

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

“Допущено до захисту ”
Зав. кафедри ЕТС та ЕМ
к.т.н., професор
_____Петро ПЛЄШКОВ

“ ____ ” _____ 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ

на тему:

**«Розробка системи електропостачання підприємства вагового
обладнання з впровадженням шляхів енергоменеджменту.
Development of a power supply system for a weighing equipment
enterprise with the implementation of energy management
methods»**

Виконав здобувач IV курсу групи ЕЕ-23мб
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»

_____ Віталій БРЕЗІЦЬКИЙ
« ____ » _____ 2026 р.

Керівник роботи
викладач

_____ Світлана ДУБЕНКО

« ____ » _____ 2026 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 Електротехнічні системи електроспоживання

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

_____ *Петро ПЛЕСКОВ*

«_____» _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Брезіцького Віталія Антоновича

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи (проекту) ***Розробка системи електропостачання підприємства вагового обладнання з впровадженням шляхів енергоменеджменту***

2. Керівник роботи (проекту) *Дубенко Світлана Вячеславівна, викладач*

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

3. Строк подання студентом роботи до захисту *02.06.2026 р.*

4. Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи (проекту) _____

Вступ; Розрахунок електричних навантажень; Побудова картограми електричних навантажень та вибір місця розташування ЦРП; Вибір напруги і електричних схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання; Режими реактивної потужності в системі електроспоживання; Вибір кількості та потужності трансформаторів; Розрахунок струмів коротких замикань та вибір високовольтного обладнання і високовольтних мереж системи електропостачання; Організація енергоменеджменту на підприємстві вагового обладнання; Висновки

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
<i>Спеціальний розділ</i>			

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Вступ</i>	1.05.26	
2	<i>Розрахунок електричних навантажень</i>	5.05.26	
3	<i>Побудова картограми електричних навантажень та вибір місця розташування ЦРП</i>	8.05.26	
4	<i>Вибір напруги і електричних схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання</i>	15.05.26	
5	<i>Режими реактивної потужності в системі електроспоживання</i>	19. 05.26	
6	<i>Вибір кількості та потужності трансформаторів</i>	22.05.26	
7	<i>Розрахунок струмів коротких замикань та вибір високовольтного обладнання і високовольтних мереж системи електропостачання</i>	25. 05.26	
8	<i>Організація енергоменеджменту на підприємстві вагового обладнання</i>	27. 05.26	
9	<i>Висновки</i>	30. 05.26	
10	<i>Оформлення пояснювальної записки ВКР</i>	01.06.26	
11	<i>Оформлення презентаційної частини ВКР</i>	02.06.26	

Дата видачі завдання

« ____ » _____ 2026 р.

Підпис керівника _____

Завдання прийнято до виконання

« ____ » _____ 2026 р.

Підпис здобувача _____

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: 82 с.; 15 рис.; 17 табл.; 8 джерел.

Брезіцький В.А. Розробка системи електропостачання підприємства вагового обладнання з впровадженням шляхів енергоменеджменту – Рукопис.

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

В кваліфікаційній роботі розглянуто питання розробки системи електропостачання підприємства з виробництва вагового обладнання з урахуванням сучасних вимог до надійності, енергоефективності та економічної доцільності.

В процесі виконання роботи проведено розрахунок силового та освітлювального навантаження. На основі отриманих даних розроблено схему електропостачання. Проведено розрахунок струмів короткого замикання, що дозволило обґрунтовано підібрати високовольтне обладнання.

Значну увагу приділено питанням підвищення енергоефективності, зокрема впровадженню системи енергоменеджменту та автоматизованого обліку електроенергії, що забезпечує оптимізацію режимів роботи обладнання та зниження витрат енергоресурсів.

Отримані результати можуть бути використані при проектуванні та модернізації систем електропостачання промислових підприємств аналогічного типу.

Ключові слова: електропостачання, промислове підприємство, електричне навантаження, трансформатор, струм короткого замикання, високовольтне обладнання, компенсація реактивної потужності, енергоефективність, енергоменеджмент

ABSTRACT

Qualification work: 82 p.; 15 fig.; 17 tables; 8 sources.

Brezitskyi V.A. Development of a power supply system for a weighing equipment enterprise with the introduction of energy management methods – Manuscript.

Qualification work in specialty 141 “Electrical power engineering, electrical engineering and electromechanics”, OPP “Electrical power engineering, electrical engineering and electromechanics”. – Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, 2026.

The qualification work considers the issue of developing a power supply system for a weighing equipment production enterprise taking into account modern requirements for reliability, energy efficiency and economic feasibility.

In the process of performing the work, a calculation of the power and lighting load was carried out. Based on the data obtained, a power supply scheme was developed. A calculation of short-circuit currents was carried out, which allowed a reasonable selection of high-voltage equipment.

Considerable attention is paid to issues of increasing energy efficiency, in particular, the implementation of an energy management system and automated electricity metering, which ensures optimization of equipment operating modes and reduction of energy consumption.

The results obtained can be used in the design and modernization of power supply systems of industrial enterprises of a similar type.

Keywords: power supply, industrial enterprise, electrical load, transformer, short-circuit current, high-voltage equipment, reactive power compensation, energy efficiency, energy management

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ.....	8
1.1. Розрахунок силових електричних навантажень до 1000 В.....	8
1.2. Розрахунок освітлювальних навантажень.....	9
1.3. Розрахунок електричних навантажень вище 1000 В.....	9
1.4. Побудова графіків навантажень.....	22
2 ПОБУДОВА КАРТОГРАМИ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ТА ВИБІР МІСЦЯ РОЗТАШУВАННЯ ЦРП.....	27
3 ВИБІР НАПРУГИ І ЕЛЕКТРИЧНИХ СХЕМ ЗОВНІШНЬОГО ТА ВНУТРІШНЬОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ.....	30
4 РЕЖИМИ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ В СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ.....	37
4.1. Розрахунок балансу реактивної потужності та вибір компенсуючих установок.....	37
4.2. Вибір кількості, потужності та місця встановлення компенсуючих пристроїв.....	41
5 ВИБІР КІЛЬКОСТІ ТА ПОТУЖНОСТІ ТРАНСФОРМАТОРІВ.....	48
6 РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКИХ ЗАМИКАНЬ ТА ВИБІР ВИСОКОВОЛЬТНОГО ОБЛАДНАННЯ І ВИСОКОВОЛЬТНИХ МЕРЕЖ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ.....	50
6.1. Розрахунок струмів короткого замикання.....	50
6.2. Вибір високовольтного обладнання.....	52
7 ОРГАНІЗАЦІЯ ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ НА ПІДПРИЄМСТВІ ВАГОВОГО ОБЛАДНАННЯ.....	56
7.1. Енергоменеджмент підприємств, як системний підхід до оптимізації енергоресурсів.....	56
7.2. Впровадження системи енергоменеджменту на підприємстві вагового обладнання.....	61
ВИСНОВКИ.....	79
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	81

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА				
Розроб	Брезіцький В				Розробка системи електропостачання підприємства вагового обладнання з впровадженням шляхів енергоменеджменту	Літ.	Аркуш	Аркушів	
Перевірів	Дубенко С.								
Н.контр.						ЦНТУ, зр.ЕЕ-23мб			
Затв.	Плешков П.Г								

ВСТУП

Сучасний етап розвитку промисловості характеризується зростанням вимог до ефективності використання енергетичних ресурсів, надійності електропостачання та впровадження інноваційних технологій управління енергоспоживанням. Особливо актуальним це є для підприємств, діяльність яких пов'язана з використанням значної кількості електротехнічного обладнання, зокрема підприємств з виробництва вагового обладнання, де електроенергія виступає основним видом енергоресурсу.

Раціональна організація системи електропостачання таких підприємств є ключовою умовою забезпечення безперебійності технологічних процесів, зниження експлуатаційних витрат та підвищення конкурентоспроможності продукції. Водночас традиційні підходи до експлуатації електричних мереж уже не забезпечують необхідного рівня енергоефективності, що обумовлює необхідність впровадження сучасних методів аналізу, оптимізації та управління електроспоживанням.

Одним із найбільш ефективних інструментів підвищення енергоефективності є впровадження системи енергоменеджменту, яка передбачає комплексний підхід до управління енергоресурсами на всіх рівнях функціонування підприємства. Такий підхід включає моніторинг енергоспоживання, аналіз навантажень, оптимізацію режимів роботи обладнання, а також реалізацію технічних і організаційних заходів, спрямованих на зниження витрат електроенергії. Важливу роль у цьому процесі відіграє застосування автоматизованих систем обліку електроенергії та цифрових технологій, які забезпечують отримання достовірної інформації в режимі реального часу та дозволяють приймати обґрунтовані управлінські рішення.

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

1. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

1.1 Розрахунок силових електричних навантажень до 1000 В

Визначення електричних навантажень силових електроприймачів виконується із застосуванням методу впорядкованих діаграм, який дозволяє врахувати реальний режим роботи обладнання та нерівномірність його завантаження.

Розрахунок проводиться поетапно: визначається встановлена потужність, середні навантаження, коефіцієнт використання, ефективна кількість електроприймачів, після чого знаходиться коефіцієнт максимуму та розрахункові навантаження.

Розрахункове активне навантаження визначається за формулою:

$$P_p = P_{зм} \cdot K_m \quad (1.1)$$

Середнє активне навантаження:

$$P_{зм} = K_v \cdot P_n \quad (1.2)$$

Середнє реактивне навантаження:

$$Q_{зм} = P_{зм} \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (1.3)$$

Приклад розрахунку адміністративно-побутового корпусу (табл. 1.1)

1. Середнє активне навантаження:

$$P_{зм} = K_v \cdot P_n = 0,68 \cdot 193,4 = 131,51 \text{ кВт}$$

2. Середнє реактивне навантаження:

$$Q_{зм} = P_{зм} \cdot \operatorname{tg} \varphi = 131,51 \cdot 0,70 = 92,06 \text{ квар}$$

3. Ефективна кількість електроприймачів:

$$n_{ef} \approx n = 21$$

4. Коефіцієнт максимуму:

$$K_m = 1,124$$

5. Розрахункове активне навантаження:

$$P_p = P_{зм} \cdot K_m = 131,51 \cdot 1,124 = 147,82 \text{ кВт}$$

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

6. Розрахункове реактивне навантаження:

$$Q_p = Q_{зм} = 97,1392,06 \text{ квар}$$

Результати розрахунків інших груп електроприймачів наведені в таблиці 1.1.

1.2 Розрахунок освітлювальних навантажень

Оцінювання освітлювальних навантажень виконується на основі питомої потужності освітлення, що припадає на одиницю площі приміщення.

Встановлена потужність освітлення визначається:

$$P_y = p_0 \cdot F \cdot 10^{-3} \quad (1.4)$$

Розрахункове активне навантаження:

$$P_p = 1,12 \cdot P_y \cdot K_c \quad (1.5)$$

Реактивне навантаження:

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (1.6)$$

Приклад розрахунку освітлювального навантаження ділянки дозування компонентів (табл. 1.2)

1. Встановлена потужність:

$$P_y = p_0 \cdot F \cdot 10^{-3} = 14 \cdot 3277 \cdot 10^{-3} = 45,88 \text{ кВт}$$

2. Реактивна складова встановленого навантаження:

$$Q_y = P_y \cdot \operatorname{tg} \varphi = 45,88 \cdot 0,48 = 22,02 \text{ квар}$$

3. Розрахункове активне навантаження:

$$P_p = P_y \cdot K_c = 45,88 \cdot 0,9 = 41,29 \text{ кВт}$$

4. Розрахункове реактивне навантаження:

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi = 41,29 \cdot 0,48 = 19,82 \text{ квар}$$

Результати для інших приміщень наведені в таблиці 1.2.

1.3 Розрахунок електричних навантажень вище 1000 В

Під час визначення електричних навантажень у мережах напругою понад 1000 В розрахунковими вузлами приймаються шини трансформаторних

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

підстанцій. Тому перед виконанням розрахунку необхідно встановити склад споживачів, що живляться від кожної підстанції, а також кількість і номінальну потужність силових трансформаторів.

Розрахунок для мереж вище 1000 В виконується у такій послідовності: спочатку підсумовують силові навантаження окремих підрозділів, далі додають освітлювальні навантаження, після чого визначають коефіцієнт завантаження трансформаторів і обчислюють втрати активної та реактивної потужності в них. На завершальному етапі знаходять повне розрахункове навантаження на шинах 10 кВ.

Втрати потужності в трансформаторах визначаються за виразами:

$$\Delta P = n \cdot (\Delta P_x + \Delta P_k \cdot K_3^2)$$

$$\Delta Q = n \cdot S_{\text{ном}} \cdot (0,01 I_x + 0,01 U_k \cdot K_3^2)$$

де n - кількість трансформаторів; ΔP_x - втрати холостого ходу; ΔP_k - втрати короткого замикання; I_x - струм холостого ходу, %; U_k - напруга короткого замикання, %; $S_{\text{ном}}$ - номінальна потужність трансформатора; K_3 - коефіцієнт завантаження трансформатора.

Приклад розрахунку навантаження ТП-1 (табл. 1.3)

1. Сумарне активне навантаження:

$$P_{\Sigma} = P_{\text{сил}} + P_{\text{осв}} = 850,38 + 72,56 = 922,94 \text{ кВт}$$

2. Сумарне реактивне навантаження:

$$Q_{\Sigma} = Q_{\text{сил}} + Q_{\text{осв}} = 751,15 + 38,43 = 789,58 \text{ квар}$$

3. Повна потужність на шинах 0,4 кВ:

$$S_{\Sigma} = \sqrt{922,94^2 + 789,58^2} = 1214,60 \text{ кВА}$$

4. Коефіцієнт завантаження трансформаторів:

$$K_3 = \frac{P_{\Sigma}}{n \cdot S_{\text{ном}}} = \frac{922,94}{2 \cdot 630} = 0,73$$

5. Розрахункове навантаження з урахуванням втрат:

$$P_p = P_{\Sigma} + \Delta P = 922,94 + 15,61 = 938,55 \text{ кВт}$$

$$Q_p = Q_{\Sigma} + \Delta Q = 789,58 + 55,36 = 844,94 \text{ квар}$$

$$S_p = \sqrt{938,55^2 + 844,94^2} = 1262,85 \text{ кВА}$$

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

Отримані значення по іншим ТП зведені в табл. 1.3 та використовуються для вибору обладнання підстанції та подальших електротехнічних розрахунків.

