які потрібно встановити в мережі 0 кВ визначаємо з умови балансу реактивної потужності на шинах ТП по (6.6):

$$Q_{\text{кн}} = Q_{\text{н}} - Q_{\text{п}} = 2879 - 2573 = 3056 \text{ квар}$$

Приймаємо до встановлення  $Q_{\text{кн}} = 300$  квар, з них

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

БК потужністю 150 квар приймаємо 2 шт.

Уточнюємо значення  $Q_{\Pi} = Q_{\text{н}} - Q_{\text{кн}} = 2879 - 300 = 2579$  квар

Потужність КП, встановлюємих на шинах 10 кВ:

$Q_{\text{кп\_дсп}} = Q_{\text{дсп}} - P_{\text{в}} * \text{tg}\varphi = 2475 - 3300 * 05 = 1980$  кВар

Приймаємо до встановки  $Q_{\text{дчп}}^{10} = 1950$  кВар

БК потужністю 900 квар приймаємо 2 шт.

БК потужністю 150 квар приймаємо 1 шт.

Потужність компенсуючих пристроїв, які необхідно встановити в мережі 10 кВ:

$Q_{\text{кв}} = Q_{\text{р}} - Q_{\text{кн}} - Q_{\text{дчм}}^{10} - Q_{\text{е}} = 6192 - 300 - 1950 - 1018 = 29236$  кВар

Приймаємо до встановки  $Q_{\text{кв}} = 3000$  кВар

БК потужністю 1350 квар приймаємо 2 шт.

БК потужністю 150 квар приймаємо 2 шт.

$Q^{10} = Q_{\text{дчм}}^{10} + Q_{\text{кв}} = 1950 + 3000 = 4950$  кВар

Активні втрати потужності при передачі реактивної енергії через трансформатори цехових ТП:

$\Delta R_{\text{ТП}} = Q_{\text{п}}^2 * R_{\text{ек}} / U_{\text{н}}^2 = 2579^2 * 172 / 10 = 114$  кВт

де  $R_{\text{ек}} = (\Delta R_{\text{кз}} * U_{\text{н}}^2) / (N_{\text{тр}} * S_{\text{нтр}}^2) = (8 * 10^2 / (5 * 1000)) = 17200 * 10^{-6}$  кОм

Втрати активної потужності у низьковольтних батареях конденсаторів:

$\Delta R_{\text{кв}} = \Delta R_{\text{пит}} * Q_{\text{кв}} = 0045 * 4950 = 228$  кВт

де  $\Delta R_{\text{пит}} = 0045$  кВт/квар – питомі втрати потужності в низьковольтних конденсаторах.

Втрати активної потужності у високовольтних батареях конденсаторів:

$\Delta R_{\text{кн}} = \Delta R_{\text{пит}} * Q_{\text{кн}} = 003 * 300 = 0,9$  кВт

де  $\Delta R_{\text{пит}} = 003$  кВт/квар – питомі втрати потужності в низьковольтних конденсаторах.

Вартість низьковольтних конденсаторних батарей:

$K_{\text{кн}} = N_{\text{бк}}^0 i \quad K_{\text{кк}}^0 i = 2 * 28 = 5682$  тис. грн.

Вартість високовольтних конденсаторних батарей:

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

$$K_{кв} = N_{бк}^{10i} K_{кку}^{10i} = 2 * 15 + 2 * 66 = 4388 \text{ тис. грн.}$$

Вартість високовольтних конденсаторних батарей, що встановлені для печей:

$$K_{кв} = N_{бк}^{10i} K_{кку}^{10i} = 2 * 21 + 1 * 66 = 4889 \text{ тис. грн.}$$

Вартість комплектних трансформаторних підстанцій:

$$K_{ктп} = N_{тп(1)} * K_{тп(1)} + N_{тп(2)} * K_{тп(2)} = 1 * 167 + 2 * 627 = 1421 \text{ тис. грн.}$$

Розрахункові витрати на компенсацію реактивної потужності по:

$$Z_2 = E_n * (K_{кн} + K_{кв} + K_{ктп}) + (\Delta P_{кн} + \Delta P_{кв} + \Delta P_{тп}) * C_o * \tau = 0,12 * (5682 + 4388 + 1421) + (0,9 + 228 + 114) * 7,9 * 2506 = 8869 \text{ тис. грн.}$$

Таблиця 6.1 Баланс реактивної потужності

Показники	Варіант I	Варіант II
Потужність КП в мережі 0,4 кВ	1400	300
Потужність КП в мережі 10 кВ	3750	4950
Споживання реактивної потужності	1018	1018
Всього за умовою балансу	6168	6268
Затрати на компенсацію	4552	8869

Як видно із розрахунку, перший варіант, має менші затрати, тому приймаємо його для подальшого проектування. Виконувати розрахунок для варіанту  $N = N_0 + 2$  немає сенсу, так як у другому варіанті приведені витрати вже перевищують перший варіант.

## 6.2. Вибір кількості та місць розташування компенсуючих пристроїв

Для обраного варіанту системи електропостачання з чотирма трансформаторними підстанціями (ТП) виконується розрахунок реактивної потужності, яку можливо передати через трансформатори в мережу низької напруги (0,4 кВ), а також визначається необхідна потужність компенсуючих пристроїв (КП), що встановлюються на кожній ТП.

Оптимальне розміщення низковольтних КП залежить від низки техніко-економічних та експлуатаційних чинників, зокрема: величини локального

										Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата						42

навантаження, конфігурації мережі, вартості обладнання, втрат потужності та напруги.

Для ТП-1 визначається допустима реактивна потужність, яка може бути передана через трансформатори в мережу 0,4 кВ:

$$Q_{\Pi} = \sqrt{(NK_3 S_{н.т.} - P_p^2)} = \sqrt{(1 \cdot 0,7 \cdot 1000)^2 - 696,4^2} = 270 \text{ квар}$$

$$Q_{кн} = Q_p - Q_{\Pi} = 692 - 270 = 422 \text{ квар}$$

Приймаємо стандартні батареї потужність  $Q_{нб} = 200$  квар в кількості  $N=2$  шт Розрахунки по інших ТП подібні. Результати розрахунку для інших ТП виконуються аналогічно.