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

Таблиця 1.1 - Розрахунок електричних навантажень в мережі до 1000 В

	Назва групи споживачів	Кіль- ть ЕС	Р одного, кВт			Рсум, кВт	m	Кв	cosφ	tgφ	Середнє навантаження, кВт, квар		пф	Км	Розрахункове навантаження		
			min		max						Рсм, кВт	Qсм, квар			Рр, кВт	Qр, квар	Sp, кВА
1	2	3	4		4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	Дільниця дозування компонентів																
	Термічні шафи	9	3,00	-	15,00	118,20	5	0,70	0,900	0,48	82,74	39,72					
	Вентиляційні установки	15	0,30	-	3,90	56,20	12	0,72	0,780	0,80	40,46	32,37					
	Роликові транспортери	9	2,80	-	8,30	41,00	2	0,49	0,710	0,99	20,09	19,89					
	Налагоджувальні машини	6	0,20	-	1,90	10,60	10	0,51	0,700	1,02	5,41	5,52					
	Стенди випробувань	6	5,50	-	45,90	203,60	10	0,58	0,720	0,96	118,09	113,37					
	Контрольно-вимірювальна апаратура	9	0,90	-	10,00	89,30	9	0,60	0,790	0,78	53,58	41,79					
	Електроталі	10	2,00	-	10,00	80,60	5	0,21	0,500	1,73	16,93	29,29					
	Гідравлічні преси	6	21,00	-	29,40	49,20	1	0,40	0,500	1,73	19,68	34,05					
	Всього по дільниці дозування компонентів	70	0,20	-	45,90	648,70	220	0,55	0,749	0,89	356,98	316,00	28	1,168	416,95	316,00	523,17
2	Пакувально-маркувальна дільниця																
	Вентиляційні установки	10	2,10	-	15,70	141,70	8	0,72	0,780	0,80	102,02	81,62					
	Електроталі	11	0,90	-	10,40	92,20	10	0,59	0,810	0,72	54,40	39,17					
	Кліматичні установки	4	1,00	-	4,80	15,60	5	0,71	0,700	1,02	11,08	11,30					
	Роликові транспортери	5	3,30	-	10,20	28,50	3	0,48	0,720	0,96	13,68	13,13					
	Всього по пакувально- маркувальній дільниці	30	0,90	-	15,70	278,00	16	0,65	0,780	0,80	181,18	145,22	28	1,139	206,36	145,22	252,34
3	Механоскладальна дільниця																
	Токарно-фрезерні верстати	19	6,60	-	14,60	129,10	2	0,10	0,410	2,22	12,91	28,66					
	Універсальні обробні автомати	14	10,00	-	21,10	164,30	2	0,21	0,500	1,73	34,50	59,69					
	Компресорні агрегати	7	1,70	-	20,40	113,00	14	0,68	0,820	0,70	76,84	53,79					
	Насосні установки	6	1,00	-	15,00	96,50	12	0,70	0,790	0,78	67,55	52,69					

Продовження табл.1.1

1	2	3	4	-	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	Електроталі з ПВ=25%	3	10,00	-	10,00	30,20	1	0,21	0,500	1,73	6,34	10,97					
	Зварювальні джерела живлення	9	12,60	-	29,40	141,80	2	0,40	0,500	1,73	56,72	98,13					
	Вентиляційні установки	7	0,50	-	15,60	117,40	32	0,62	0,780	0,80	72,79	58,23					
	Всього по механоскладальній дільниці	65	0,50	-	29,40	792,30	50	0,41	0,671	1,11	327,65	362,16	22	1,291	423,00	362,16	556,86
4	Виробничий корпус №2																
	Автоматизована виробнича лінія	3	25,00	-	48,00	73,30	2	0,61	0,700	1,02	44,71	45,60					
	Стрічкові конвеєри	4	11,00	-	40,80	91,60	4	0,48	0,620	1,27	43,97	55,84					
	Компресорні агрегати	3	1,40	-	20,00	73,40	12	0,70	0,790	0,78	51,38	40,08					
	Автоматичні преси	12	10,00	-	20,00	121,00	2	0,41	0,600	1,33	49,61	65,98					
	Зварювальні джерела живлення	7	10,50	-	39,20	177,30	4	0,40	0,500	1,73	70,92	122,69					
	Фільтрувальні установки	7	4,80	-	10,40	40,50	2	0,72	0,780	0,80	29,16	23,33					
	Вентиляційні установки	10	0,80	-	9,60	94,30	12	0,69	0,810	0,72	65,07	46,85					
	Всього по виробничому корпусу №2	46	0,80	-	48,00	671,40	63	0,53	0,663	1,13	354,82	400,37	27	1,200	425,78	400,37	584,45
5	Адміністративно-побутовий корпус	21	0,60	-	10,20	193,40	22	0,68	0,820	0,70	131,51	92,06	21	1,124	147,82	92,06	174,14
6	Столярно-заготівельний цех																
	Циркулярні верстати з мех.подачею	3	4,50	-	15,00	39,70	3	0,50	0,690	1,05	19,85	20,84					
	Торцювальні верстати	3	2,00	-	28,00	78,60	14	0,31	0,600	1,33	24,37	32,41					
	Фугувальні машини	3	2,10	-	27,40	51,20	13	0,50	0,600	1,33	25,60	34,05					
	Рейсмусові верстати	3	1,90	-	29,10	105,20	15	0,62	0,580	1,40	65,22	91,31					
	Аспіраційні сепаратори	4	5,50	-	24,00	79,90	4	0,39	0,710	0,99	31,16	30,85					
	Підйомні механізми з ПВ=25%	3	2,20	-	10,20	19,60	5	0,11	0,500	1,73	2,16	3,74					
	Вентиляційні установки	10	0,50	-	5,00	45,80	9	0,58	0,820	0,70	26,56	18,59					
	Всього по столярно-заготівельному цеху	29	0,50	-	29,10	420,00	55	0,46	0,644	1,19	194,92	231,79	29	1,222	238,19	231,79	332,36

Продовження табл.1.1

1	2	3	4		4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
7	Компресорне відділення																
	Насосні установки	10	1,00	-	10,00	90,70	10	0,71	0,800	0,75	64,40	48,30					
	Компресорні агрегати	5	42,00	-	88,20	256,10	2	0,70	0,800	0,75	179,27	134,45					
	Вентиляційні установки	9	0,80	-	3,10	22,30	3	0,72	0,780	0,80	16,06	12,85					
	Електрична таль	2	1,00	-	7,70	13,30	8	0,39	0,510	1,69	5,19	8,77					
	Мостовий кран з ПВ=25%	1	11,00	-	10,20	9,80	1	0,41	0,500	1,73	4,02	6,95					
	Всього по компресорному відділенню	27	0,80	-	88,20	392,20	111	0,69	0,786	0,79	268,94	211,32	9	1,223	328,91	211,32	390,94
8	Експедиційний склад готових виробів																
	Роликові транспортери	3	1,10	-	2,90	3,90	3	0,60	0,800	0,75	2,34	1,76					
	Вентиляційні установки	4	0,90	-	3,10	10,10	3	0,72	0,780	0,80	7,27	5,82					
	Всього по експедиційному складу готових виробів	7	0,90	-	3,10	14,00	3	0,69	0,785	0,79	9,61	7,58	8	1,282	12,32	7,58	14,47
9	Дільниця нестандартного оснащення																
	Лабораторні установки	9	0,50	-	5,20	45,50	10	0,22	0,480	1,83	10,01	18,32					
	Експериментальні камери	2	2,00	-	26,90	51,20	14	0,19	0,510	1,69	9,73	16,44					
	Насосні установки	1	6,10	-	25,50	38,10	4	0,61	0,800	0,75	23,24	17,43					
	Випробувальні стенди	4	1,80	-	10,00	32,60	5	0,58	0,720	0,96	18,91	18,15					
	Вентиляційні установки	7	0,50	-	5,00	26,80	10	0,60	0,790	0,78	16,08	12,54					
	Всього по дільниці нестандартного оснащення	23	0,50	-	26,90	194,20	57	0,40	0,685	1,06	77,97	82,88	14	1,382	107,75	82,88	135,94
10	Ремонтно-сервісний цех																
	Токарно-фрезерні верстати	5	2,50	-	26,90	131,20	11	0,10	0,510	1,69	13,12	22,17					
	Термічні печі	7	3,30	-	10,20	54,80	3	0,71	0,900	0,48	38,91	18,68					
	Електроталі	3	1,80	-	4,00	6,10	2	0,48	0,720	0,96	2,93	2,81					
	Вентиляційні установки	7	0,50	-	10,00	56,50	20	0,60	0,790	0,78	33,90	26,44					
	Всього по ремонтно-сервісному цеху	22	0,50	-	26,90	248,60	57	0,36	0,785	0,79	88,86	70,10	19	1,379	122,54	70,10	141,17

Продовження табл.1.1

1	2	3	4		4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
11	Інструментально-налагоджувальний цех																
	Токарно-фрезерні верстати	14	5,50	-	28,60	404,90	5	0,11	0,500	1,73	44,54	77,05					
	Кувальні автомати	4	12,60	-	40,00	105,90	2	0,38	0,720	0,96	40,24	38,63					
	Компресорні агрегати	4	1,50	-	20,00	55,10	13	0,70	0,790	0,78	38,57	30,08					
	Шліфувальні машини	5	5,20	-	16,70	60,50	3	0,21	0,500	1,73	12,71	21,99					
	Нагрівальні установки	7	4,80	-	20,80	88,70	4	0,70	0,900	0,48	62,09	29,80					
	Насосні установки	6	3,00	-	9,60	49,60	3	0,72	0,780	0,80	35,71	28,57					
	Вентиляційні установки	10	0,60	-	10,20	97,40	22	0,59	0,810	0,72	57,47	41,38					
	Всього по інструментально-налагоджувальному цеху	50	0,60	-	40,00	862,10	78	0,34	0,737	0,92	291,33	267,50	42	1,233	359,21	267,50	447,87
12	Пресово-гальванічний цех																
	Сушильні печі	4	4,50	-	25,00	61,10	5	0,68	0,920	0,43	41,55	17,87					
	Штампувальні преси	5	10,00	-	40,00	99,20	4	0,40	0,690	1,05	39,68	41,66					
	Преси гарячого формування	4	15,80	-	31,40	68,50	2	0,41	0,700	1,02	28,09	28,65					
	Автоматичні преси	7	6,60	-	20,80	76,80	2	0,40	0,600	1,33	30,72	40,86					
	Формувальні автомати	5	2,00	-	9,60	48,60	5	0,52	0,680	1,08	25,27	27,29					
	Катодні гальванічні ванни	3	5,50	-	30,60	53,80	6	0,49	0,610	1,30	26,36	34,27					
	Ванни електропокриття	3	4,50	-	40,00	44,00	7	0,51	0,600	1,33	22,44	29,85					
	Кран-балка з ПВ=50%	3	10,00	-	10,00	40,70	1	0,38	0,520	1,64	15,47	25,37					
	Насосні установки	20	5,20	-	9,80	148,80	2	0,70	0,790	0,78	104,16	81,24					
	Вентиляційні установки	9	0,50	-	10,40	52,90	21	0,61	0,800	0,75	32,27	24,20					
	Всього по пресово-гальванічному цеху	63	0,50	-	40,00	694,40	79	0,53	0,721	0,96	366,01	351,26	35	1,174	429,70	351,26	555,00
13	Теплогенераторна дільниця																
	Насосні установки	13	3,00	-	10,00	77,40	3	0,70	0,790	0,78	54,18	42,26					
	Димовидаляючий агрегат	2	10,50	-	15,70	26,20	1	0,71	0,800	0,75	18,60	13,95					
	Вентиляційні установки	11	0,50	-	15,60	76,30	32	0,60	0,800	0,75	45,78	34,34					
	Всього по теплогенераторній дільниці	26	0,50	-	15,70	179,90	32	0,66	0,795	0,76	118,56	90,55	24	1,138	134,92	90,55	162,49

Продовження табл.1.1

1	2	3	4		4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
14	Матеріальний склад																
	Вентиляційні установки	3	4,70	-	9,80	16,60	2	0,61	0,800	0,75	10,13	7,60					
	Кран-балка з ПВ=25%	4	9,50	-	10,40	29,60	1	0,20	0,500	1,73	5,92	10,24					
	Роликові транспортери	1	2,00	-	9,60	16,20	5	0,52	0,680	1,08	8,42	9,09					
	Всього по матеріальному складу	8	2,00	-	10,40	62,40	5	0,39	0,672	1,10	24,47	26,93	8	1,577	38,59	26,93	47,06
	Всього по підприємству вагового обладнання на шинах 0,4 кВ	487	0,2	-	88,2	5651,6	450	0,49	0,72	0,95	2792,81	2655,72	125	1,05	2932,45	2655,72	3956,27

Таблиця 1.2 - Розрахунок освітлення

№ пп	Найменування підрозділу	F, м²	p0, Вт/м²	Py, кВт	tgφ	Qu, квар	Kc	Pp, кВт	Qp, квар
1	Дільниця дозування компонентів	3277	14,00	45,88	0,48	22,02	0,90	41,29	19,82
2	Пакувально-маркувальна дільниця	1204	12,00	14,45	0,48	6,94	0,90	13,01	6,25
3	Механоскладальна дільниця	928	12,00	11,14	0,48	5,35	0,83	9,25	4,44
4	Виробничий корпус №2	3528	14,00	49,39	0,48	23,71	0,91	44,94	21,58
5	Адміністративно-побутовий корпус	1224	16,00	19,58	0,48	9,40	0,95	18,60	8,93
6	Столярно-заготівельний цех	452	14,00	6,33	0,48	3,04	0,97	6,14	2,95
7	Компресорне відділення	201	8,00	1,61	0,48	0,77	0,84	1,35	0,65
8	Експедиційний склад готових виробів	402	8,00	3,22	1,73	5,57	0,95	3,06	5,29
9	Дільниця нестандартного оснащення	291	10,00	2,91	0,48	1,40	0,85	2,47	1,19
10	Ремонтно-сервісний цех	505	12,00	6,06	0,48	2,91	0,83	5,03	2,42
11	Інструментально-налагоджувальний цех	573	12,00	6,88	0,48	3,30	0,96	6,60	3,17
12	Пресово-гальванічний цех	789	10,00	7,89	0,48	3,79	0,85	6,71	3,22
13	Теплогенераторна дільниця	412	8,00	3,30	0,48	1,58	0,87	2,87	1,37
14	Матеріальний склад	510	6,00	3,06	1,73	5,29	0,94	2,88	4,97
15	Зовнішнє освітлення території	81110	0,10	8,11	1,73	14,03	1,00	8,11	14,03
	Всього			189,81		109,1		172,31	100,28

Таблиця 1.3 - Розрахунок електричних навантажень в мережі вище 1000 В

№	Назва групи споживачів	Кіль- ть ЕС	Р одного, кВт			Рсум, кВт	m	Кв	cosφ	tgφ	Середнє навантаження, кВт, квар		пф	Км	Розрахункове навантаження		
			min		max						Рсм, кВт	Qсм, квар			Рр, кВт	Qр, квар	Sp, кВА
1	2	3	4		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	ТП№1																
	Виробничий корпус №2																
	силова	46	0,80	-	48,00	671,40	63	0,53	0,66	1,13	354,82	400,37	27	1,20	425,78	400,37	584,45
	освітлювальна														44,94	21,58	
	Всього														470,72	421,95	632,15
	Адміністративно-побутовий корпус																
	силова	21	0,60	-	10,20	193,40	22	0,68	0,82	0,70	131,51	92,06	21	1,124	147,82	92,06	174,14
	освітлювальна														18,60	8,93	
	Всього														166,42	100,99	194,67
	Столярно-заготівельний цех																
	силова	29	0,50	-	29,10	420,00	55	0,46	0,64	1,19	194,92	231,79	29	1,222	238,19	231,79	332,36
	освітлювальна														6,14	2,95	
	Всього														244,33	234,74	338,82
	Матеріальний склад																
	силова	8	2,00	-	10,40	62,40	5	0,39	0,67	1,10	24,47	26,93	8	1,577	38,59	26,93	47,06
	освітлювальна														2,88	4,97	
	Всього														41,47	31,90	52,32
	Всього по ТП№1																
	силова	104	0,50		48,00	1347,20		0,52	0,68	1,06	705,72	751,15	104	1,205	850,38	751,15	1134,62
	освітлювальна														72,56	38,43	
	Всього на шинах 0,4 кВ ТП1														922,94	789,58	1214,60
	Втрати в трансформаторах														15,61	55,36	
	Кількість трансформаторів:	2															
	Номінальна потужність, кВА:	630															
	Коефіцієнт завантаження Кз=	0,75															
	Всього на шинах 10 кВ ТП№1														938,55	844,94	1262,85

Продовження табл.1.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17		
2	ТП№2,3																	
	Механоскладальна діляниця																	
	силова		65	0,50	-	29,40	792,30	50	0,41	0,67	1,11	327,65	362,16	22	1,291	423,00	362,16	556,86
	освітлювальна															9,25	4,44	
	Всього															432,25	366,60	566,78
	Пакувально-маркувальна діляниця																	
	силова		30	0,90	-	15,70	278,00	16	0,65	0,78	0,80	181,18	145,22	28	1,139	206,36	145,22	252,34
	освітлювальна															13,01	6,25	
	Всього															219,37	151,47	266,58
	Пресово-гальванічний цех																	
	силова		63	0,50	-	40,00	694,40	79	0,53	0,72	0,96	366,01	351,26	35	1,174	429,70	351,26	555,00
	освітлювальна															6,71	3,22	
	Всього															436,41	354,48	562,24
	Компресорне відділення																	
	силова		27	0,80	-	88,20	392,20	111	0,69	0,79	0,79	268,94	211,32	9	1,223	328,91	211,32	390,94
	освітлювальна															1,35	0,65	
	Всього															330,26	211,97	392,43
	Теплогенераторна діляниця																	
	силова		26	0,50	-	15,70	179,90	32	0,66	0,80	0,76	118,56	90,55	24	1,138	134,92	90,55	162,49
	освітлювальна															2,87	1,37	
	Всього															137,79	91,92	165,64
	Всього по ТП№2,3																	
	силова		211	0,50		88,20	2336,80		0,54	0,74	0,92	1262,34	1160,51	211	1,206	1522,89	1160,51	1914,67
	освітлювальна															33,19	15,93	
	Всього на шинах 0,4 кВ ТП2,3														1556,08	1176,44	1950,74	
	Втрати в трансформаторах														28,14	98,62		
	Кількість трансформаторів:	3																
	Номінальна потужність, кВА:	630																
	Коефіцієнт завантаження Kз=	0,84																
	Всього на шинах 10 кВ ТП№2,3														1584,22	1275,06	2033,60	