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

## **РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКИХ ЗАМКНЕНЬ ТА ВИБІР ВИСОКОВОЛЬТНОГО ОБЛАДНАННЯ І ВИСОКОВОЛЬТНИХ МЕРЕЖ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ.**

Розрахунок струмів короткого замикання (КЗ) виконується з метою вибору та перевірки електричних апаратів, налаштування уставок релейного захисту та автоматичних пристроїв. При цьому основним розрахунковим випадком для перевірки провідників та апаратів на динамічну і термічну стійкість є трифазне коротке замикання.

У розрахунку визначаються діючі значення періодичної складової струму короткого замикання — надперехідний струм КЗ; ударний струм КЗ для розрахункових точок схеми.

Розрахунок струмів КЗ виконується на основі розрахункової схеми в однолінійному зображенні, яка включає всі джерела живлення, що впливають на струм у точці замикання, а також усі елементи електропостачальної системи (трансформатори, повітряні або кабельні лінії, реактори), розташовані між джерелами та місцем КЗ.

На основі розрахункової схеми складається схема заміщення, у якій усі елементи замінюються їхніми еквівалентними опорами. Подальше спрощення цієї схеми дозволяє отримати еквівалентну схему одного ланцюга КЗ.

Для розрахунку струмів к. з. складаємо розрахункову схему для ГПП яка зображена на рис. 7.1 та розрахункову схему заміщення яка зображена на рис. 7.2.

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата					44

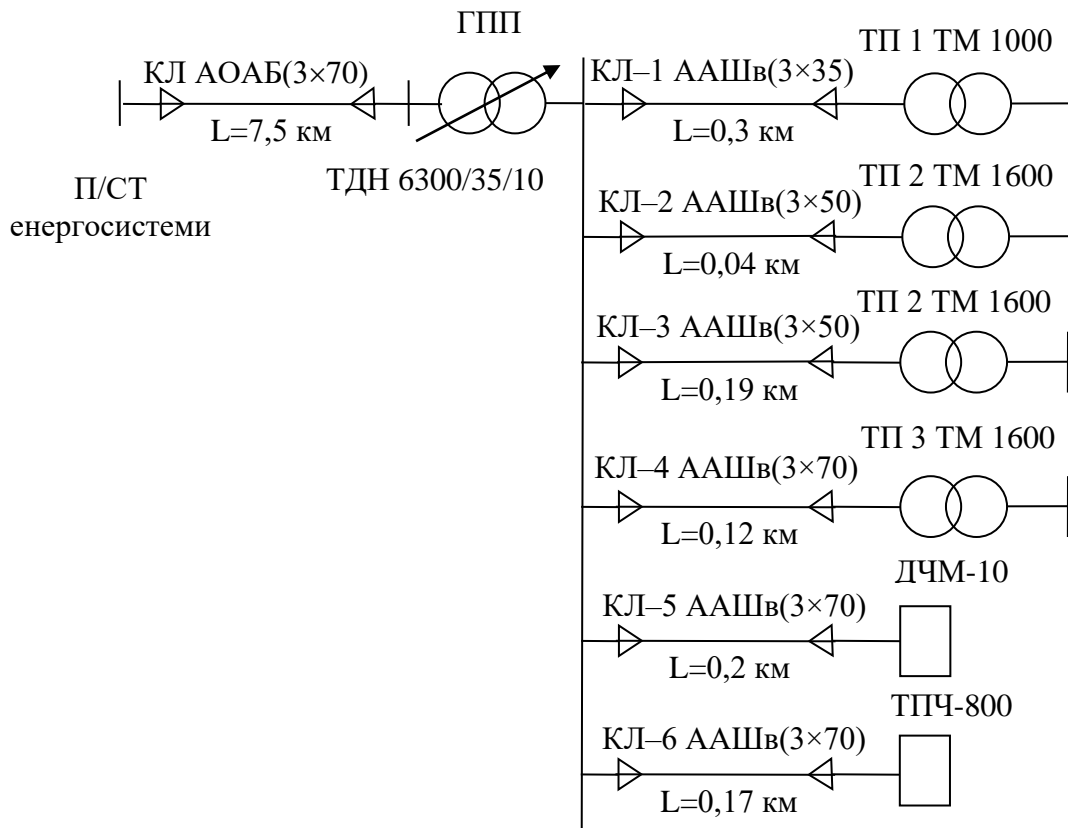


Рис 7.1 Розрахункова схема ГПП для розрахунку струмів КЗ

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

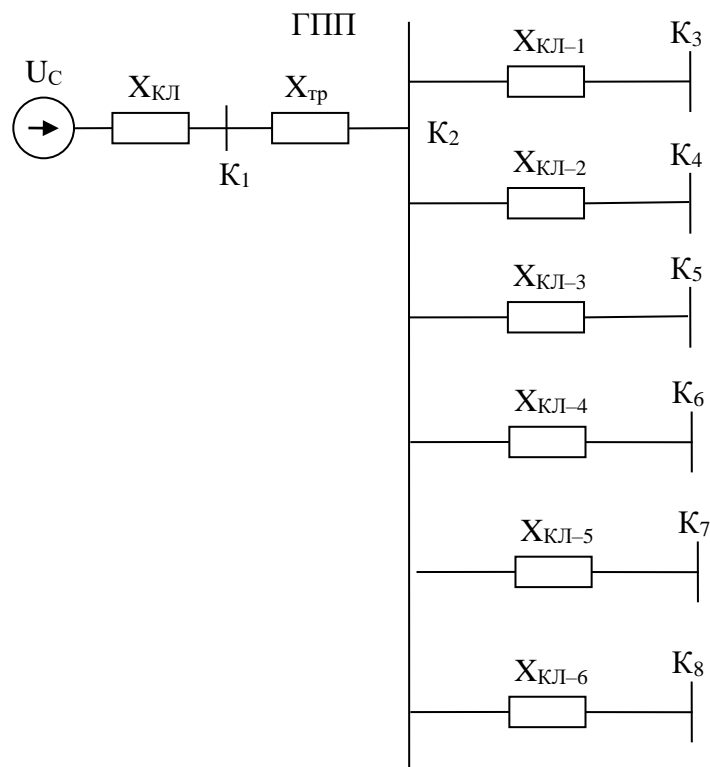


Рис 7.2 Схема заміщення ГПП для розрахунку струмів к. з.

Розрахуємо опори елементів схеми заміщення:

– опір енергосистеми

$$X_c = \frac{U_{сн}^2}{S_{кз}} = \frac{35^2}{125} = 1,2 \text{ Ом}$$

– для трансформатора ТМН 6300/35/10

$$U_{вн}=35 \text{ кВ } U_{нн}=11 \text{ кВ}$$

$$\Delta P_{кз}=46,5 \text{ кВт } U_{к1-2}=7,5 \%$$

Реактивний опір

$$X = \frac{U_k \% U_n^2}{100 \cdot S_n} = \frac{7,5 \cdot 35^2}{100 \cdot 6300} = 14,6 \text{ Ом}$$

– для КЛ від п/ст. енергосистеми до ГПП

$$X = x_0 l = 0,44 \cdot 7,5 = 3,3 \text{ Ом}$$

– для КЛ від ГПП до ТП 1

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

$$X = x_0 l = 0,087 \cdot 0,24 = 0,02 \text{ Ом}$$

Розрахуємо струм к.з. в т. К1.

Струм від енергосистеми

$$I'' = \frac{U_H}{\sqrt{3}X_{екв}} = \frac{35}{\sqrt{3} \cdot 4,6} = 5,0 \text{ кА}$$

$$X_{екв} = X_C + X_{КЛ} = 1,3 + 3,3 = 4,6 \text{ Ом}$$

Ударний струм к. з. від системи

$$i_y = \sqrt{2}I''(1 + e^{\frac{-0,01}{T_a}}) = \sqrt{2} \cdot 5 \cdot (1 + e^{\frac{-0,01}{0,002}}) = 7,2 \text{ кА}$$

Розрахуємо струм к.з. в т. К2.

Струм від енергосистеми

$$I'' = \frac{U_H}{\sqrt{3}X_{екв}} = \frac{35}{\sqrt{3} \cdot 19,2} = 1,45 \text{ кА}$$

$$X_{екв} = X_C + X_{КЛ} + X_{тр} = 1,3 + 3,3 + 14,6 = 19,2 \text{ Ом}$$

Приводимо значення струму до напруги 10 кВ:

$$I''_{нн} = I'' \frac{U_{ВН}}{U_{нн}} = 1,45 \frac{35}{10} = 4,64 \text{ кА}$$

Ударний струм к. з. від системи

$$i_y = \sqrt{2}I''(1 + e^{\frac{-0,01}{T_a}}) = \sqrt{2} \cdot 4,65(1 + e^{\frac{-0,01}{0,013}}) = 9,62 \text{ кА}$$

Розрахунки струмів короткого замкнення для інших точок подібні результати розрахунку зведені в Табл. 8.1.

Таблиця 8.1 Розрахунок струмів короткого замкнення.

№ т. к. з.	$X_C$ , Ом	$X_{КЛ}$ , Ом	$X_{тр}$ , Ом	$X_{КЛ-10}$ , Ом	$I''$ , кА	$K_y$	$i_y$ , кА
1	1,3	3,3	-	-	5	1,45	7,16
2	1,3	2,35	14,6	-	4,62	1,45	9,59
3	1,3	3,3	14,58	0,02	4,5	1,45	9,43
4	1,3	3,3	14,58	0,01	4,51	1,45	9,47
5	1,3	3,3	14,58	0,02	4,6	1,45	9,53
6	1,3	3,3		0,02	4,5	1,45	9,43
7	1,3	3,3		0,0124	4,5	1,45	9,43
8	1,3	3,3		0,0124	4,51	1,45	9,47

## 7.1. Вибір електричного обладнання

Вибір кабелів напругою 10 кВ для високовольтної мережі . Згідно з ПУЕ переріз кабелю повинен перевірятися за економічною щільністю струму.

Виберемо кабель для лінії (КЛ-1) від ГПП до ТП №1.

Площа поперечного перерізу кабелю :

$$F_e = \frac{I_p}{J_{ек}} = \frac{45,4}{1,4} = 32 \text{ мм}^2$$

$$\text{де } I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3}U_n} = \frac{785}{\sqrt{3} \cdot 10} = 45,4 \text{ А}$$

Приймається кабель ААШв (3×35) мм<sup>2</sup> з допустимим струмом I<sub>доп</sub> = 80А.

Перевірка кабелю за допустимим струмовим навантаженням:

$$I_p \leq I_{\text{доп}} \quad 45,3 \leq 80 \text{ А}$$

$$I_{\text{доп}} = K_{\text{П}} I'_{\text{доп}} \quad I_{\text{доп}} = 1 \cdot 80 = 80 \text{ А}$$

де K<sub>П</sub> – коефіцієнт, який враховує зниження допустимого струмового навантаження за таблицею [6]

Мінімальна площа поперечного перерізу кабелю за умовою термічної стійкості:

$$F_{\text{min}} = \frac{1}{C} \sqrt{B_k} = \frac{1}{92} \sqrt{11,2 \cdot 10^6} = 35,2 \text{ мм}^2$$

де С – термічний коефіцієнт; для алюмінієвих кабелів С = 92А · с<sup>1/2</sup> / мм<sup>2</sup>;

B<sub>к</sub> – тепловий імпульс:

$$B_k = I_{\text{н.о.}}^2 (t_{\text{отк}} + T_a) = 4,64^2 (0,505 + 0,013) = 11,1 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

Інші кабелі системи електропостачання заводу обираються аналогічно, розрахунки зводяться до таблиці 8.2.

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

Таблиця 8.2. Вибір кабельних ліній 10 кВ для заводської мережі

№ К/Л	$n$ , шт	$S_p$ , МВА	$I_p$ , А	$I_{p.ок}$ , А	$F_{ок}$ , мм <sup>2</sup>	$B_k$ , кА <sup>2</sup> С	$F_{min}$ , мм <sup>2</sup>	Марка кабелю	$I_{доп}$ , А	$K_n$	$K_n I_{доп}$ , А	$K_{ок}$	$K_n$	$K_{ок} K_n I_{доп}$ , А
1	1	784,5312	45,29	-	32,35	11,2	35,2	ААШВ - 1 x (3 x 35)	80	1	80	-	-	-
2	1	897,4979	51,82	-	37,01	11,2	35,2	ААШВ - 1 x (3 x 35)	80	1	80	-	-	-
3	2	2552,08	73,67	147,34	52,62	11,2	35,2	ААШВ - 2 x (3 x 70)	130	0,92	119,6	1,25	1	162,5
4	1	1687,5	97,43	-	69,59	11,2	35,2	ААШВ - 1 x (3 x 50)	105	1	105	-	-	-
5	1	750	43,3	-	30,93	11,2	35,2	ААШВ - 1 x (3 x 35)	80	1	80	-	-	-
6	1	450	25,98	-	18,56	11,2	35,2	ААШВ - 1 x (3 x 35)	80	1	80	-	-	-
7	2	1847,595	53,34	106,68	38,1	11,2	35,2	ААШВ - 2 x (3 x 50)	105	0,92	96,6	1,25	1	131,25
3-2	1	1385,696	80	-	57,14	11,2	35,2	ААШВ - 1 x (3 x 35)	80	1	80	-	-	-
4	2	922,0199	26,62	53,24	19,01	11,2	35,2	ААШВ - 2 x (3 x 35)	80	0,92	73,6	1,25	1	100

## 7.2. Вибір високовольтного обладнання

Вибір вимикачів виконується по важливішим параметрам:

- по напрузі встановлення
- по тривалому струму
- по відключаючій здатності

На вводі 35 кВ встановлюються вакуумні вимикачі типу ВРС-35.