Продовження табл.1.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
3	ТПН№4																
	Дільниця дозування компонентів																
	силова	70	0,20	-	45,90	648,70	220	0,55	0,75	0,89	356,98	316,00	28	1,168	416,95	316,00	523,17
	освітлювальна														41,29	19,82	
	Всього														458,24	335,82	568,12
	Інструментально-налагоджувальний цех																
	силова	50	0,60	-	40,00	862,10	78	0,34	0,74	0,92	291,33	267,50	42	1,233	359,21	267,50	447,87
	освітлювальна														6,60	3,17	
	Всього														365,81	270,67	455,06
	Ремонтно-сервісний цех																
	силова	22	0,50	-	26,90	248,60	57	0,36	0,79	0,79	88,86	70,10	19	1,379	122,54	70,10	141,17
	освітлювальна														5,03	2,42	
	Всього														127,57	72,52	146,74
	Експедиційний склад готових виробів																
	силова	7	0,90	-	3,10	14,00	3	0,69	0,79	0,79	9,61	7,58	8	1,282	12,32	7,58	14,47
	освітлювальна														3,06	5,29	
	Всього														15,38	12,87	20,05
	Дільниця нестандартного оснащення																
	силова	23	0,50	-	26,90	194,20	57	0,40	0,69	1,06	77,97	82,88	14	1,382	107,75	82,88	135,94
	освітлювальна														2,47	1,19	
	Всього														110,22	84,07	138,62
	Всього по ТПН№4																
	силова	172	0,20		45,90	1967,60		0,42	0,74	0,90	824,75	744,06	172	1,235	1018,77	744,06	1261,55
	освітлювальна														58,45	31,89	
	Всього на шинах 0,4 кВ ТП4														1077,22	775,95	1327,59
	Втрати в трансформаторах														19,69	68,83	
	Кількість трансформаторів:	2															
	Номінальна потужність, кВА:	630															
	Коефіцієнт завантаження Кз=	0,87															
	Всього на шинах 10 кВ ТПН№4														1096,91	844,78	1384,51

Продовження табл.1.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
4	Всього по підприємству																
	силова	487	0,20	-	88,20	5651,60	450	0,49	0,72	0,95	2792,81	2655,72	125	1,050	2932,45	2655,72	3956,27
	освітлювальна														172,31	100,28	
	Всього														3104,76	2756,00	4151,51
	Втрати в трансформаторах														63,44	222,81	
5	Всього по підприємству вагового обладнання														3168,20	2978,81	4348,65
	БК 10 кВ															-2500,00	
													tgφ=	0,940			
6	Всього по підприємству на шинах 10 кВ														3168,20	478,81	3204,18

1.4. Побудова графіків навантажень

Під час проєктування та аналізу роботи систем електропостачання особливу увагу приділяють дослідженню режимів електричних навантажень. Для їх опису використовують такі основні параметри, як активна потужність P , реактивна потужність Q , а також повна потужність S або відповідний струм I .

Вихідними даними для формування річних графіків за тривалістю є добові криві навантаження. Вони відображають зміну споживання електроенергії протягом доби та дають змогу оцінити характер роботи підприємства в різні часові періоди.

У межах даного розрахунку використано добові залежності активної та реактивної потужності для виробничих підрозділів підприємства вагового обладнання. При цьому під час визначення реактивної складової враховано застосування засобів компенсації в години пікових навантажень, що сприяє зменшенню споживання реактивної енергії з мережі та підвищенню енергоефективності.

Активне навантаження на шинах напругою 10 кВ визначається як сумарна потужність споживачів, приведена до цього рівня напруги.

$P_{p10} = 3168,2$ кВт – сумарне навантаження споживачів, приведене до рівня напруги 10 кВ (табл. 1.3);

Аналогічно, з урахуванням компенсаційних заходів ($\operatorname{tg}\varphi = 0,15$), визначається величина реактивного навантаження.

$$Q_{p10} = P_{p10} \cdot \operatorname{tg}\varphi = 3168,2 \cdot 0,15 = 475,2 \text{ кВар}$$

На основі отриманих результатів будуються добові графіки зміни активної та реактивної потужності, які наведені на рисунках 1.1–1.4.

Подальшим етапом є формування річного графіка навантаження за тривалістю. Він отримується шляхом узагальнення добових графіків, при цьому інтервали з однаковими рівнями навантаження об'єднуються. Тривалість кожного такого інтервалу визначається як сумарний час дії відповідних рівнів навантаження протягом року:

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

$$t_i = \sum t_{доб}$$

де t_i - тривалість інтервалу річного графіка.

Під час побудови річного графіка враховується календарний розподіл року. Приймається така структура: зимовий період - 148 діб; літній період - 106 діб; вихідні та святкові дні - 111 діб.

Для неробочих днів приймається знижений рівень навантаження, який становить приблизно 15 % від максимального значення, що відповідає типовим умовам експлуатації промислових об'єктів.

Узагальнені результати розрахунків, необхідні для побудови добових графіків, наведено у таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 - Розрахунок навантажень для побудови добових графіків.

№	Зимові дні						Літні дні					
	Робочі			Вихідні			Робочі			Вихідні		
	Р, кВт	Q, квар	S, кВА	Р, кВт	Q, квар	S, кВА	Р, кВт	Q, квар	S, кВА	Р, кВт	Q, квар	S, кВА
1	1584	215	1533	1204	287	1238	1346	183	1358	1023	244	1052
2	1584	215	1533	1204	287	1238	1346	183	1356	1023	244	1052
3	1584	215	1533	1204	287	1238	1346	183	1358	1023	244	1052
4	1584	215	1533	1204	287	1238	1346	183	1353	1023	244	1052
5	1584	215	1533	1204	287	1238	1346	183	1358	1023	244	1052
6	1584	215	1533	1204	287	1238	1346	183	1358	1023	244	1052
7	2535	311	2554	1204	287	1238	2154	265	2170	1023	244	1052
8	3168	358	3188	1204	287	1238	2693	305	2710	1023	244	1052
9	3168	473	3204	855	233	888	2693	407	2724	727	203	755
10	3188	478	3204	855	239	888	2693	407	2724	727	203	755
11	2851	359	2874	855	239	888	2424	305	2443	727	203	755
12	2535	311	2554	855	239	888	2154	265	2170	727	203	755
13	2851	358	2874	855	239	888	2424	305	2443	727	203	755
14	2851	353	2874	855	239	888	2424	305	2443	727	203	755
15	3168	383	3131	855	233	888	2693	326	2713	727	203	755
16	3168	383	3131	855	233	888	2693	326	2713	727	203	755
17	2851	353	2874	855	233	888	2424	305	2443	727	203	755
18	2535	311	2554	1204	287	1238	2154	265	2170	1023	244	1052
19	1901	239	1316	1204	287	1238	1616	203	1623	1023	244	1052
20	1901	239	1316	1204	287	1238	1616	203	1623	1023	244	1052
21	1584	215	1533	1204	237	1238	1346	183	1358	1023	244	1052
22	1584	215	1533	1204	287	1233	1346	183	1358	1023	244	1052
23	1584	215	1533	1204	287	1238	1346	183	1358	1023	244	1052
24	4833	201	1448	1204	287	1238	1212	171	1224	1023	244	1052

На основі річного графіка визначаються річні витрати активної та реактивної електроенергії.

$$W_p = \sum_{i=1} P_i \cdot \tau_i = 15560655 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

$$V_p = \sum_{i=1} Q_i \cdot \tau_i = 2352768 \text{ кВар} \cdot \text{год}$$

Тривалість використання максимального навантаження визначається як відношення сумарного річного споживання електроенергії до максимального значення повної потужності:

$$T_m = \frac{\sqrt{W_p^2 + V_p^2}}{S_m} = \frac{\sqrt{15560655^2 + 2352768^2}}{3204,18} = 4911,6 \text{ год}$$

де

$$S_m = \sqrt{P_{p10}^2 + Q_{p10}^2} = \sqrt{3168,2^2 + 478,81^2} = 3204,18 \text{ кВА}$$

Для уточнення τ_m астосовується емпірична залежність Кезевича, яка враховує зміну навантаження протягом року:

$$\tau_m = \left(0,124 + \frac{T_m}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = \left(0,124 + \frac{4911,6}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = 3315 \text{ год}$$