Розрахунки по вибору та перевірці вимикача приведені в таблиці 7.3.

Таблиця 7.3. Вибір вимикачів 35 кВ на вводах.

Параметри мережі	Розрахункові формули	Параметри вимикача
35 кВ	$U_{уст} \leq U_{ном}$	35 кВ
114 А	$I_{роб.форс} \leq I_{ном}$	630 А
5,0 кА	$I_K \leq I_{динс}$	52 кА
7,16 кА	$i_y \leq 1,8\sqrt{2}I_{динс}$	132 кА
5,0 кА	$I_{пт} \leq I_{номвідкл}$	20 кА
0,25 кА	$\sqrt{2}I_{номт} + i_{ат} \leq \sqrt{2}I_{нвідкл} (1 + \beta_n)$	$\sqrt{2} \cdot 20 \cdot (1 + 0,5) = 42,426 \text{ кА}$
$B_k = 26,06 \text{ кА}^2 \text{ с}$	$B_k \leq I_{тер}^2 t_{тер}$	$I_{тер}^2 t_{тер} = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2 \text{ с}$

$$i_{ат} = \sqrt{2}I''e^{-\frac{\tau}{T_a}} = \sqrt{2} \cdot 5,03e^{-\frac{0,01}{0,025}} = 0,25 \text{ кА}$$

На вводі 10 кВ встановлюються вакуумні вимикачі типу ВР-1

Розрахунки по вибору та перевірці вимикача приведені в таблиці 7.4.

Таблиця 7.4. Вибір вимикачів 10 кВ на вводах.

Параметри мережі	Розрахункові формули	Параметри вимикача
10 кВ	$U_{уст} \leq U_{ном}$	10 кВ
399 А	$I_{роб.форс} \leq I_{ном}$	630 А
4,62 кА	$I_K \leq I_{динс}$	20 кА
9,58 кА	$i_y \leq 1,8\sqrt{2}I_{динс}$	132 кА
4,62 кА	$I_{пт} \leq I_{номвідкл}$	20 кА
8,49 кА	$\sqrt{2}I_{номт} + i_{ат} \leq \sqrt{2}I_{нвідкл} (1 + \beta_n)$	$\sqrt{2} \cdot 20 \cdot (1 + 0,5) = 42,426 \text{ кА}$
$B_k = 22,1 \text{ кА}^2 \text{ с}$	$B_k \leq I_{тер}^2 t_{тер}$	$I_{тер}^2 t_{тер} = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2 \text{ с}$

В якості секційного вимикача встановлюємо вимикач типу ВР-1-20/630.  
Розрахунки по вибору та перевірці вимикача приведені в таблиці 7.5.

Таблиця 7.5. Вибір секційного вимикачів 10 кВ.

Параметри мережі	Розрахункові формули	Параметри вимикача
10 кВ	$U_{уст} \leq U_{ном}$	10 кВ
194 А	$I_{роб.форс} \leq I_{ном}$	630 А
4,62 кА	$I_K \leq I_{динс}$	20 кА
9,59 кА	$i_y \leq 1,8\sqrt{2}I_{динс}$	132 кА
4,62 кА	$I_{пт} \leq I_{номв\ddot{и}дкл}$	20 кА
8,49 кА	$\sqrt{2}I_{номт} + i_{ат} \leq \sqrt{2}I_{нв\ddot{и}дкл} (1 + \beta_n)$	$\sqrt{2} \cdot 20 \cdot (1 + 0,5) = 42,426кА$
$B_k = 22,1 кА^2с$	$B_k \leq I_{тер}^2 t_{тер}$	$I_{тер}^2 t_{тер} = 20^2 \cdot 3 = 1200кА^2с$

На лініях, що відходять до ТП від ГПП встановлені такі ж самі вимикачі.  
Перевірка вимикачів приведена в Табл. 7.6.

Таблиця 7.6. Вибір вимикачів на лініях до ТП.

Параметри мережі	Розрахункові формули	Параметри вимикача
10 кВ	$U_{уст} \leq U_{ном}$	10 кВ
129,5А	$I_{роб.форс} \leq I_{ном}$	630 А
4,65 кА	$I_K \leq I_{динс}$	20 кА
9,62 кА	$i_y \leq 1,8\sqrt{2}I_{динс}$	132 кА
4,62 кА	$I_{пт} \leq I_{номв\ddot{и}дкл}$	20 кА
8,49 кА	$\sqrt{2}I_{номт} + i_{ат} \leq \sqrt{2}I_{нв\ddot{и}дкл} (1 + \beta_n)$	$\sqrt{2} \cdot 20 \cdot (1 + 0,5) = 42,426кА$
$B_k = 22,1 кА^2с$	$B_k \leq I_{тер}^2 t_{тер}$	$I_{тер}^2 t_{тер} = 20^2 \cdot 3 = 1200кА^2с$

#### Вибір розрядників .

Захист від атмосферних і внутрішніх перенапруг здійснюється встановленням розрядників. Приймаємо до установки розрядники:

ОПН-35 для напруги 35 кВ;

ОПН-10 для напруги 10 кВ.

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

### 7.3. Вибір трансформаторів власних потреб.

Потужність трансформаторів власних потреб обирається відповідно до розрахованого навантаження системи власних потреб із урахуванням коефіцієнтів завантаження та одночасності

Навантаження власних потреб визначається за орієнтовними даними щодо встановленого електрообладнання. Для електродвигунів приймається типовий питомий показник потужності, за яким визначаються встановлені активна та реактивна потужності.