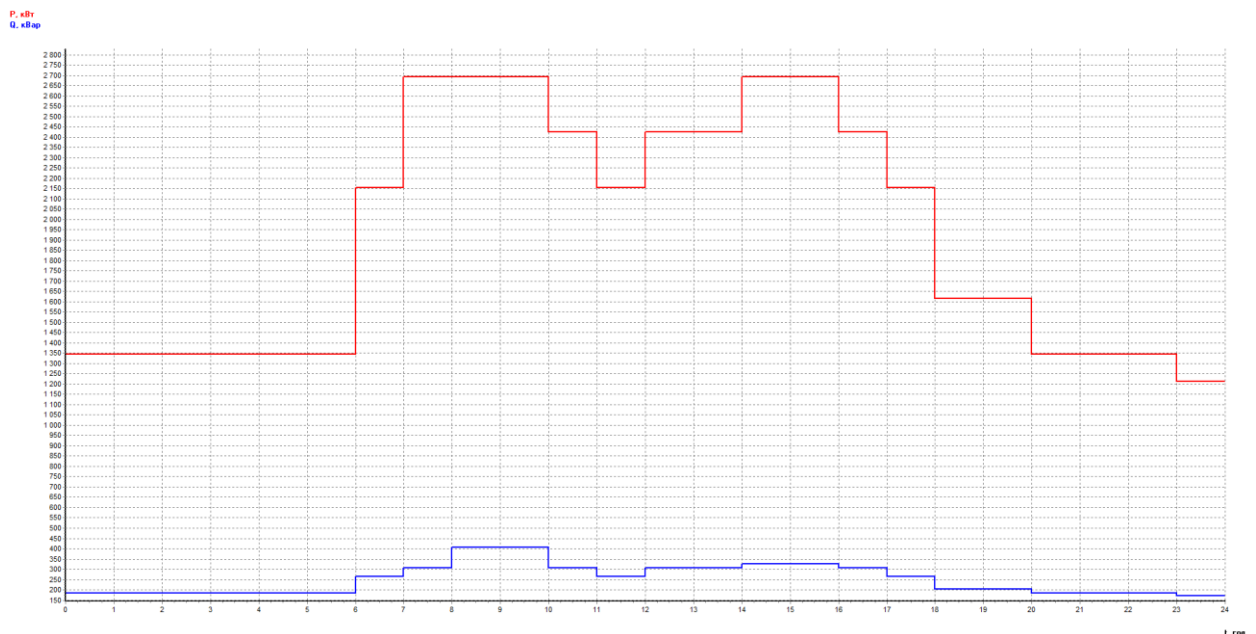


Рисунок 1.1 – Активне та реактивне навантаження літнього робочого дня

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

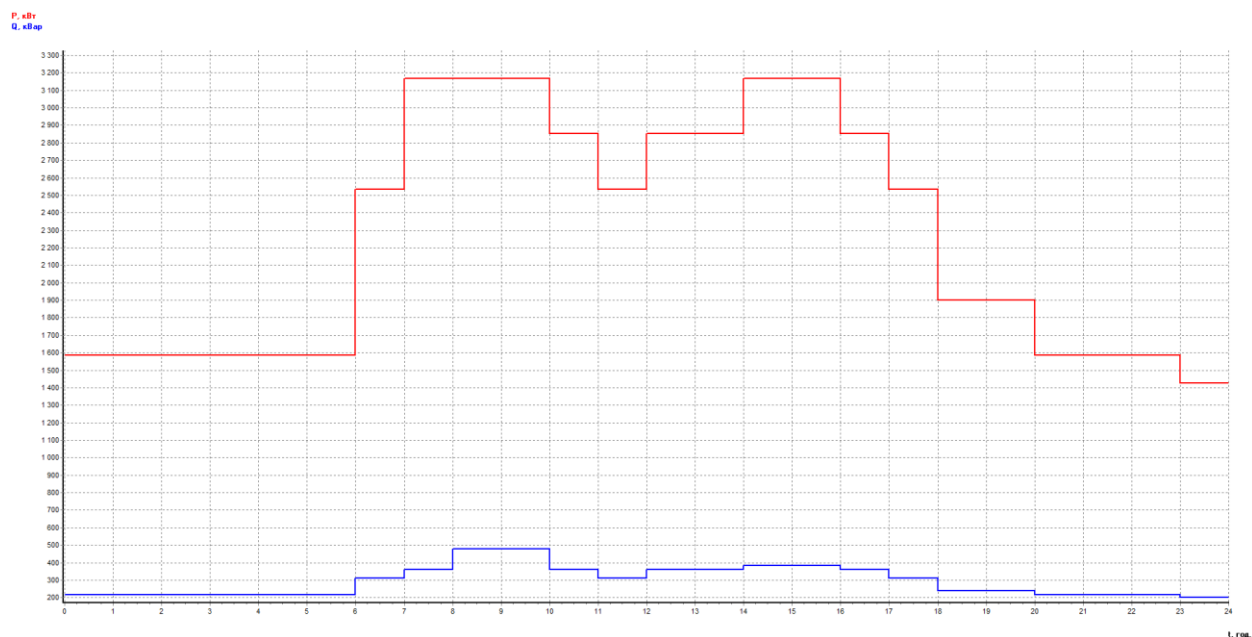


Рисунок 1.2 – Активне та реактивне навантаження зимового робочого дня

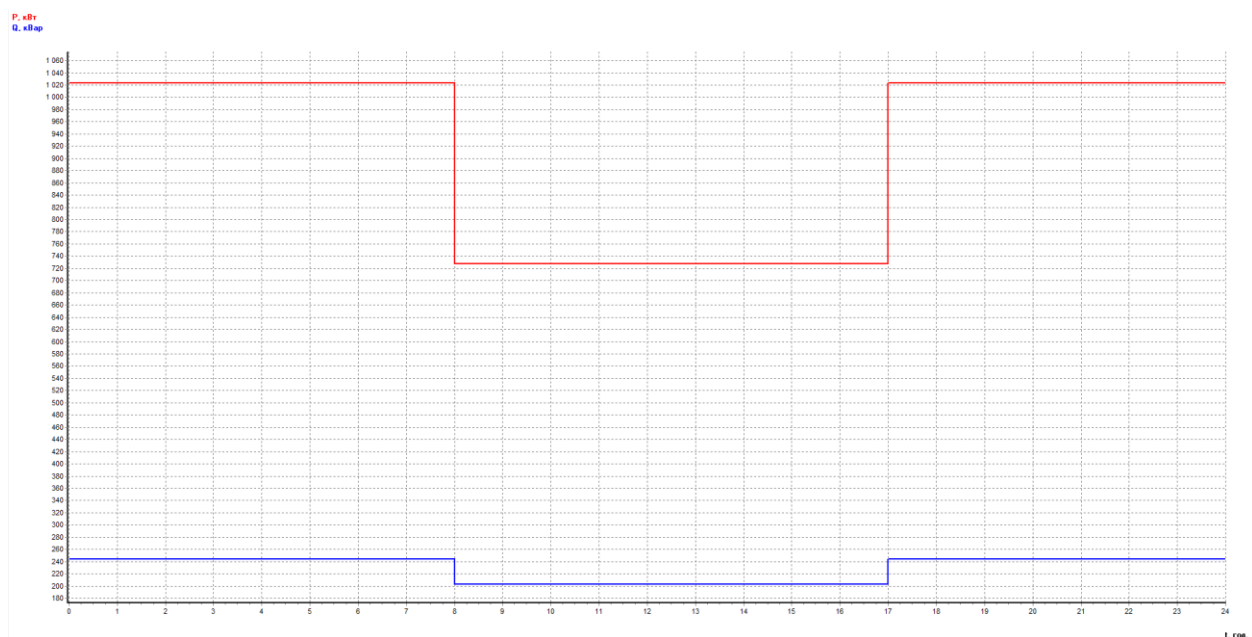


Рисунок 1.3 – Активне та реактивне навантаження літнього вихідного дня

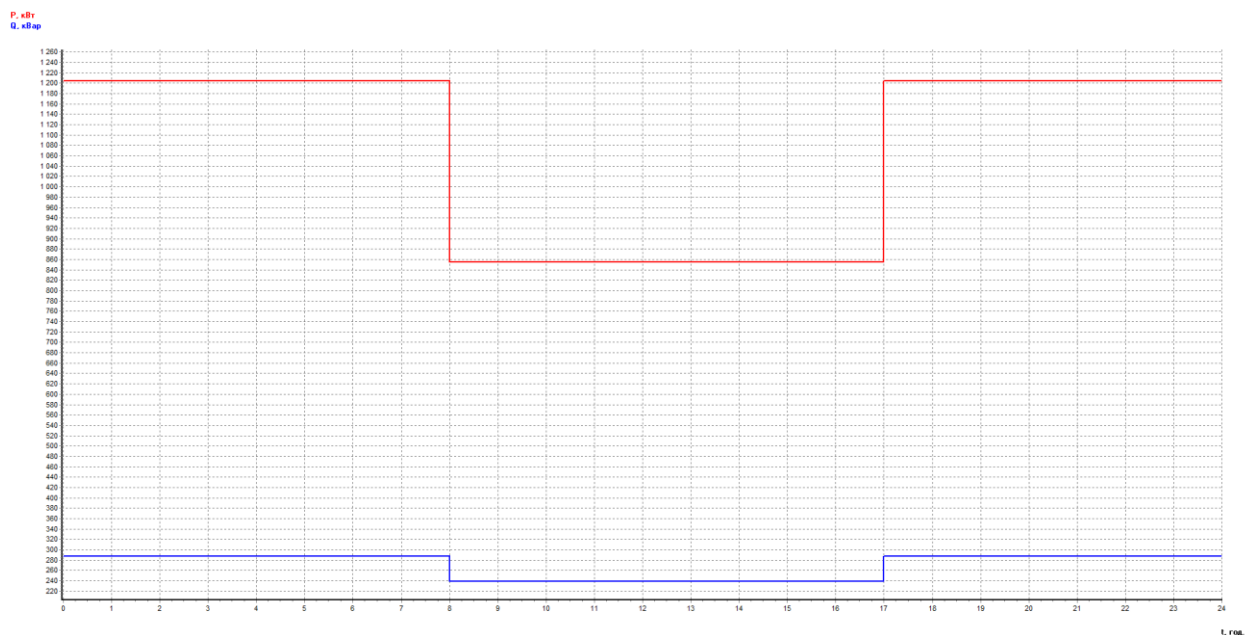


Рисунок 1.4 – Активне та реактивне навантаження зимового вихідного дня

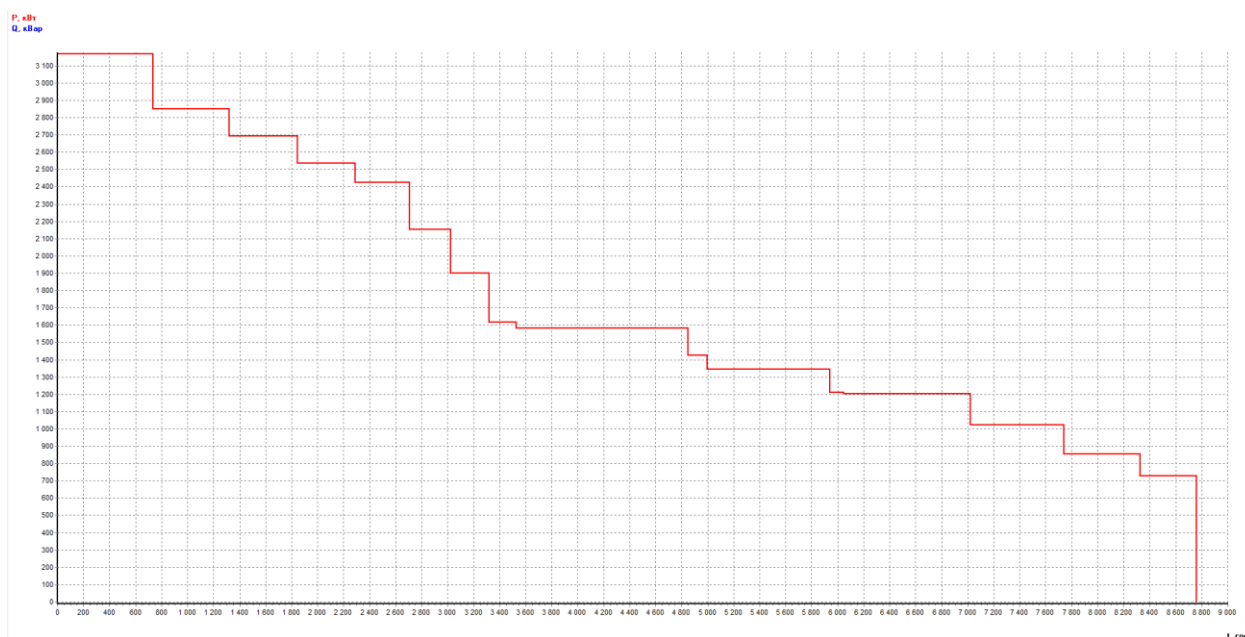


Рисунок 1.5 – Річний графік повного навантаження за тривалістю

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

2 ПОБУДОВА КАРТОГРАМИ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ТА ВИБІР МІСЦЯ РОЗТАШУВАННЯ ЦРП

Побудову картограми електричних навантажень виконують для визначення найбільш доцільного місця розташування центрального розподільчого пункту. На генеральному плані підприємства кожний виробничий підрозділ подається колом, площа якого в обраному масштабі відповідає його розрахунковому навантаженню. Освітлювальне навантаження показують окремим сектором цього кола. Такий підхід дає змогу наочно оцінити розподіл навантажень по території підприємства та визначити центр електричних навантажень. Дані для побудови картограми приймаються за остаточними результатами розрахунків силових і освітлювальних навантажень, наведеними в таблицях 2.2 та 2.3.

Для побудови картограми спочатку визначають сумарне активне навантаження кожного підрозділу:

$$P_i = P_{\text{сил},i} + P_{\text{осв},i}$$

де $P_{\text{сил},i}$ - розрахункове силове навантаження підрозділу, кВт;

$P_{\text{осв},i}$ - розрахункове освітлювальне навантаження підрозділу, кВт.

Площу кола картограми в прийнятому масштабі визначають за виразом:

$$F_i = \frac{P_i}{m}$$

де m - масштаб картограми, кВт/мм².

Радіус кола, яке відповідає навантаженню окремого підрозділу, обчислюють за формулою:

$$R_i = \sqrt{\frac{P_i}{\pi m}}$$

Освітлювальне навантаження на картограмі зображують сектором із центральним кутом α_i , який визначають так:

$$\alpha_i = 360^\circ \cdot \frac{P_{\text{осв},i}}{P_i}$$

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

Координати центру електричних навантажень підприємства знаходять за формулами:

$$X_0 = \frac{\sum P_i X_i}{\sum P_i} \quad Y_0 = \frac{\sum P_i Y_i}{\sum P_i}$$

де X_i, Y_i - координати центрів окремих будівель на генеральному плані;
 P_i - сумарне активне навантаження відповідного підрозділу.

В даній роботі для побудови картограми прийнято масштаб

$$m = 0,5 \text{ кВт/мм}^2$$

Координати центрів окремих будівель визначені графічно за генеральним планом підприємства, а результати розрахунків зведені до допоміжної таблиці побудови картограми навантажень. За підсумком розрахунку координати центру електричних навантажень підприємства становлять:

$$X_0 = 798,66$$

$$Y_0 = 341,07$$

Отже, центр електричних навантажень розташований у центральній частині території підприємства, що дає підстави рекомендувати встановлення ЦРП поблизу цієї точки. Таке розташування сприяє зменшенню довжин розподільчих ліній, втрат потужності та падіння напруги в мережі.

Розглянемо виробничий корпус №2.

Сумарне навантаження корпусу:

$$P_i = P_{\text{сил}} + P_{\text{осв}} = 425,78 + 44,94 = 470,72 \text{ кВт}$$

При масштабі $m = 0,5 \text{ кВт/мм}^2$ радіус кола картограми становить:

$$R_i = \sqrt{\frac{P_i}{\pi m}} = \sqrt{\frac{470,72}{3,14 \cdot 0,5}} = 17,31 \text{ мм}$$

Центральний кут сектора, що відповідає освітлювальному навантаженню:

$$\alpha_i = 360^\circ \cdot \frac{P_{\text{осв}}}{P_i} = 360^\circ \cdot \frac{44,94}{470,72} = 34,37^\circ$$

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

Якщо координати центру виробничого корпусу №2 на генеральному плані прийняті рівними $X_i=487$, $Y_i=359$, тоді добутки для визначення координат центру електричних навантажень підприємства дорівнюють:

$$P_i X_i = 470,72 \cdot 487 = 229740,64$$

$$P_i Y_i = 470,72 \cdot 359 = 168688,48$$

Отже, для виробничого корпусу №2 на картограмі необхідно побудувати коло радіусом 17,31 мм, а освітлювальне навантаження показати сектором з центральним кутом 34,37°.

Розрахунки для решти підрозділів зведені в таблицю 2.1.

Таблиця 2.1 – Розрахунки для побудови картограми навантажень

№п	Назва підрозділу	m	Рр осв і	Рр сил і	Рр сил + Рр осв	Рр вис	R	α	Xi	Yi	Pi*Xi	Pi*Yi
1	Дільниця дозування компонентів	0,5	41,3	417,0	458,2		17,1	32,4	941,0	304,0	431203,8	139305,0
2	Пакувально-маркувальна дільниця	0,5	13,0	206,4	219,4		11,8	21,4	813,0	346,0	178347,8	75902,0
3	Механоскладальна дільниця	0,5	9,3	423,0	432,3		16,6	7,7	731,0	384,0	315974,8	165984,0
4	Виробничий корпус №2	0,5	44,9	425,8	470,7		17,3	34,4	487,0	359,0	229240,6	168988,5
5	Адміністративно-побутовий корпус	0,5	18,6	147,8	166,4		10,3	40,2	487,0	158,0	81046,5	26294,4
6	Столярно-заготівельний цех	0,5	6,1	238,2	244,3		12,5	9,1	295,0	46,0	72077,4	11239,2
7	Компресорне відділення	0,5	1,4	328,9	330,3		14,5	1,5	711,0	46,0	234814,9	15192,0
8	Експедиційний склад готових виробів	0,5	3,1	12,3	15,4		3,1	71,6	1197,0	64,0	18409,9	984,3
9	Дільниця нестандартного оснащення	0,5	2,5	107,8	110,2		8,4	8,1	1197,0	178,0	131933,3	19619,2
10	Ремонтно-сервісний цех	0,5	5,0	122,5	127,6		9,0	14,2	1198,0	316,0	152828,9	40312,1
11	Інструментально-налагоджувальний цех	0,5	6,6	359,2	365,8		15,3	6,5	1199,0	510,0	438606,2	186563,1
12	Пресово-гальванічний цех	0,5	6,7	429,7	436,4		16,7	5,5	1040,0	582,0	453866,4	253990,6
13	Теплогенераторна дільниця	0,5	2,9	134,9	137,8		9,4	7,5	722,0	598,0	99484,4	82398,4
14	Матеріальний склад	0,5	2,9	38,6	41,5		5,1	25,0	58,0	631,0	2405,3	26167,6
	Разом		164,2	3392,04	3556,24						2840240	1212940
	Координати центру навантажень								798,66	341,1		

З ВИБІР НАПРУГИ І ЕЛЕКТРИЧНИХ СХЕМ ЗОВНІШНЬОГО ТА ВНУТРІШНЬОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Раціональна побудова системи зовнішнього електропостачання промислового підприємства значною мірою визначається правильним вибором напруги та схеми електропостачання.

На вибір напруги та схеми зовнішнього електропостачання впливають такі основні чинники: розрахункове навантаження підприємства, рівень напруги можливих джерел живлення, відстань між джерелом живлення та споживачем, а також необхідний рівень надійності електропостачання.

Вибір напруги системи зовнішнього електропостачання зводиться до визначення такого її стандартного значення, яке задовольняє технічним вимогам і є найбільш економічно доцільним. Кінцеве проектне рішення приймається на основі порівняння приведених витрат за варіантами.

Приведені витрати за і-м варіантом визначаються за формулою:

$$Z_i = E_n \cdot K_i + C_i + C_{\text{втр } i}, \quad (3.1)$$

де E_n - нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень, 1/рік; K_i - сумарні капітальні вкладення, тис. грн; C_i - поточні витрати з передачі та розподілу електроенергії, тис. грн/рік; $C_{\text{втр } i}$ - вартість втрат електроенергії, тис. грн/рік.

Поточні витрати визначаються як сума амортизаційних відрахувань та витрат на ремонт і експлуатацію:

$$C_i = C_{ai} + C_{ei}. \quad (3.2)$$

Вартість втрат електроенергії обчислюється за виразом:

$$C_{\text{втр}} = c_0 \cdot \Delta W, \quad (3.3)$$

де c_0 - вартість 1 кВт·год втрат електроенергії, грн; ΔW - річні втрати електроенергії, кВт·год.

Втрати електроенергії в кабельних лініях визначаються за формулою:

$$\Delta W_{\text{л}} = \Delta P_{\text{лкм}} \cdot l_{\Sigma} \cdot K_3^2 \cdot \tau, \quad (3.4)$$

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

де $\Delta P_{1\text{км}}$ - втрати потужності в лінії на 1 км її довжини при максимально допустимому струмі, кВт/км; l_{Σ} - сумарна довжина кабельних ліній, км; K_3 - коефіцієнт завантаження кабельної лінії за струмом; τ - кількість годин максимальних втрат.

Для порівняння приймаються два варіанти електропостачання підприємства вагового обладнання:

1 варіант - живлення підприємства без РП радіальними кабельними лініями безпосередньо від ЦРП;

2 варіант - живлення підприємства радіальними кабельними лініями з установкою РП-10 кВ на території підприємства.

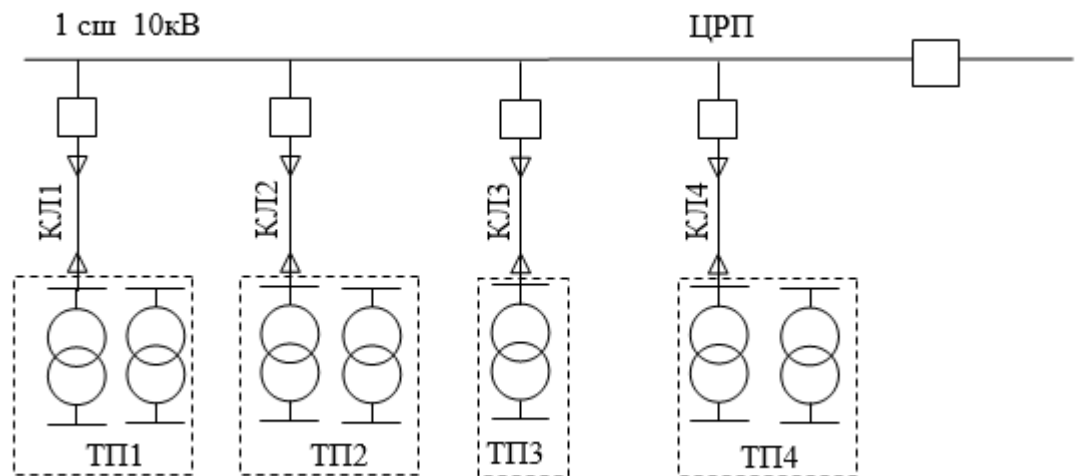


Рисунок 3.1 - Живлення підприємства без РП радіальними кабельними лініями безпосередньо від ЦРП

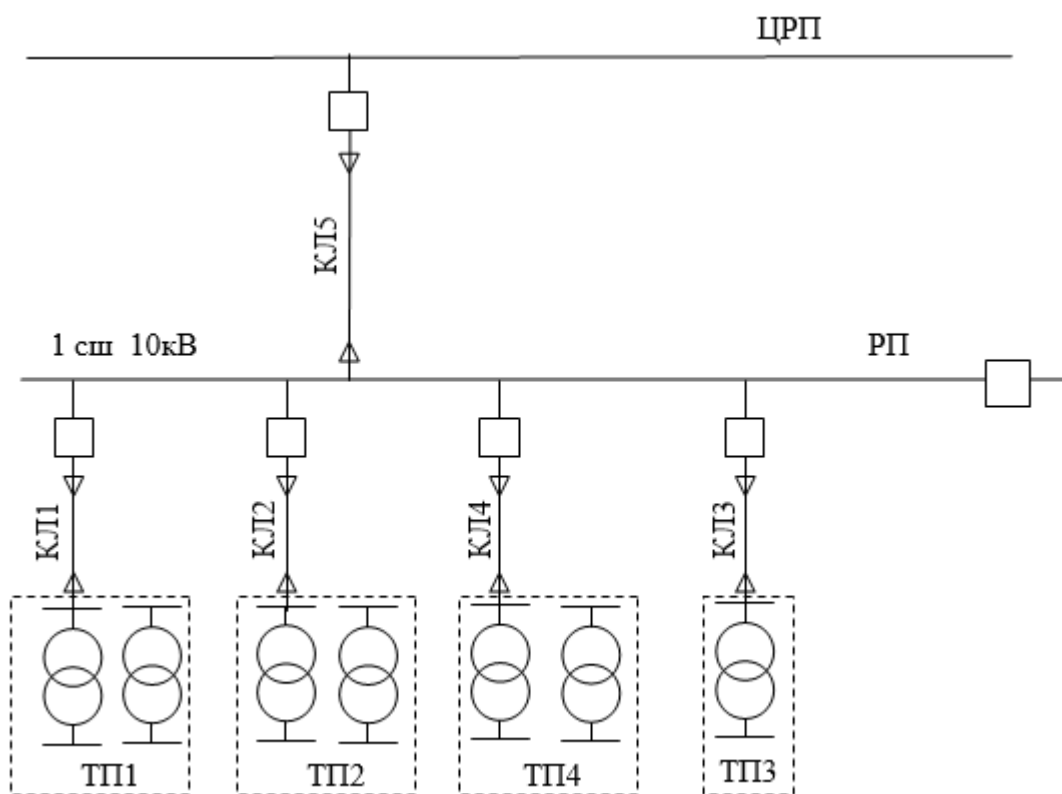


Рисунок 3.2 - Живлення підприємства радіальними кабельними лініями з установкою РП-10 кВ на території підприємства

Для внутрішніх розподільчих мереж приймається напруга 10 кВ, У цехових розподільчих мережах для живлення силових і освітлювальних електроприймачів використовується напруга 380/220 В,

1 варіант

Розрахунок параметрів кабельних ліній для схеми живлення від ЦРП до ТП1-ТП4

Живлення споживачів здійснюється радіальними кабельними лініями 10 кВ безпосередньо від шин ЦРП. Для розрахунку приймаються такі значення повної потужності навантажень: для ТП1 $S_p=1262,85$ кВА; для групи ТП2,3 $S_p=2033,6$ кВА; для ТП4 $S_p=1384,51$ кВА. Оскільки за схемою ТП2 і ТП3 живляться окремими лініями, сумарне навантаження ТП2,3 розподіляється між ними пропорційно кількості встановлених трансформаторів у співвідношенні 2:1.