Розрахункове навантаження:

$$S_{\text{розр}} = K_C \sqrt{(P_{\text{встр}}^2 + Q_{\text{встр}}^2)},$$

де  $K_C$  – коефіцієнт попиту, що враховує коефіцієнти одночасності та завантаження ( $K_C = 0,8$ ).

Потужність трансформатора обирається за умовою:

$$S_{\text{тр}} \geq \frac{S_{\text{розр}}}{1,4}$$

Таблиця 7.7. Навантаження власних потреб.

№ п/п	Споживач	P, кВт
1	Обігрів комірок КРП 10 кВ.	12
2	Освітлення і вентиляція приміщення КРП	5
3	Навантаження яке споживають оперативні кола	2
<i>Всього</i>		19

Обираємо трансформатор ТМ – 25/10 з такими параметрами:

$S_{\text{ном}} = 25$  кВА,  $U_{\text{вн}} = 10$  кВ,  $U_{\text{нн}} = 0,4$  кВ,  $\Delta P_{\text{xx}} = 0,125$  кВт,  $\Delta P_{\text{к}} = 0,6$  кВт,

$U_{\text{к}} = 4,5\%$ ,  $I_{\text{xx}} = 3,2\%$ .

Коефіцієнт завантаження:

$$1. K_z = \frac{S_{\text{роз}}}{S_{\text{ном}}} = \frac{19}{25} = 0,76.$$

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

## 8. РОЗРОБКА СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ОБЛІКУ

У процесі становлення ринкових відносин в економіці України виникла нагальна потреба у точному та достовірному обліку виробленої і спожитої енергії та енергоресурсів, а також у контролі та ефективному управлінні їх використанням у виробничій діяльності з метою зниження енергетичної складової в структурі собівартості продукції.

Сучасні прилади з широким спектром функціональних, обчислювальних і комунікаційних можливостей дозволяють реалізувати техніко-економічно збалансовані комплексні рішення для обліку та управління споживанням різних видів енергоресурсів — електричної та теплової енергії, води, пари, природного газу. Такі рішення можуть бути адаптовані до територіальних, технологічних та виробничих особливостей конкретного об'єкта.

Запропонована структура автоматизованої системи контролю та обліку електроенергії (АСКОЕ) призначена для організації комерційного та технічного обліку електричної енергії на об'єктах енергетики, промисловості, транспорту, а також у комунально-побутовому секторі.

Комерційний облік електроенергії здійснюється відповідно до договірних умов між постачальником та споживачем:

- за оптовими (погодинними) тарифами;
- за одноставковими тарифами, диференційованими за зонами доби;
- або за іншими варіантами тарифікації, передбаченими нормативними актами та умовами контракту.

### 8.1. Структура АСКУЕ

Автоматизована система контролю та обліку електроенергії (АСКОЕ) підприємства інтегрується в систему вищого рівня, забезпечуючи інформаційну взаємодію як безпосередньо з пристроями обліку нижнього рівня, так і через обмін даними між базами даних із використанням інтерфейсів SQL/ODBC, DDE або засобів електронної пошти.

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

Верхній рівень АСКОЕ реалізується на базі локальної обчислювальної мережі, що включає сервер бази даних, комунікаційне обладнання, автоматизовані робочі місця технічного й адміністративного персоналу. Залежно від масштабів об'єкта, апаратура верхнього рівня може варіюватися — від однієї ПЕОМ типу IBM PC до розподіленої обчислювальної системи з кількома серверами та десятками АРМ.

АСКОЕ має можливість взаємодії з суміжними автоматизованими системами — розрахунків із споживачами, диспетчерського управління тощо — які працюють як клієнти бази даних системи, обмінюючись інформацією через інтерфейс SQL/ODBC.

Нижній рівень системи реалізує збір та передачу даних щодо електроспоживання, споживання води, тепла, газу як окремими підрозділами, так і підприємством у цілому. Обладнання функціонує в автоматичному режимі без участі персоналу. Основу нижнього рівня складають інтелектуальні лічильники GAMA 300, об'єднані в локальну мережу через пристрої збору даних COM 300. Також допускається використання інших сумісних пристроїв зі стандартними інтерфейсами.

Обмін даними між рівнями системи забезпечується через виділені лінії зв'язку та протоколи TCP/IP. Для взаємодії нижнього та верхнього рівнів застосовуються протоколи пристроїв обліку.

Для впровадження на підприємстві запропоновано автоматизовану систему збору даних на базі лічильників GAMA 300 та пристрою COM 300. Система забезпечує ефективний комерційний та технічний облік електроенергії в межах електромережі промислового підприємства.

Усі лічильники та датчики, встановлені для технічного та комерційного обліку, передають дані про споживання енергоресурсів (електроенергії, води, пари, природного газу) на сервер локального рівня за допомогою цифрових каналів зв'язку. Сервер, розміщений на підприємстві, виконує функції збору, зберігання та обробки інформації щодо фактичного енергоспоживання.

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата					54

Сервер інтегрований у локальну обчислювальну мережу підприємства та має з'єднання з відділом ПТО і службою головного енергетика. Крім того, передача даних можлива через GSM-модем за умови коректного формування запитів з відповідними кодами доступу.

Оскільки довжина каналів зв'язку між пристроями не перевищує 300 метрів, використання модемів для передачі даних у межах локальної інфраструктури не передбачається.

## 8.2. Підсистема обліку

Підсистема АСКОЕ реалізується на базі приладів обліку, в яких як первинні вимірювальні перетворювачі (ПВ) використовуються лічильники електричної енергії. ПВ формують результати вимірювань (первинні дані) та зберігають їх у необробленому вигляді для подальшої передачі та обробки.

Як пристрій збору даних застосовується «СОМ 300», який забезпечує зчитування показників технічного та комерційного обліку та передачу даних від пристрою збору (СОМ 300) до центрального сервера збору інформації.

У разі реалізації спрощеної конфігурації можлива відмова від використання пристрою збору даних. У такому випадку для підключення лічильників до ПК, який виконує функції сервера АСКОЕ, необхідне встановлення інтерфейсного перетворювача RS-485/RS-232, що забезпечує комутацію з портом комп'ютера. Структурну схему такої системи наведено на рис. 8.1.

Облік електроенергії здійснюється за каналами обліку, кожен з яких відповідає окремому напрямку активної або реактивної енергії. Наприклад, лічильнику, що забезпечує двонаправлений облік активної та реактивної енергії, відповідають чотири канали обліку.

Група обліку визначається як алгебраїчна сума значень параметрів усіх каналів, що дає загальне значення енергії з урахуванням її споживання та віддачі.

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата					55



Рис. 8.1. Зв'язок з групою лічильників через провідне з'єднання

Наявність незалежних інформаційних каналів на основі послідовних інтерфейсів (CAN, RS-485), GSM-зв'язку та PLC-мережі дає змогу реалізовувати різноманітні конфігурації АСКОЕ, забезпечуючи одночасний доступ як постачальника, так і споживача до первинних облікових даних.

Лічильники комерційного обліку електричної енергії GAMA 300 G3B 144 призначені для вимірювання активної та реактивної електроенергії й потужності у двох напрямках у трифазних трьох- та чотирипровідних мережах змінного струму частотою 50 Гц. Облік може здійснюватися як через вимірювальні трансформатори, так і безпосередньо, з можливістю тарифікації за зонами доби, фіксації втрат та передачі вимірювань до центрів збору даних через цифрові або бездротові канали зв'язку.

Функціональні можливості лічильників включають:

облік активної та реактивної енергії у загальному (однотарифному) режимі сумарно по всіх фазах або поканальний облік активної енергії (опціонально);

вимірювання миттєвих значень активної (P), реактивної (Q) та повної (S) потужності по фазах і в цілому по системі;

визначення напрямку вектора повної потужності;

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

вимірювання фазних струмів (I), напруг (U), частоти (f), коефіцієнта потужності ( $\cos \varphi$ ), та міжфазних кутів зсуву напруг.

Зчитування параметрів і накопичених даних здійснюється за допомогою зовнішнього комп'ютера через інтерфейси CAN або RS-485, відповідно до переліку параметрів, наведеного у таблиці 8.3.

Таблиця 8.3. Технічні характеристики лічильника

Назва параметрів	Показники
Клас точності при вимірюванні	
- Активної енергії	0,5S або 1,0
- Реактивної енергії	1,0 або 2,0
Номінальна напруга, В	3*100
- Для ІНОМ (МАКС) = 5 (7,5) А, УНОМ = 57,7 або 230В	0,005
- Для ІНОМ = 5А	150
- По інтерфейсу CAN і RS-485;	1200- 9600
- Через GSM модем;	9600
- Через інфракрасний порт;	9600
Активна / повна споживана потужність кожної паралельним ланцюгом лічильника, Вт / ВА не більше	0,5 / 7,5
Діапазон температур, ° С	от -40 до +55
для УНОМ 57,7 В, ІНОМ 5 А	
кількість тарифів	1
Максимальний струм у плині 0,5 с, А	
Міжпіврічний інтервал, років	10
Номінальний (макс) струм, А	5(7,5);)
Передавальне число основного / піврічного виходу, імп / кВт, імп / кВар:	
Повна потужність, спожита ланцюгом струму не більше, В * А	0,1
Маса, кг	не более 1,5
Гарантія виробника, років	3

### 8.3. Підсистема збору і передачі даних

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

Підсистема включає комплекс програмно-технічних засобів, які забезпечують обмін інформацією між підсистемами вимірювання та збору даних. Передача даних реалізується через різноманітні канали зв'язку:

- фізичні лінії (пара, подвійна пара) довжиною до 10 км зі швидкостями від 300 бод до 1 Мбод;
- радіоканал на частоті 154,2 МГц із корекцією помилок;
- канали існуючої телемеханічної апаратури із інтерфейсом RS-232;
- послідовні інтерфейси RS-232, RS-485, M-Bus, струмова петля;
- виділені та комутовані телефонні канали внутрішнього та загального користування;
- лінії живлення 220 В змінного струму;
- локальні обчислювальні мережі стандарту Ethernet.

Для зв'язку з персональним комп'ютером застосовується інтерфейсний перетворювач, який створює послідовні канали комунікації для обладнання АСКОВЕ та систем промислової автоматизації. Перетворювач дозволяє підключати один або кілька електрорічильників GAMA 300 з вбудованим інтерфейсом CAN.

Підключення здійснюється роз'ємом DB-9F до вільного СОМ-порту ПК. У корпусі роз'єму DB-9F розміщена схема адаптера. Живлення перетворювача подається через роз'єм клавіатури ПК, який підключається до відповідного гнізда перетворювача.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		58

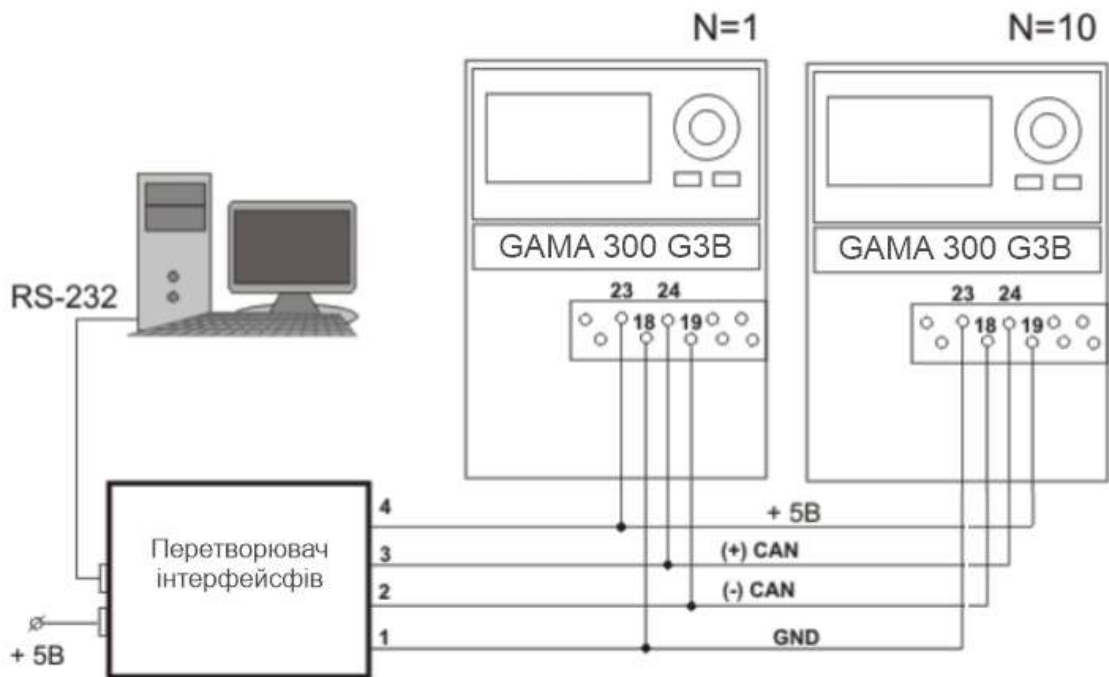


Рис. 8.2. Інтерфейсні підключення без зовнішнього джерела живлення



Рис. 8.3. Вигляд COM 300.