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

$$S_{p(ТП2)} = 2/3 \cdot 2033,6 = 1355,73 \text{ кВА}, \quad S_{p(ТП3)} = 1/3 \cdot 2033,6 = 677,87 \text{ кВА}$$

Для внутрішніх розподільчих мереж приймається напруга 10 кВ. У цехових розподільчих мережах для живлення силових і освітлювальних електроприймачів використовується напруга 380/220 В. Кількість годин максимальних втрат приймається $\tau = 3315$ год.

Розрахунковий струм кабельної лінії визначається за формулою:

$$I_p = S_p / (\sqrt{3} \cdot U \cdot n)$$

Економічний переріз кабельної лінії:

$$F_{ек} = I_p / J_{ек}$$

де $J_{ек} = 1,4 \text{ А/мм}^2$ - економічна густина струму.

Для кабелю ААШв-10 (3×35) допустимий тривалий струм навантаження приймається $I_{доп} = 115 \text{ А}$, а втрати потужності на 1 км довжини при максимально допустимому струмовому навантаженні - $\Delta P_{1км} = 42 \text{ кВт/км}$.

Коефіцієнт завантаження кабелю:

$$K_3 = I_p / I_{доп}$$

Втрати потужності та енергії в лінії визначаються за виразами:

$$\Delta P_{л} = \Delta P_{1км} \cdot l_{\Sigma} \cdot K_3^2$$

$$\Delta E_{л} = \Delta P_{л} \cdot \tau$$

де l_{Σ} - сумарна довжина кабельної лінії з урахуванням кількості паралельних кабелів.

Розрахунок для кабельної лінії КЛІ, що живить ТПІ:

$$I_p = 1262,85 / (1,732 \cdot 10 \cdot 2) = 36,46 \text{ А}$$

$$F_{ек} = 36,46 / 1,4 = 26,04 \text{ мм}^2$$

Приймаємо стандартний переріз кабелю 35 мм² і кабель марки ААШв-10 (3×35).

$$K_3 = 36,46 / 115 = 0,32$$

$$l_{\Sigma} = 0,83 \cdot 2 = 1,66 \text{ км}$$

$$\Delta P_{л} = 42 \cdot 1,66 \cdot 0,32^2 = 7,01 \text{ кВт}$$

$$\Delta E_{л} = 7,01 \cdot 3315 = 23223,63 \text{ кВт·год}$$

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

Результати розрахунків для всіх кабельних ліній зведено до таблиць 3.1 - 3.2.

Таблиця 3.1 - Розрахунок параметрів кабельних ліній для заданої схеми

№ КЛ на схемі	Sp, кВА	n	Ip, А	Iф.р., А	Fек, мм ²	Fст, мм ²	Марка кабеля	Iдоп, А	Kз
КЛ1	1262,85	2	36,46	143,82	26,04	35	ААШв-10 (3×35)	115	0,32
КЛ2	1353,73	2	39,14	156,55	27,95	35	ААШв-10 (3×35)	115	0,34
КЛ3	677,87	1	39,14	39,14	27,95	35	ААШв-10 (3×35)	115	0,34
КЛ4	1384,51	2	39,97	159,87	28,55	35	ААШв-10 (3×35)	115	0,35

Таблиця 3.2 - Розрахунок втрат електричної енергії в кабельній мережі схеми

№ КЛ на схемі	Sp, кВА	n	Ip, А	Kз	l, км	ΔРл, кВт	ΔЕл, кВт·год
КЛ1	1262,85	2	36,46	0,32	0,83	7,01	23223,63
КЛ2	1353,73	2	39,14	0,34	0,85	8,27	27412,66
КЛ3	677,87	1	39,14	0,34	0,85	4,13	13706,53
КЛ4	1384,51	2	39,97	0,35	0,88	8,93	29597,89
Всього							93942,72

Сумарні втрати електричної енергії в кабельній мережі для заданої схеми становлять 93942,72 кВт·год на рік. За результатами розрахунку для всіх ліній економічно доцільним є використання кабелю ААШв-10 перерізом 3×35 мм².

Варіант 2

Розглядається схема живлення з установленням РП-10 кВ на території підприємства. Від ЦРП до РП прокладається окрема кабельна лінія, а від РП живляться ТП1, ТП2,3 та ТП4.

Для розрахунку приймаємо такі навантаження: $S_{рТП1}=1262,85$ кВА;
 $S_{рТП2,3}=2033,60$ кВА; $S_{рТП4}=1384,51$ кВА. Кількість годин максимальних втрат
 приймаємо $\tau = 3315$ год.

Розрахунковий струм лінії визначається за формулою:

$$I_p = S_p / (\sqrt{3} \cdot U \cdot n)$$

$$F_{ек} = I_p / j_{ек}$$

$$\Delta P_{л} = \Delta P_{лкм} \cdot l_{\Sigma} \cdot K_3^2$$

$$\Delta E_{л} = \Delta P_{л} \cdot \tau$$

де n - кількість паралельних кабелів; $U = 10$ кВ; $j_{ек} = 1,4$ А/мм².

Розрахунок для КЛ4 (ЦРП - РП).

Для живлячої лінії від ЦРП до РП сумарне навантаження становить:

$$S_p = 1262,85 + 2033,60 + 1384,51 = 4680,96 \text{ кВА}$$

$$I_p = 4680,96 / (\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 2) = 135,13 \text{ А}$$

$$F_{ек} = 135,13 / 1,4 = 96,52 \text{ мм}^2$$

Приймаємо економічно доцільний стандартний переріз кабелю ААШв-10 (3×120) із допустимим тривалим струмом 218 А.

$$K_3 = 135,13 / 218 = 0,62$$

$$l_{\Sigma} = 0,80 \cdot 2 = 1,60 \text{ км}$$

$$\Delta P_{л} = 12,25 \cdot 1,60 \cdot 0,62^2 = 7,53 \text{ кВт}$$

$$\Delta E_{л} = 7,53 \cdot 3315 = 24964,06 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Таблиця 3.3 - Розрахунок параметрів кабельних ліній

№ КЛ	Ділянка	S_p , кВА	n	I_p , А	$I_{ф.р.}$, А	$F_{ек}$, мм ²	$F_{ст}$, мм ²	Марка кабелю	$I_{доп}$, А	K_3
КЛ1	РП - ТП1	1262,85	2	36,46	72,91	26,04	35	ААШв-10 (3×35)	110	0,331
КЛ2	РП - ТП2,3	2033,60	3	39,14	58,70	27,95	35	ААШв-10 (3×35)	110	0,356
КЛ3	РП - ТП4	1384,51	2	39,97	79,93	28,55	35	ААШв-10 (3×35)	110	0,363
КЛ4	ЦРП - РП	4680,96	2	135,13	270,26	96,52	120	ААШв-10 (3×120)	218	0,620

Таблиця 3.4 - Розрахунок втрат електричної енергії в кабельній мережі

№ КЛ	Ділянка	S_p , кВА	n	I_p , А	K_3	l , км	$\Delta P_{л}$, кВт	$\Delta E_{л}$, кВт·год	Свтр, тис. грн
КЛ1	РП - ТП1	1262,85	2	36,46	0,331	0,030	0,28	917,53	7,88
КЛ2	РП - ТП2,3	2033,60	3	39,14	0,356	0,055	0,88	2908,03	24,98

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

КЛЗ	РП - ТП4	1384,51	2	39,97	0,363	0,080	0,89	2940,89	25,26
КЛ4	ЦРП - РП	4680,96	2	135,13	0,620	0,800	7,53	24964,06	214,44
Всього								31730,51	272,57

Таблиця 3.5 - Порівняння варіантів

Показник	Варіант 1	Варіант 2	Одиниця
Сумарні втрати електроенергії	102677,06	31730,51	кВт·год
Вартість втрат електроенергії	882,00	272,57	тис, грн
Орієнтовна вартість кабелю	6,21	3,32	тис, грн
Всього	103565,27	43752,08	тис, грн

За результатами порівняння другий варіант із встановленням РП-10 кВ на території підприємства є більш доцільним, оскільки забезпечує істотне зменшення втрат електроенергії та зниження орієнтовної вартості кабельної мережі.

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

4 РЕЖИМИ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ В СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ

4.1. Розрахунок балансу реактивної потужності та вибір компенсуючих установок

Передавання реактивної потужності від джерела живлення до електроприймачів супроводжується збільшенням струму в елементах мережі. Це, у свою чергу, викликає зростання втрат активної потужності, додаткові втрати напруги та ускладнює вибір перерізів кабельних ліній і потужності силових трансформаторів. Тому в системі електропостачання промислового підприємства доцільно обмежувати надходження реактивної потужності з боку енергосистеми та компенсувати її безпосередньо в мережі споживача.

Необхідну сумарну потужність компенсуючих пристроїв визначаємо за виразом:

$$Q_{\text{к}\Sigma} = Q_{\text{ф}} - Q_{\text{е}}, \quad (4.1)$$

де $Q_{\text{ф}}$ - фактичне реактивне навантаження в максимальному режимі;

$Q_{\text{е}}$ - реактивна потужність, яку допускається отримувати від енергосистеми.

На шинах 10 кВ приймаємо умову $\text{tg}\varphi = 0,15$.

За активного навантаження $P=2932,45$ кВт допустима реактивна потужність, яка може надходити з енергосистеми, становить:

$$Q_{\text{е}} = P \cdot \text{tg}\varphi = 2932,45 \cdot 0,15 = 439,87 \text{ квар} = 0,440 \text{ МВАр.}$$

За попередньо виконаними розрахунками реактивне навантаження на стороні 0,4 кВ до компенсації дорівнює:

$$Q_{0,4} = Q_{\text{р}} = 2655,72 \text{ квар} = 2,656 \text{ МВАр.}$$

Реактивні втрати в трансформаторах за зведеними розрахунками становлять:

$$\Delta Q_{\text{тр}} = 222,81 \text{ квар} = 0,223 \text{ МВАр.}$$

Тоді фактичне реактивне навантаження на шинах 10 кВ без компенсації буде

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

$$Q_{\phi} = Q_{0,4} + \Delta Q_{\text{тр}} = 2655,72 + 222,81 = 2878,53 \text{ квар} = 2,879 \text{ МВАр.}$$

Отже, потрібна сумарна потужність компенсуючих пристроїв

$$Q_{\kappa\Sigma} = Q_{\phi} - Q_e$$

$$Q_{\kappa\Sigma} = 2878,53 - 439,87 = 2438,66 \text{ квар} = 2,439 \text{ МВАр.}$$

Визначимо мінімально можливу кількість трансформаторів.

Мінімальну кількість трансформаторів визначаємо за формулою:

$$N_{\min} = P / (k_3 \cdot S_n), \quad (4.2)$$

де P - сумарна активна потужність споживання в мережах до 1000 В;

k_3 - коефіцієнт завантаження трансформаторів;

S_n - номінальна потужність одного трансформатора.

Приймаємо $k_3 = 0,67$, $S_n = 630 \text{ кВА}$.

$$N_{\min} = 2932,45 / (0,67 \cdot 630) = 6,95.$$

Після округлення одержуємо $N_{\min} = 7 \text{ шт.}$

Найбільша реактивна потужність, яка може бути передана з боку мережі 10 кВ у мережу до 1000 В без збільшення кількості трансформаторів, визначається за формулою:

$$Q_1 = \sqrt{(N \cdot k_3 \cdot S_n)^2 - P^2}. \quad (4.3)$$

Для порівняння приймаємо три варіанти: з 7, 8 і 9 трансформаторами.

Визначення питомих витрат на компенсацію

Порівняння варіантів виконуємо за величиною розрахункових витрат

$$З = З_{1н} \cdot Q_{\kappa н} + З_{1в} \cdot Q_{\kappa в} + K_{\text{т}} + C_{\text{пит}} \cdot \Delta P_{\text{тп}}, \quad (4.4)$$

де $З_{1н}$, $З_{1в}$ - питомі витрати на генерацію реактивної потужності батареями конденсаторів відповідно на стороні 0,4 кВ і 10 кВ, тис. грн/МВАр;

$Q_{\kappa н}$, $Q_{\kappa в}$ - потужності компенсації на нижчій і вищій напругах, МВАр;

$K_{\text{т}}$ - витрати на додатково встановлені трансформатори, тис. грн;

$\Delta P_{\text{тп}}$ - втрати активної потужності в трансформаторах, кВт.

Питомі витрати визначаємо за формулами

$$З_{1н} = E \cdot K_{\kappa н} + \Delta P_{\kappa н} \cdot C_{\text{пит}}, \quad (4.5)$$

$$З_{1в} = E \cdot K_{\kappa в} + \Delta P_{\kappa в} \cdot C_{\text{пит}}. \quad (4.6)$$

Приймаємо:

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

$$E = 0,12 + 0,15 + 0,05 = 0,32,$$

$$\Delta P_{\text{кн}} = 4,5 \text{ кВт/МВАр}, \Delta P_{\text{кв}} = 2,5 \text{ кВт/МВАр}.$$

Питома вартість втрат активної потужності за орієнтовною ціною електроенергії для побутових споживачів 8,61846 грн/кВт·год і $\tau = 3315$ год становить:

$$C_{\text{пит}} = c_0 \cdot \tau / 1000 = 8,61846 \cdot 3315 / 1000 = 28,5702 \text{ тис. грн/кВт}.$$

Для компенсації на стороні 0,4 кВ приймаємо актуальну ринкову ціну автоматичної установки УКРМ 0,4-400 кВАр - 137750 грн, що відповідає питомій вартості:

$$K_{\text{кн}} = 137750 / 0,4 / 1000 = 344,38 \text{ тис. грн/МВАр}.$$

Для високовольтної компенсації використано актуальну ціну установки УКРМ 10.5-900 кВАр - 1 549 190 грн, що дає:

$$K_{\text{кв}} = 1549190 / 0,9 / 1000 = 1721,32 \text{ тис. грн/МВАр}.$$

Тоді

$$З_{1\text{н}} = 0,32 \cdot 344,38 + 4,5 \cdot 28,5702 = 238,77 \text{ тис. грн/МВАр},$$

$$З_{1\text{в}} = 0,32 \cdot 1721,32 + 2,5 \cdot 28,5702 = 622,25 \text{ тис. грн/МВАр}.$$

Втрати активної потужності в трансформаторах визначаємо за формулою

$$\Delta P_{\text{тп}} = N \cdot \Delta P_{\text{к}} \cdot (Q_1 / (N \cdot S_{\text{н}}))^2$$

де $\Delta P_{\text{к}} = 7,6$ кВт - втрати короткого замикання одного трансформатора потужністю 630 кВА.

Варіант І

Приймаємо $N = 7$ трансформаторів.