Пристрій COM 300 представляє собою багатофункціональний термінал для автоматизованого збору інформації з електролічильників комерційного та технічного призначення. Система забезпечує реєстрацію параметрів активної та реактивної енергії в двонаправленому режимі з формуванням профілів навантаження та підтримкою GPRS-зв'язку через статичну або динамічну IP-адресацію. На рис 8.4. Представлена схема підключення приладів з RS -485 до ПЕОМ

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата

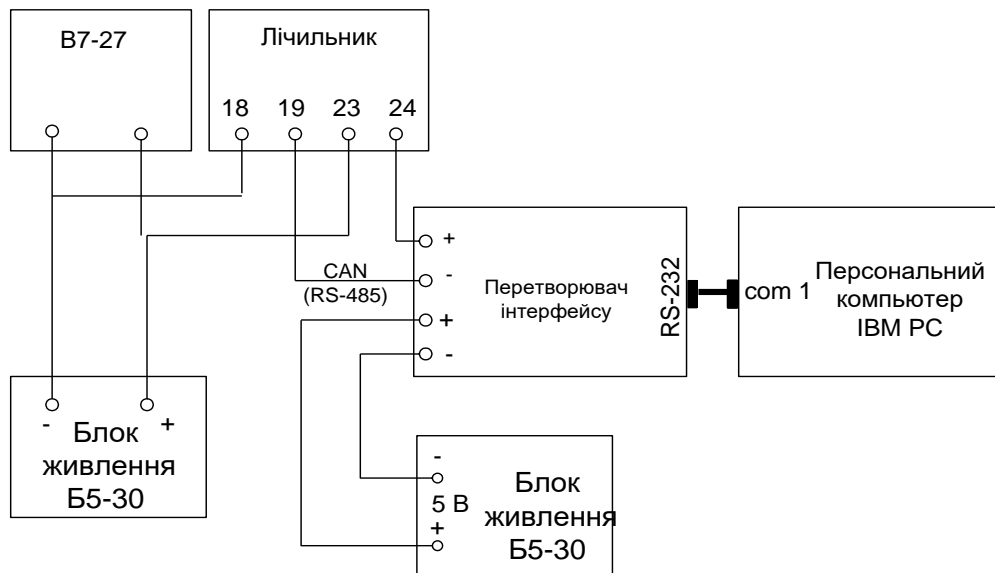


Рис 8.4. Блок-схема підключення лічильників до ПЕОМ

#### 8.4. Вибір електричних схем підключення лічильників та вибір трансформаторів струму та трансформаторів напруги

Встановлюємо трансформатори струму в фазах А і С, так як мережі 10 та 35 кВ працюють з ізольованою нейтраллю

##### *Вибір трансформаторів струму*

На стороні 35 кВ встановлюємо трансформатори струму типу ТФЗМ – 35А – У1 на клас точності 0,5 з такими параметрами:  $U_n = 35$  кВ,  $I_{ном.1} = 400$  А,  $I_{ном.2} = 5$  А,  $Z_{2н} = 2,0$  Ом,  $I_{тер} = 22$  кА,  $i_{дин} = 127$ кА,  $t_{тер} = 3$  с

Таблиця 8.4. Вибір трансформатора струму на 35 кВ.

Параметри мережі	Розрахункова формула	Параметри трансформатора
35 кВ	$U_{уст} \leq U_{ном}$	35 кВ
120,7 А	$I_{max} \leq I_{1 ном}$	400 А
6,74 кА	$i_y \leq i_{ел дин}$	127 кА
$20,5 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$V_k \leq I_{терм}^2 t_{терм}$	$22^2 \cdot 3 = 1452 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

На стороні 10 кВ на вводах від силових трансформаторів вибираємо вимірювальні трансформатори струму ТПЛ –10 – 1 У3,  $K_T = 600/5$

Таблиця 8.5. Вибір трансформатора струму на вводах за трансформаторами 10 кВ.

Параметри мережі	Розрахункова формула	Параметри трансформатора
10 кВ	$U_{уст} \leq U_{ном}$	10 кВ
422 А	$I_{max} \leq I_{I ном}$	600 А
19,2 кА	$i_y \leq i_{ел дин}$	128 кА
$171,76 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$W_k \leq I^2_{терм} t_{терм}$	$40^2 \cdot 3 = 4800 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Для перевірки трансформатора струму по вторинному навантаженню, користуючись схемою включення та каталожними даними приладів, визначаємо навантаження по фазах:

Таблиця 8.6. Розрахунок вторинного навантаження трансформаторів струму

Прилад	Клас точності	Навантаження фази, ВА		
		А	В	С
Лічильник ГАМА 300 G3В 144.	0,2	0,1	0,1	0,1
Амперметр Е335	1,0	0,5	-	-
Всього		0,6	0,1	0,1

З таблиці 8.6. видно, що найбільше завантажений трансформатор струму фази А. Загальний опір приладів:

$$Z_{прил} = S_{прил} / I_2^2 = 0,6 / 5^2 = 0,024 \text{ Ом.}$$

Опір з'єднувальних проводів складає:

$$r_{пр} = \rho l_{розрах} / q = 0,0175 \cdot 6,93 / 2,5 = 0,05 \text{ Ом,}$$

де  $\rho = 0,0175 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$  – питомий опір мідних проводів;  $l_{розрах} = \sqrt{3} \cdot l = \sqrt{3} \cdot 4 = 6,9 \text{ м}$  – розрахункова довжина при схемі включення трансформаторів струму в неповну зірку;  $q = 2,5 \text{ мм}^2$  – переріз з'єднувальних проводів.

Приймаємо опір контактних з'єднань  $r_k = 0,05 \text{ Ом}$ . Тоді вторинний опір трансформатора струму  $Z_2 = Z_{прил} + r_k + r_{пр} = 0,024 + 0,05 + 0,05 = 0,125 \text{ Ом}$ .