Тоді за формулою (4.3)

$$Q_1 = \sqrt{((7 \cdot 0,67 \cdot 630)^2 - 2932,45^2)} = 361,92 \text{ квар} = 0,362 \text{ МВАр}.$$

Потужність конденсаторних батарей на стороні 0,4 кВ:

$$Q_{\text{кн}} = Q_{0,4} - Q_1 = 2655,72 - 361,92 = 2293,80 \text{ квар} = 2,294 \text{ МВАр}.$$

Потужність компенсації на стороні 10 кВ:

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

$$Q_{\text{кв}} = Q_{\text{к}\Sigma} - Q_{\text{кн}} = 2438,66 - 2293,80 = 144,86 \text{ квар} = 0,145 \text{ МВАр.}$$

Втрати активної потужності в трансформаторах:

$$\Delta P_{\text{тп}} = 7 \cdot 7,6 \cdot (361,92 / (7 \cdot 630))^2 = 0,358 \text{ кВт.}$$

Тоді

$$З = 238,77 \cdot 2,294 + 622,25 \cdot 0,145 + 0,00 + 28,5702 \cdot 0,358 = 648,06 \text{ тис. грн.}$$

Варіант II

Приймаємо $N = 8$ трансформаторів.

Тоді за формулою (4.3)

$$Q_1 = \sqrt{((8 \cdot 0,67 \cdot 630)^2 - 2932,45^2)} = 1674,37 \text{ квар} = 1,674 \text{ МВАр.}$$

Потужність конденсаторних батарей на стороні 0,4 кВ:

$$Q_{\text{кн}} = Q_{0,4} - Q_1 = 2655,72 - 1674,37 = 981,35 \text{ квар} = 0,981 \text{ МВАр.}$$

Потужність компенсації на стороні 10 кВ:

$$Q_{\text{кв}} = Q_{\text{к}\Sigma} - Q_{\text{кн}} = 2438,66 - 981,35 = 1457,31 \text{ квар} = 1,457 \text{ МВАр.}$$

Втрати активної потужності в трансформаторах:

$$\Delta P_{\text{тп}} = 8 \cdot 7,6 \cdot (1674,37 / (8 \cdot 630))^2 = 6,710 \text{ кВт.}$$

Додаткові витрати на один трансформатор приймаємо

$$K_{\text{т}} = 392,68 \text{ тис. грн.}$$

Тоді

$$З = 238,77 \cdot 0,981 + 622,25 \cdot 1,457 + 392,68 + 28,5702 \cdot 6,710 = 1725,51 \text{ тис.}$$

грн.

Варіант III

Приймаємо $N = 9$ трансформаторів.

Тоді за формулою (4.3)

$$Q_1 = \sqrt{((9 \cdot 0,67 \cdot 630)^2 - 2932,45^2)} = 2415,03 \text{ квар} = 2,415 \text{ МВАр.}$$

Потужність конденсаторних батарей на стороні 0,4 кВ:

$$Q_{\text{кн}} = Q_{0,4} - Q_1 = 2655,72 - 2415,03 = 240,69 \text{ квар} = 0,241 \text{ МВАр.}$$

Потужність компенсації на стороні 10 кВ:

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

$$Q_{\text{кв}} = Q_{\text{к}\Sigma} - Q_{\text{кн}} = 2438,66 - 240,69 = 2197,97 \text{ квар} = 2,198 \text{ МВАр.}$$

Втрати активної потужності в трансформаторах:

$$\Delta P_{\text{тп}} = 9 \cdot 7,6 \cdot (2415,03 / (9 \cdot 630))^2 = 12,409 \text{ кВт}$$

Додаткові витрати на два трансформатори приймаємо

$$K_{\text{т}} = 785,36 \text{ тис. грн,}$$

Тоді

$$З = 238,77 \cdot 0,241 + 622,25 \cdot 2,198 + 785,36 + 28,5702 \cdot 12,409 = 2565,04 \text{ тис.}$$

грн.

Таблиця 4.1 - Порівняння варіантів компенсації реактивної потужності

Кількість тр-рів, шт.	Q_1 , МВАр	$Q_{\text{кн}}$, МВАр	$Q_{\text{кв}}$, МВАр	$K_{\text{т}}$, тис. грн	$\Delta P_{\text{тп}}$, кВт	$З$, тис. грн
7	0,362	2,294	0,145	0,00	0,358	648,06
8	1,674	0,981	1,457	392,68	6,710	1725,51
9	2,415	0,241	2,198	785,36	12,409	2565,04

Отже, найменші розрахункові витрати має варіант І, тому доцільно прийняти $N = 7$ трансформаторів, $Q_{\text{кн}} = 2294$ квар, $Q_{\text{кв}} = 145$ квар.

4.2. Вибір кількості, потужності та місця встановлення компенсуючих пристроїв

За результатами розрахунку необхідно забезпечити компенсацію:

- на стороні 0,4 кВ: $Q_{\text{кн}} = 2294$ квар;
- на стороні 10 кВ: $Q_{\text{кв}} = 145$ квар.

Для компенсації реактивної потужності в системі електропостачання підприємства прийнято встановлення сучасних автоматичних конденсаторних установок. На стороні 0,4 кВ встановлюються чотири установки типу УКРМ 0,4-400-11-10-31У3 сумарною потужністю 1600 квар. На стороні 10 кВ передбачено встановлення двох комплектних конденсаторних установок типу ККУ-10-450-У3 сумарною потужністю 900 квар.

Загальна потужність компенсуючих пристроїв становить 2500 квар, що забезпечує нормативний режим роботи електричної мережі.

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

$$Q_{\text{кн,пр}} = 4 \cdot 400 = 1600 \text{ квар.}$$

$$Q_{\text{кв,пр}} = 2 \cdot 450 = 900 \text{ квар.}$$

$$Q_{\text{ку}} = Q_{\text{кн,пр}} + Q_{\text{кв,пр}} = 1600 + 900 = 2500 \text{ квар.}$$

Відхилення від розрахункової потреби становить

$$\Delta Q = 2500 - 2438,66 = 61,34 \text{ квар.}$$

Після встановлення компенсуючих пристроїв залишкова реактивна потужність на шинах 10 кВ становитиме

$$Q_{\text{зал}} = Q_{\text{ф}} - Q_{\text{ку}} = 2878,53 - 2500 = 378,53 \text{ квар.}$$

$$\text{tg}\varphi_{\text{після}} = Q_{\text{зал}}/P = 378,53/2932,45 = 0,129.$$

Отже, умова $\text{tg}\varphi \leq 0,15$ виконується.

Таблиця 4.2 - Вибір кількості та місця встановлення компенсуючих пристроїв

Номер КТП	Кількість тр-рів	Sn.тр, кВА	Qку, квар	Місце встановлення
ТП-1	2	630	(2 x 400)	На шинах 0,4 кВ ТП
ТП-2	2	630	(1 x 400)	На шинах 0,4 кВ ТП
ТП-3	1	630	-	-
ТП-4	2	630	(1 x 400)	На шинах 0,4 кВ ТП
РП-10 кВ	-	10 кВ	(2 x 450)	На шинах 10 кВ РП

Сумарна компенсація на стороні 0,4 кВ:

$$Q_{\text{кн,пр}} = 1600 \text{ квар.}$$

Сумарна компенсація на стороні 10 кВ:

$$Q_{\text{кв,пр}} = 900 \text{ квар.}$$

В результаті розрахунку встановлено, що сумарна необхідна потужність компенсуючих пристроїв для системи електропостачання підприємства становить $Q_{\Sigma} = 2438,66$ квар.

Порівняння трьох варіантів за величиною розрахункових витрат показало, що найекономічнішим є варіант із $N = 7$ трансформаторами, для якого необхідно забезпечити компенсацію $Q_{\text{кн}} = 2294$ квар на стороні 0,4 кВ і $Q_{\text{кв}} = 145$ квар на стороні 10 кВ.

Для практичного впровадження прийнято встановити чотири установки по 400 квар на стороні 0,4 кВ і одну високовольтну установку 900 квар на

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

стороні 10 кВ. Після цього $\text{tg}\varphi = 0,129$, тобто вимога щодо режиму реактивної потужності на шинах 10 кВ виконується.

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

Таблиця 4.3 – Уточнення навантажень після компенсації

№	Назва групи споживачів	Кіль- ть ЕС	Р одного, кВт			Рсум, кВт	m	Кв	cosφ	tgφ	Середнє навантаження, кВт, квар		пєф	Км	Розрахункове навантаження			
			min		max						Рсм, кВт	Qсм, квар			Рр, кВт	Qр, квар	Sp, кВА	
1	2	3	4		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
1	ТП№1																	
	Виробничий корпус №2																	
	силова		46	0,80	-	48,00	671,40	63	0,53	0,66	1,13	354,82	400,37	27	1,20	425,78	400,37	584,45
	освітлювальна															44,94	21,58	
	Всього															470,72	421,95	632,15
	Адміністративно-побутовий корпус																	
	силова		21	0,60	-	10,20	193,40	22	0,68	0,82	0,70	131,51	92,06	21	1,124	147,82	92,06	174,14
	освітлювальна															18,60	8,93	
	Всього															166,42	100,99	194,67
	Столярно-заготівельний цех																	
	силова		29	0,50	-	29,10	420,00	55	0,46	0,64	1,19	194,92	231,79	29	1,222	238,19	231,79	332,36
	освітлювальна															6,14	2,95	
	Всього															244,33	234,74	338,82
	Матеріальний склад																	
	силова		8	2,00	-	10,40	62,40	5	0,39	0,67	1,10	24,47	26,93	8	1,577	38,59	26,93	47,06
	освітлювальна															2,88	4,97	
	Всього															41,47	31,90	52,32
	Всього по ТП№1																	
	силова		104	0,50		48,00	1347,20		0,52	0,68	1,06	705,72	751,15	104	1,205	850,38	751,15	1134,62
	освітлювальна															72,56	38,43	
	Всього на шинах 0,4 кВ ТП1															922,94	789,58	1214,60
	Втрати в трансформаторах															15,61	55,36	
	Кількість трансформаторів:	2																
	Номінальна потужність, кВА:	630																
	Коефіцієнт завантаження Kз=	0,75																
	КУ																-400,00	
	Всього на шинах 10 кВ ТП№1															938,55	444,94	1038,68

Продовження табл.4.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17		
2	ТП№2,3																	
	Механоскладальна дільниця																	
	силова		65	0,50	-	29,40	792,30	50	0,41	0,67	1,11	327,65	362,16	22	1,291	423,00	362,16	556,86
	освітлювальна															9,25	4,44	
	Всього															432,25	366,60	566,78
	Пакувально-маркувальна дільниця																	
	силова		30	0,90	-	15,70	278,00	16	0,65	0,78	0,80	181,18	145,22	28	1,139	206,36	145,22	252,34
	освітлювальна															13,01	6,25	
	Всього															219,37	151,47	266,58
	Пресово-гальванічний цех																	
	силова		63	0,50	-	40,00	694,40	79	0,53	0,72	0,96	366,01	351,26	35	1,174	429,70	351,26	555,00
	освітлювальна															6,71	3,22	
	Всього															436,41	354,48	562,24
	Компресорне відділення																	
	силова		27	0,80	-	88,20	392,20	111	0,69	0,79	0,79	268,94	211,32	9	1,223	328,91	211,32	390,94
	освітлювальна															1,35	0,65	
	Всього															330,26	211,97	392,43
	Теплогенераторна дільниця																	
	силова		26	0,50	-	15,70	179,90	32	0,66	0,80	0,76	118,56	90,55	24	1,138	134,92	90,55	162,49
	освітлювальна															2,87	1,37	
	Всього															137,79	91,92	165,64
	Всього по ТП№2,3																	
	силова		211	0,50		88,20	2336,80		0,54	0,74	0,92	1262,34	1160,51	211	1,206	1522,89	1160,51	1914,67
	освітлювальна															33,19	15,93	
	Всього на шинах 0,4 кВ ТП2,3														1556,08	1176,44	1950,74	
	Втрати в трансформаторах														28,14	98,62		
	Кількість трансформаторів:	3																
	Номінальна потужність, кВА:	630																
	Коефіцієнт завантаження Кз=	0,84																
	КУ																-800,00	
	Всього на шинах 10 кВ ТП№2,3														1584,22	475,06	1653,92	

Продовження табл.4.3

1	2	3	4		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
3	ТП№4																	
	Дільниця дозування компонентів																	
	силова		70	0,20	-	45,90	648,70	220	0,55	0,75	0,89	356,98	316,00	28	1,168	416,95	316,00	523,17
	освітлювальна															41,29	19,82	
	Всього															458,24	335,82	568,12
	Інструментально-налагоджувальний цех																	
	силова		50	0,60	-	40,00	862,10	78	0,34	0,74	0,92	291,33	267,50	42	1,233	359,21	267,50	447,87
	освітлювальна															6,60	3,17	
	Всього															365,81	270,67	455,06
	Ремонтно-сервісний цех																	
	силова		22	0,50	-	26,90	248,60	57	0,36	0,79	0,79	88,86	70,10	19	1,379	122,54	70,10	141,17
	освітлювальна															5,03	2,42	
	Всього															127,57	72,52	146,74
	Експедиційний склад готових виробів																	
	силова		7	0,90	-	3,10	14,00	3	0,69	0,79	0,79	9,61	7,58	8	1,282	12,32	7,58	14,47
	освітлювальна															3,06	5,29	
	Всього															15,38	12,87	20,05
	Дільниця нестандартного оснащення																	
	силова		23	0,50	-	26,90	194,20	57	0,40	0,69	1,06	77,97	82,88	14	1,382	107,75	82,88	135,94
	освітлювальна															2,47	1,19	
	Всього															110,22	84,07	138,62
	Всього по ТП№4																	
	силова		172	0,20		45,90	1967,60		0,42	0,74	0,90	824,75	744,06	172	1,235	1018,77	744,06	1261,55
	освітлювальна															58,45	31,89	
	КУ																-400,00	
	Всього на шинах 0,4 кВ ТП4															1077,22	775,95	1327,59
	Втрати в трансформаторах															19,69	68,83	
	Кількість трансформаторів:	2																
	Номінальна потужність, кВА:	630																
	Коефіцієнт завантаження Кз=	0,87																
	Всього на шинах 10 кВ ТП№4															1096,91	444,78	1183,66

Продовження табл.4.3

1	2	3	4		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
4	Всього по підприємству																	
	силова		487	0,20	-	88,20	5651,60	450	0,49	0,72	0,95	2792,81	2655,72	125	1,050	2932,45	2655,72	3956,27
	освітлювальна															172,31	100,28	
	Всього															3104,76	2756,00	4151,51
	Втрати в трансформаторах															63,44	222,81	
5	Всього по підприємству вагового обладнання															3168,20	2978,81	4348,65
	БК 10 кВ																-900,00	
	БК0,4 кВ																-1600,00	
6	Всього по підприємству на шинах 10 кВ															3168,20	478,81	3204,18

5 ВИБІР КІЛЬКОСТІ ТА ПОТУЖНОСТІ ТРАНСФОРМАТОРІВ

Під час визначення кількості, потужності та типу силових трансформаторів враховують низку технічних і експлуатаційних чинників. До основних належать: величина розрахункового навантаження, категорія надійності електропостачання споживачів, допустимий рівень завантаження обладнання, умови навколишнього середовища, а також наявність компенсації реактивної потужності.

На практиці для живлення виробничих підрозділів застосовують одно- та двотрансформаторні комплектні підстанції. Вибір їх кількості визначається як рівнем навантаження, так і вимогами до безперебійності електропостачання. Для більшості промислових об'єктів доцільним є використання двотрансформаторних підстанцій, оскільки вони забезпечують резервування та підвищують надійність живлення.

Потужність трансформаторів визначається з урахуванням коефіцієнта завантаження:

$$S_{\text{тр}} = \frac{(1,4 \cdot S_p)}{n}$$

Де S_p - розрахункове навантаження підстанції, кВА;

n - кількість трансформаторів.

Розрахунок для ТПП

Приймаємо двотрансформаторну підстанцію ($n=2$):

$$S_{\text{тр}} = \frac{(1,4 \cdot 1038,68)}{2} = 727,08 \text{ кВА}$$

Тип трансформатора: 2хТМ-630/10

Коефіцієнт завантаження:

$$K_3 = \frac{S_p}{(n \cdot S_{\text{тр}})} = \frac{1038.68}{(2 \cdot 630)} = 0.82$$

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	48

У разі аварійного режиму передбачається часткове відключення споживачів III категорії.

Для інших ТП зводимо дані в табл.5.1.