Умова  $Z_2 \leq Z_{2 ном}$  виконується  $0,125 < 0,4$ .

На лініях, що відходять до ТП встановлюємо трансформатори струму ТЛК-10- 1 У3 (  $K_T = 200/5$ ).

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

Перевіряємо трансформатори струму по вторинному навантаженню, розрахунки зведено до таблиці 8.7.

Таблиця 8.7. Розрахунок вторинного навантаження трансформаторів струму

Прилад	Клас точності	Навантаження фази, ВА		
		А	В	С
Лічильник активної та реактивної енергії	0,5	0,1	-	0,1
Амперметр Е335	1,0	0,5	-	-
Ватметр Д335	1,5	0,5	-	0,5
Варметр Д335	1,5	0,5	-	0,5
Всього		1,6	-	1,1

З таблиці 8.7. видно, що найбільш завантажений трансформатор струму фази А. Загальний опір приладів:

$$z_{\text{прил}} = S_{\text{прил}} / I_2^2 = 1,6 / 5^2 = 0,06 \text{ Ом.}$$

Опір з'єднувальних проводів:

$$r_{\text{пр}} = \rho l_{\text{розрах}} / q = 0,0175 \cdot 6,9 / 2,5 = 0,05 \text{ Ом.}$$

Приймаємо опір контактних з'єднань  $r_k = 0,1 \text{ Ом.}$

Вторинний опір трансформатора струму:

$$z_2 = z_{\text{прил}} + r_k + r_{\text{пр}} = 0,06 + 0,1 + 0,05 = 0,21 \text{ Ом.}$$

Всі перелічені прилади підключаємо встановленого трансформатора струму, тоді умова  $z_2 \leq z_{2\text{ном}}$  виконується:  $0,21 < 0,4 \text{ Ом}$

### Вибір трансформаторів напруги.

На шинах 10 кВ ГЗП приймаємо до встановлення трансформатори напруги типу НАМИ - 10 , який в класі точності 0,5 має номінальну потужність 120 В·А. Розрахунок вторинного навантаження трансформаторів напруги зводимо до таблиці 8.8.

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

Таблиця 8.8. Розрахунок вторинного навантаження трансформаторів напруги

Прилад	Тип	Кіль-ть	S, В·А	Загальна потужність	
				$\Sigma P$ , Вт	$\Sigma Q$ , вар
Вольтметр (шини 10кВ)	E335	1	2	2	-
Лічильник на вводі	GAMA 300 G3B 144.	1	6,5	0,5	7,48
Лічильник на відходящих лініях	GAMA 300	4	6,5	2	29,9
Всього:				4,5	37,4

Перевіряємо обрані трансформатори напруги по вторинному навантаженню. Вторинне навантаження трансформатора напруги:

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{(\Sigma P^2 + \Sigma Q^2)} = \sqrt{(4,5 + 37,4^2)} = 38 \text{ В}\cdot\text{А}$$

Оскільки номінальна потужність трансформатора в класі точності

0,5  $S_{2 \text{ ном}} = 120 \text{ ВА} > 38 \text{ ВА}$ , то трансформатор напруги задовольняє умовам вибору.

## ВИСНОВОК

В роботі було виконано проектування системи електропостачання ВАТ «Одеський завод сільськогосподарського машинобудування»

Були проведені розрахунки електричних навантажень до і вище 1000 В для визначення розрахункового навантаження підстанції. Побудовані графіки електричних навантажень для активної та реактивної потужності за зимовий та літній періоди, а також річний графік за тривалістю для активної потужності.

Було проведено техніко-економічне порівняння схем зовнішнього і внутрішнього електропостачання, в результаті яких найбільш доцільним виявилось виконання зовнішнього електропостачання кабельними лініями 35 кВ з встановленням ГЗП та розподільчої мережі заводу кабелями 10 кВ з застосуванням змішаної схеми електропостачання. Для компенсації реактивної потужності вибрані конденсаторні установки для мережі 0,4 та 10 кВ.

Розрахунок струмів короткого замикання проводився для вибору і перевірки електричних апаратів, кабельних ліній та автоматики. На стороні 35 кВ встановлено вакуумні вимикачі ВРС-35 Рівенського заводу.

У спеціальному розділі проекту розроблено систему обліку електроенергії. Визначено типи первинних вимірювальних перетворювачів і лічильників, як о-нову системи збору та передавання даних використано пристрій збору даних СОМ 300, який отримує поточну інформацію про споживання електричної енергії від комерційних лічильників GAMA 300.

Під час виконання проекту були максимально використані чинні норматив-но-правові акти та технічні інструкції. Усі запропоновані технічні рішення мають економічне обґрунтування, відповідають вимогам надійності, енергоефективності та безпеки обслуговування. При проектуванні активно застосовувалися сучасні комп'ютерні технології.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		64

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ): офіц. вид. – К.: Мін-паливенерго України, 2010. – 720 с.
2. Плєшков П.Г. Орлович А.Ю., Котиш А.І. Електропостачання промислових підприємств: Навчальний посібник для курсового та дипломного проектування. – Кіровоград: РВЛ КНТУ, 2011. – 386 с.
3. ДСТУ EN 50160:2014. Характеристики напруги в системах електропостачання загального призначення. – К.: ДП «УкрНДНЦ», 2015. – 25 с.
4. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів (ПТЕ-ЕС). – К.: Міністерство енергетики та вугільної промисловості України, 2014. – 120 с.
5. Болюх Ю.Є. Основи проектування електропостачання промислових підприємств: навч. посіб. – К.: Ліра-К, 2012. – 360 с.
6. Дьяков С.В., Зорін В.І., Стадник Л.М. Електропостачання промисло-вих підприємств: підручник. – К.: Вища шк., 2011. – 396 с.
7. Савченко М.Ф., Стеценко А.М. Системи електропостачання: навч. посіб. – К.: Видавництво НТУУ "КПІ", 2016. – 320 с.
8. Головка В.В. Автоматизовані системи контролю та обліку електроенергії: навч. посіб. – Х.: ХНУРЕ, 2019. – 212 с.
9. Технічний паспорт мікропроцесорного регулятора реактивної потужності RPC-10. – Х.: ТОВ «Електроприлад», 2021. – 15 с.
10. ISSN 1814'3296. Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури, випуск 2009'2(76), стор.99-105.

										Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата						65