Таблиця 5.1 - Вибір трансформаторних підстанцій

№ ТП	Sp, кВА	Вид ТП	Nтр	Стр, кВА	Кз	Категорія	Місце
ТП1	1038,68	вбуд.	2	630	0,82	I, II, III	Корпус №2
ТП2,3	1653,92	вбуд.	3	630	0,55	I, II, III	Виробнича зона
ТП4	1183,66	вбуд.	2	630	0,9	I, II, III	Цех дозування компонентів

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

6 РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКИХ ЗАМИКАНЬ ТА ВИБІР ВИСОКОВОЛЬТНОГО ОБЛАДНАННЯ І ВИСОКОВОЛЬТНИХ МЕРЕЖ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

6.1. Розрахунок струмів короткого замикання

Для визначення струмів короткого замикання складається розрахункова однолінійна схема, до якої включають джерело живлення, кабельні лінії та трансформатори цехових підстанцій. На її основі формують схему заміщення, в якій усі елементи замінюються еквівалентними активними та індуктивними опорами.

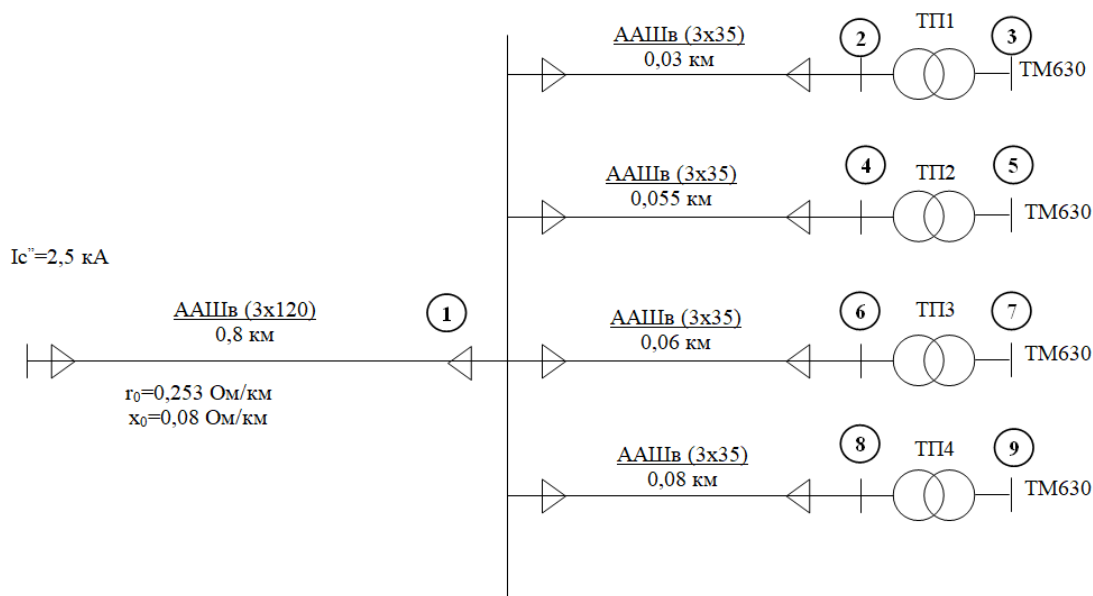


Рисунок 6.1 – Розрахункова схема

Початкове значення періодичної складової струму короткого замикання визначається за виразом:

$$I_{K''} = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot Z_{рез}}, \quad (6.1)$$

Для живильної ділянки до ЦРП приймаємо кабель ААШВ-10 3×120, а для відгалужень від ЦРП до цехових ТП підбираємо перерізи за економічною густиною струму. Економічно доцільний переріз визначається з виразу:

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

$$F_{ек} = I_p / j_{ек}, \quad (6.2)$$

де I_p - розрахунковий струм, А; $j_{ек}$ - економічна густина струму, А/мм².

Після вибору стандартного перерізу його перевіряють за допустимим струмовим навантаженням і за умовою термічної стійкості.

Розрахунок струмів кз.

1) струм короткого замикання на шинах 10 кВ джерела живлення $I_c'' = 2,5$ кА;

2) кабель до ЦРП - ААШВ-10 3×120, довжина $l = 0,8$ км;

3) питомі опори кабелю ААШВ-10 3×120: $r_0 = 0,253$ Ом/км, $x_0 = 0,08$ Ом/км;

4) довжини ліній від ЦРП до ТП: ЦРП–ТП1 - 0,83 км; ЦРП–ТП2 - 0,85 км; ЦРП–ТП3 - 0,85 км; ЦРП–ТП4 - 0,88 км.

Опір енергосистеми:

$$Z_c = U / (\sqrt{3} \cdot I_c'') = 10 / (1,73 \cdot 2,5) = 2,309 \text{ Ом}$$

Опір кабелю до ЦРП: $R_l = r_0 \cdot l = 0,253 \cdot 0,8 = 0,202$ Ом;

$$X_l = x_0 \cdot l = 0,08 \cdot 0,8 = 0,064 \text{ Ом}.$$

Еквівалентний опір до шин ЦРП:

$$R_{к1} = R_c + R_l = 0,302 \text{ Ом};$$

$$X_{к1} = X_c + X_l = 2,371 \text{ Ом}.$$

Струм КЗ на шинах ЦРП (точка К1):

$$I_{к1}'' = 10 / (1,73 \cdot \sqrt{(0,302^2 + 2,371^2)}) = 2,415 \text{ кА}.$$

$$T_a = \frac{X_{K1}}{\omega \cdot R_{K1}} = \frac{2,371}{314 \cdot 0,302} = 0,025 \text{ с}$$

$$i_y = \sqrt{2} I'' \left(1 + e^{-\frac{0,01}{T_a}} \right) = \sqrt{2} \cdot 2,415 \left(1 + e^{-\frac{0,01}{0,025}} \right) = 8,4 \text{ кА}$$

Визначимо мінімальний переріз кабелю по термічній стійкості

$$T_{відк} = t_{p.з} + t_{o.в} + \Delta t = 0,1 + 0,065 + 1,2 = 1,365 \text{ с}$$

$$W_k = 2,415^2 (1,365 + 0,025) = 8,1 \text{ кА}^2 \text{с}$$

$$F_{MIN} = \frac{\sqrt{8,1 \cdot 10^3}}{94} = 30,28 \text{ мм}^2$$

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

Для вузла ТП2,3 сумарне навантаження 1038,68 кВА розподілено між підстанціями пропорційно кількості трансформаторів, як у зразку: для ТП2 - 2/3, для ТП3 - 1/3 від загального навантаження.

Струми короткого замикання в характерних точках мережі наведені в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1- Струми КЗ в мережі 10 кВ підприємства

Точка КЗ	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ik'', кА	2,415	2,182	0,515	2,175	0,515	2,175	0,515	2,165	0,720

Точка К1 відповідає шинам 10 кВ ЦРП.

Точки К2, К4, К6, К8 - це шини 10 кВ відповідно ТП1, ТП2, ТП3 і ТП4.

Точки К3, К5, К7, К9 - шини 0,4 кВ підстанцій, причому струми наведені до сторони 10 кВ для однієї секції трансформатора.

Результати вибору кабелів 10 кВ наведені в таблиці 6.2.

Таблиця 6.2 - Вибір кабелів 10 кВ мережі підприємства

№ п/п	Найменування КЛ	№ тр	Sp, кВА	Ip, А	Fp, мм ²	Fст, мм ²	Fмін, мм ²	Ідоп, А	Іав.р, А	Ідоп', А
1	ЦРП-ТП1	2	1038,68	29,98	27,26	35	35	115	59,97	132,25
2	ЦРП-ТП2	2	692,45	19,99	18,17	35	35	115	39,98	132,25
3	ЦРП-ТП3	1	346,23	19,99	18,17	35	35	115	39,98	132,25
4	ЦРП-ТП4	2	1183,66	34,17	31,06	35	35	115	68,34	132,25

Для відгалужень від ЦРП до ТП економічно доцільним виявився кабель ААШв-10 3×35. Прийнятий переріз забезпечує допустиме тривале навантаження та задовольняє умові термічної стійкості.

6.2. Вибір високовольтного обладнання

У даному підрозділі виконується вибір високовольтних апаратів для розподільчого пристрою 10 кВ. До складу обладнання входять вимикачі, роз'єднувачі, обмежувачі перенапруг, трансформатори струму та трансформатори напруги. Вибір здійснюється за умовами робочої напруги,

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

максимального робочого струму, струму короткого замикання, а також за термічною і динамічною стійкістю.

Вибір вимикачів

Для комірок РП 10 кВ доцільно застосовувати вакуумні вимикачі, встановлені у комплектних розподільчих пристроях. У порівнянні з застарілими масляними та маломасляними апаратами вони мають менші експлуатаційні витрати, більший механічний ресурс і не потребують складного технічного обслуговування. Як базовий апарат приймаємо вакуумний вимикач VCB15-LD виробництва Tavrida Electric. Для нього характерні такі основні параметри: $U_{\text{ном}}=12$ кВ, $I_{\text{ном}}=800$ А, $I_{\text{відк.ном}}=20$ кА, $i_{\text{дин}}=50$ кА, $I_{\text{терм}}=20$ кА протягом 4 с.

Максимальний робочий струм на шинах 10 кВ РП визначається за виразом:

$$I_{\text{роб.макс}} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{3204,18}{\sqrt{3} \cdot 10} = 184,99 \text{ А}$$

Для лінії, що відходить до ТП1:

$$I_{\text{роб}} = 1038,68 / (1,732 \cdot 10) = 59,97 \text{ А}$$

Для перевірки вимикача на шинах 10 кВ використовуємо розрахункові дані попереднього розділу:

- початковий струм КЗ $I'' = 2,415$ кА
- ударний струм $i_y = 8,4$ кА
- тепловий імпульс $B_k = 8,1$ кА²·с

Таблиця 6.3 – Вибір вимикача на шинах 10 кВ

Умови вибору	Розрахункові дані	Каталожні дані
$U_{\text{уст}} \leq U_{\text{ном}}$	10 кВ	12 кВ
$I_{\text{роб.макс}} \leq I_{\text{ном}}$	184,99 А	800 А
$I'' \leq I_{\text{відк.ном}}$	2,415 кА	20 кА
$I'' \leq I_{\text{терм}}$	2,415 кА	20 кА
$i_y \leq i_{\text{дин}}$	8,4 кА	50 кА
$B_k \leq I_{\text{терм}}^2 \cdot t$	8,1 кА ² ·с	1600 кА ² ·с

Отже, для шин 10 кВ РП прийнятий вимикач VCB15-LD 12 кВ, 800 А, 20 кА задовольняє всі умови вибору. Аналогічний апарат може бути використаний і на лініях, що відходять, оскільки робочі струми там ще менші.

Для лінії до ТП1 перевірка має вигляд:

$$I_{роб} = 59,97 \text{ А} < I_{ном} = 800 \text{ А}$$

$$I'' = 2,415 \text{ кА} < I_{відк.ном} = 20 \text{ кА}$$

$$i_y = 8,4 \text{ кА} < i_{дин} = 50 \text{ кА}$$

Отже, на лінії до ТП1 також приймаємо вимикач VCB15-LD 12 кВ, 800 А, 20 кА.

Вибір трансформаторів струму

Трансформатори струму підбираються за рівнем напруги, первинним струмом, класом точності та умовами термічної стійкості. Для ввідної комірки 10 кВ доцільно прийняти трансформатор струму з коефіцієнтом трансформації 200/5, оскільки максимальний робочий струм на шинах становить близько 185 А. Для лінії на ТП1 достатнім є коефіцієнт 75/5, бо робочий струм не перевищує 60 А. Як орієнтир можна використовувати трансформатори струму класу 10 кВ з номінальними коефіцієнтами 200/5 та 75/5 А.

Приймаємо:

- на вводі РП – ТПЛ 10 кВ 200/5 А;
- на лінії до ТП1 – ТПЛ 10 кВ 75/5 А.

Вибір трансформаторів напруги

Для вимірювання напруги, обліку електроенергії та роботи пристроїв релейного захисту приймається трансформатор напруги типу НАМИ-10, який широко застосовується в електричних мережах напругою 10 кВ з коефіцієнтом трансформації: 10000 / 100 / 100 В

Вибраний трансформатор забезпечує необхідну точність вимірювання та надійність роботи систем релейного захисту і автоматики.

Вибір обмежувачів перенапруг

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	54

Для захисту обладнання РП 10 кВ від атмосферних та комутаційних перенапруг доцільно встановити полімерні обмежувачі перенапруг класу 10 кВ. Для мережі такого рівня напруги можна прийняти сучасний ОПН 10 кВ полімерного виконання з номінальною напругою 10–12 кВ. Полімерні ОПН мають меншу масу, кращу вологостійкість і вищу експлуатаційну надійність у порівнянні з порцеляновими.

Вибір роз'єднувачів

Роз'єднувачі обираються за напругою установки та максимальним робочим струмом. Для мережі 10 кВ, де струм на шинах не перевищує 185 А, достатньо встановити роз'єднувачі на 10 кВ, 400 А РВО-10. Такий апарат забезпечує необхідний запас по струму і може застосовуватися для секціонування та ремонтних перемикачів.

Вибір трансформаторів власних потреб

Оскільки окремі вихідні дані щодо навантаження власних потреб не задані, для розрахунку приймаємо їх відповідно до зразка. Сумарне активне навантаження власних потреб становить:

$$P_{ВП} = 13 \text{ кВт}$$

Для живлення кіл опалення, освітлення та оперативних ланцюгів приймаємо два трансформатори власних потреб типу:

ТМ-25/10

Коефіцієнт завантаження:

$$K_3 = 13 / 50 = 0,26$$

Це свідчить про допустимий режим роботи трансформаторів власних потреб.

						Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

7 ОРГАНІЗАЦІЯ ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ НА ПІДПРИЄМСТВІ ВАГОВОГО ОБЛАДНАННЯ

7.1. Енергоменеджмент підприємств, як системний підхід до оптимізації енергоресурсів.

Ефективне використання енергетичних ресурсів на сучасних промислових підприємствах є одним із ключових чинників забезпечення економічної стійкості виробництва. Особливо це стосується підприємств, що займаються виготовленням вагового обладнання, де технологічні процеси пов'язані з використанням значної кількості електромеханічних систем, вимірювальної техніки та допоміжного обладнання. У таких умовах впровадження системи енергоменеджменту дозволяє забезпечити комплексний підхід до управління енергоспоживанням і підвищення енергоефективності.

Служба енергетичного менеджменту виступає структурним елементом системи енергоменеджменту підприємства та інтегрує кадровий потенціал, інструменти обліку, контролю й аналітичного оцінювання ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів. Функціонування даної служби спрямоване на формування стратегічних і тактичних цілей у сфері енергоефективності, забезпечення їх практичної реалізації, а також досягнення встановлених показників енергетичної результативності в електротехнічних системах.

Організація енергоменеджменту на підприємстві передбачає формування цілісної системи управління, що охоплює всі етапи використання енергоресурсів - від їх обліку до оптимізації режимів споживання. Основою такої системи є постійний моніторинг енергетичних потоків, аналіз отриманих даних і прийняття рішень щодо зниження витрат. Важливим аспектом є інтеграція технічних і організаційних заходів, що дозволяє досягти максимального ефекту.

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

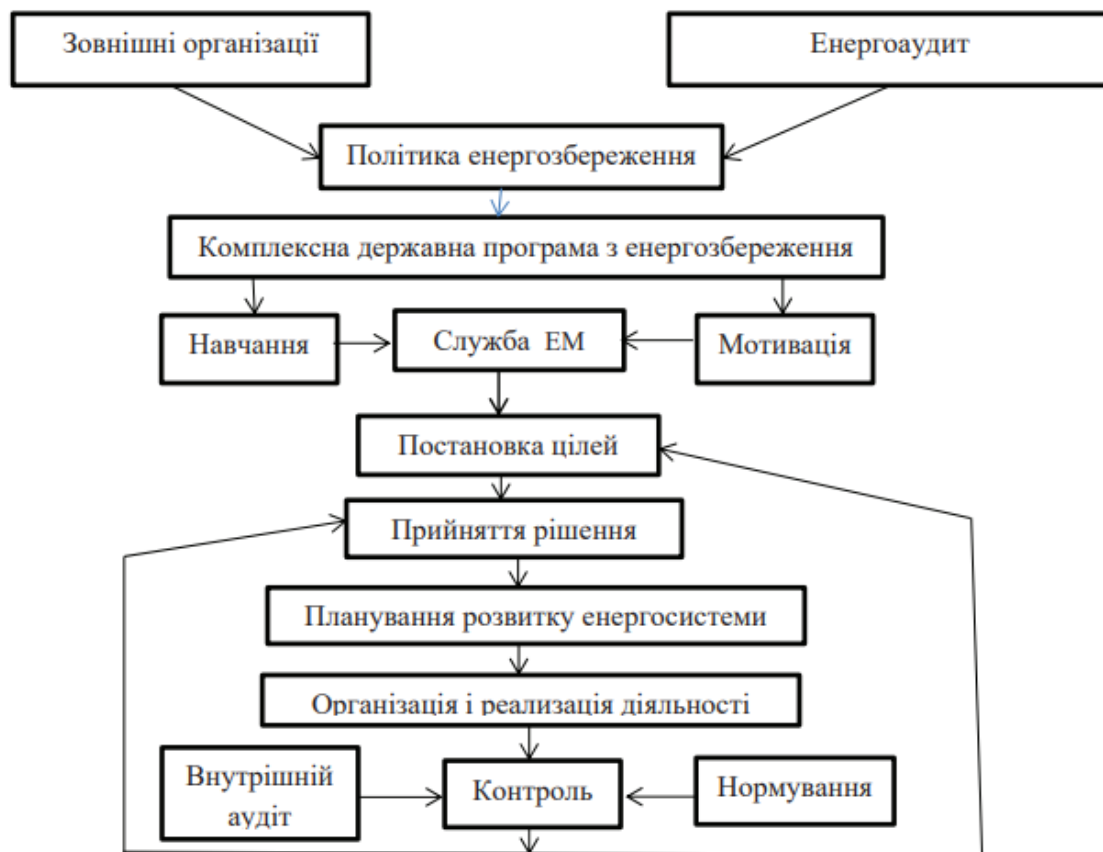


Рисунок 7. 1 - Організаційна частина системи енергоменеджменту

Джерело: Красностанова Н.Е., Яроміч С.А., Яценко О.В. Шляхи впровадження енергетичного менеджменту на підприємствах України. Київський економічний науковий журнал № 6, 2024.



Рисунок 7.2 - Фактори, що впливають на реалізацію програм енергоменеджменту

Джерело: Красностанова Н.Е., Яроміч С.А., Яценко О.В. Шляхи впровадження енергетичного менеджменту на підприємствах України. Київський економічний науковий журнал № 6, 2024.

На підприємствах вагового обладнання структура енергоспоживання характеризується переважанням електричної енергії, яка використовується для живлення верстатів, зварювальних установок, вентиляційних систем, компресорів і систем освітлення. Значна частина споживання припадає на електроприводи, які часто працюють у нерегульованих режимах, що призводить до перевитрат енергії. У зв'язку з цим одним із ключових напрямів енергоменеджменту є оптимізація роботи електроприводів і впровадження частотного регулювання.

Організаційна структура системи енергоменеджменту передбачає визначення відповідальних осіб за управління енергоспоживанням. Як правило, на підприємстві призначається енергоменеджер, який координує процеси збору та аналізу даних, розробляє заходи з енергозбереження та контролює їх реалізацію. Крім того, важливу роль відіграє взаємодія між виробничими підрозділами, оскільки ефективність енергоменеджменту значною мірою залежить від узгодженості роботи всіх дільниць.

Після ідентифікації складу будівель і споруд підприємства, встановлення базового рівня енергоспоживання та впровадження системи його постійного моніторингу, наступним етапом є реалізація заходів, спрямованих на зниження витрат енергетичних ресурсів. У випадках, коли впровадження таких заходів потребує капітальних вкладень, доцільним є розроблення техніко-економічного обґрунтування (ТЕО), яке дозволяє оцінити ефективність інвестицій.

Поглиблені розрахунки, як правило, виконуються в процесі проведення енергетичного аудиту, однак значна частина попередніх оцінок може бути здійснена власними силами підприємства із використанням доступних аналітичних інструментів.

Загальна методика підготовки техніко-економічного обґрунтування включає такі основні етапи:

1. Визначення потенціалу енергозбереження від впровадження запропонованих заходів на основі аналізу фактичного енергоспоживання та

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

технічних характеристик обладнання. Для цього можуть застосовуватися типові розрахункові методики та спеціалізовані програмні засоби.

2. Переведення отриманого ефекту енергозбереження у грошовий еквівалент з урахуванням діючих тарифів на енергетичні ресурси.

3. Оцінювання капітальних витрат на реалізацію заходів, що може здійснюватися на основі аналізу ринкових пропозицій, відкритих тендерних платформ або комерційних пропозицій постачальників обладнання та підрядних організацій.

4. Визначення терміну окупності проекту шляхом співвідношення обсягу інвестицій до величини очікуваної річної економії, з обов'язковим урахуванням експлуатаційних та сервісних витрат.

5. Формування описової частини проекту, що включає обґрунтування доцільності впровадження заходу, аналіз його переваг, оцінку можливих ризиків та розроблення заходів щодо їх мінімізації.

Застосування зазначеного підходу дозволяє забезпечити обґрунтованість управлінських рішень у сфері енергозбереження та підвищити ефективність використання фінансових ресурсів підприємства.

Одним із ключових елементів організації енергоменеджменту є система обліку електроенергії. Використання автоматизованих систем обліку дозволяє отримувати детальну інформацію про споживання на різних рівнях - від усього підприємства до окремих агрегатів. Це дає можливість виявляти неефективні ділянки, оцінювати динаміку споживання та своєчасно реагувати на відхилення. Впровадження технологій Smart Metering значно підвищує точність обліку та забезпечує можливість дистанційного контролю.

Важливим напрямом енергоменеджменту є аналіз графіків навантаження. На підприємствах вагового обладнання часто спостерігається нерівномірність споживання електроенергії, що проявляється у вигляді пікових навантажень у певні періоди доби. Це призводить до підвищення витрат та зниження ефективності використання електричних мереж.

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

Оптимізація графіків роботи обладнання дозволяє зменшити пікові навантаження та забезпечити більш рівномірний розподіл споживання.

Суттєвим елементом організації енергоменеджменту є впровадження технічних заходів, спрямованих на зниження енергоспоживання. До них належать модернізація освітлення, застосування енергоефективних електродвигунів, використання частотних перетворювачів, а також оптимізація роботи компресорних і вентиляційних систем. Важливою особливістю є те, що більшість таких заходів має відносно короткий строк окупності, що робить їх економічно доцільними.

Крім технічних рішень, значну роль відіграють організаційні заходи. До них відносяться планування режимів роботи обладнання, навчання персоналу принципам енергоефективності, а також впровадження систем мотивації, спрямованих на зниження енергоспоживання. Формування культури раціонального використання енергії є важливим фактором успішної реалізації енергоменеджменту.

Особливу увагу слід приділити інтеграції системи енергоменеджменту з цифровими технологіями. Використання програмного забезпечення для аналізу даних дозволяє не лише контролювати поточне споживання, але й прогнозувати його зміну, що відкриває можливості для більш ефективного планування виробничих процесів. У сучасних умовах цифровізація є невід'ємною складовою розвитку енергетичних систем підприємства.

Таким чином, організація енергоменеджменту на підприємстві вагового обладнання є складним багаторівневим процесом, що включає технічні, організаційні та інформаційні компоненти. Комплексне впровадження таких заходів дозволяє суттєво підвищити ефективність використання енергоресурсів, знизити витрати та забезпечити сталий розвиток підприємства. Отримані результати свідчать про доцільність подальшого розвитку систем енергоменеджменту з урахуванням сучасних тенденцій цифровізації та автоматизації.

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	60

7.2. Впровадження системи енергоменеджменту на підприємстві вагового обладнання

Досліджуване підприємство спеціалізується на розробці, виробництві та технічному обслуговуванні сучасного вагового обладнання, зокрема електронних ваг, автоматизованих дозаторів та тензометричних вимірювальних систем. Виробничий процес характеризується використанням широкого спектра електротехнічного та механічного обладнання, що обумовлює значне споживання електричної енергії.

До основних енергоємних технологічних процесів підприємства належать:

- механічна обробка металів із застосуванням металорізальних верстатів різних типів;
- виконання зварювальних операцій із використанням електрозварювального обладнання;
- фарбування виробів у спеціалізованих камерах із системами примусової вентиляції;
- проведення випробувань продукції на стендах із підвищеним електроспоживанням;
- функціонування систем вентиляції, кондиціонування повітря та штучного освітлення виробничих і складських приміщень.

Зазначені процеси формують основне електричне навантаження підприємства та визначають доцільність впровадження ефективної системи енергоменеджменту.

7.2.1. Етапи впровадження системи енергоменеджменту

1) Проведення енергетичного аудиту

На початковому етапі було виконано комплексний енергетичний аудит підприємства відповідно до вимог міжнародного стандарту ISO 50001, що регламентує побудову систем енергетичного менеджменту. Обстеження включало аналіз структури споживання електроенергії, ідентифікацію

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

основних споживачів, а також оцінку ефективності функціонування електротехнічних систем.

У результаті аудиту було виявлено низку суттєвих недоліків:

- перевитрати електричної енергії в компресорній установці, які сягали до 25% внаслідок витоків повітря та нераціональних режимів роботи;
- використання застарілих люмінесцентних джерел світла з низькою енергоефективністю;
- значні втрати електроенергії в електроприводах, що працюють без регулювання швидкості та навантаження.

Отримані результати стали основою для подальшого формування заходів з підвищення енергоефективності.

2) Формування системи енергоменеджменту

На основі результатів енергетичного аудиту було розроблено та впроваджено систему енергоменеджменту підприємства. У її межах:

- сформовано енергетичну політику, яка визначає стратегічні цілі та принципи раціонального використання енергетичних ресурсів;
- створено спеціалізовану групу енергоменеджменту, відповідальну за координацію заходів, аналіз споживання енергії та впровадження інноваційних рішень;
- впроваджено систему моніторингу енергоспоживання на основі технологій Smart Metering, що забезпечує безперервний збір, обробку та аналіз даних у режимі реального часу.

Це дозволило підвищити прозорість енергоспоживання та оперативність прийняття управлінських рішень.

3) Реалізація технічних заходів

З метою зниження енерговитрат було впроваджено комплекс технічних рішень у ключових підсистемах підприємства.

Електроприводи:

- встановлено частотні перетворювачі для регулювання швидкості обертання електродвигунів вентиляційних та насосних установок;

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

– оптимізовано режими роботи верстатного обладнання з урахуванням фактичного навантаження.

Система освітлення:

– здійснено поетапну заміну люмінесцентних ламп на енергоефективні світлодіодні джерела світла;

– впроваджено датчики руху та автоматизоване керування освітленням у складських та допоміжних приміщеннях.

Компресорне господарство:

– проведено комплекс заходів із виявлення та усунення витоків стисненого повітря;

– реалізовано автоматичне регулювання тиску в системі залежно від споживання.

Система обліку електроенергії:

– встановлено багатотарифні лічильники для оптимізації витрат на електроенергію;

– впроваджено спеціалізоване програмне забезпечення для аналізу, прогнозування та візуалізації енергоспоживання.

4) Організаційні заходи

Поряд із технічними рішеннями було реалізовано низку організаційних заходів, спрямованих на підвищення загальної енергетичної культури підприємства:

– проведено навчання персоналу щодо принципів енергоефективного використання обладнання;

– запроваджено систему ключових показників ефективності (KPI), що враховують рівень енергоспоживання;

– оптимізовано графіки роботи обладнання з метою зменшення пікових навантажень на електричну мережу.

Впровадження системи енергоменеджменту на підприємстві вагового обладнання забезпечує комплексне підвищення енергоефективності за рахунок поєднання технічних і організаційних рішень. Найбільший ефект

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

досягається при інтеграції автоматизованого обліку, модернізації електроприводів та оптимізації виробничих процесів.

7.2.2. Розрахунок ефективності впровадження енергоменеджменту

1) Розрахунок економії електроенергії від встановлення частотного перетворювача

Для оцінювання ефективності регулювання швидкості електропривода розглянемо вентиляційну установку, яка експлуатується на підприємстві. Вона працює у тривалому режимі та належить до типових споживачів електроенергії у системах вентиляції.

Задані параметри:

- 1) номінальна потужність електродвигуна: $P_1 = 15 \text{ кВт}$;
- 2) тривалість роботи: $t = 10 \text{ год/добу}$;
- 3) кількість робочих днів на рік: $D = 250 \text{ днів}$;
- 4) після регулювання швидкість вентилятора знижується до 80 % від номінальної;
- 5) тариф на електроенергію: $C = 6,5 \text{ грн/кВт}\cdot\text{год}$.

Варто зазначити, що вентиляційні установки зазвичай працюють із надлишковою продуктивністю, яка регулюється дроселюванням повітряного потоку. Такий підхід є енергетично неефективним, оскільки електродвигун продовжує працювати на повній потужності. Використання частотного перетворювача дозволяє змінювати швидкість обертання вентилятора, що безпосередньо впливає на споживану потужність.

Для вентиляторів, насосів і компресорів діють так звані закони подібності, відповідно до яких споживана потужність змінюється пропорційно кубу швидкості обертання:

$$P_2 = P_1 \cdot (n_2/n_1)^3$$

де P_1 - початкова потужність;

P_2 - потужність після регулювання;

n_2/n_1 - відносна зміна швидкості.

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

Це означає, що навіть незначне зниження швидкості обертання призводить до суттєвого зменшення енергоспоживання. Саме тому впровадження частотного регулювання є одним із найбільш ефективних заходів енергозбереження для електроприводів.

Після зниження швидкості вентилятора до 80 % від номінальної визначаємо нову споживану потужність:

$$P_2 = 15 \cdot (0,8)^3 = 15 \cdot 0,512 = 7,68 \text{ кВт}$$

Отриманий результат свідчить про суттєве зниження навантаження на електродвигун.

Оцінка економії потужності

Різниця між початковою та новою потужністю визначає миттєву економію:

$$\Delta P = P_1 - P_2 = 15 - 7,68 = 7,32 \text{ кВт}$$

Це означає, що при роботі установки в новому режимі споживання електроенергії зменшується майже вдвічі.

Розрахунок річної економії електроенергії

Для визначення загального ефекту необхідно врахувати тривалість роботи обладнання протягом року:

$$W_{ек} = \Delta P \cdot t \cdot D$$

$$W_{ек} = 7,32 \cdot 10 \cdot 250 = 18300 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{рік}$$

Таким чином, навіть для однієї вентиляційної установки річний обсяг зекономленої електроенергії є досить значним.

Визначення економічного ефекту

Переведемо отриману економію в грошовий еквівалент з урахуванням діючого тарифу:

$$E = W_{ек} \cdot C$$

$$E = 18300 \cdot 6,5 = 118950 \text{ грн} / \text{рік}$$

Отримане значення демонструє, що впровадження частотного перетворювача дозволяє забезпечити істотне скорочення експлуатаційних витрат підприємства.

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

Проведені розрахунки підтверджують високу ефективність застосування частотного регулювання в системах вентиляції. Зменшення швидкості обертання електродвигуна лише на 20 % забезпечує зниження споживаної потужності більш ніж на 48 %, що обумовлено кубічною залежністю між швидкістю та потужністю.

З практичної точки зору, впровадження частотних перетворювачів дозволяє:

- адаптувати роботу обладнання до реальних потреб технологічного процесу;
- зменшити навантаження на електричну мережу;
- підвищити ресурс електродвигунів за рахунок плавного пуску;
- досягти швидкої окупності інвестицій.

Таким чином, даний захід є технічно обґрунтованим і економічно доцільним для впровадження в електротехнічних системах підприємства.

2) Розрахунок економії від оптимізації режиму роботи верстатного обладнання

На ділянці механічної обробки металу експлуатується металорізальний верстат, оснащений електроприводом постійної потужності. У процесі виробничої діяльності було встановлено, що значна частина часу роботи обладнання використовується неефективно, зокрема через простой, очікування операцій або нераціональне планування технологічних процесів.

Основні параметри:

- 1) потужність електропривода: $P = 11 \text{ кВт}$;
- 2) фактичний час роботи до оптимізації: 8 год/добу ;
- 3) після впровадження енергоменеджменту та кращого планування завантаження скорочено непродуктивний час на $1,5 \text{ год/добу}$;
- 4) кількість робочих днів на рік: 250;
- 5) тариф: 6,5 грн/кВт·год.

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

Слід підкреслити, що оптимізація режимів роботи обладнання є одним із ключових організаційних заходів енергоменеджменту, який не потребує значних капітальних вкладень, але дозволяє досягти суттєвого енергозберігаючого ефекту.

Споживання електричної енергії електроприводом безпосередньо залежить від тривалості його роботи. Відповідно, скорочення часу роботи обладнання при збереженні обсягів виробництва призводить до пропорційного зменшення енергоспоживання.

Річна економія електроенергії визначається за співвідношенням:

$$W_{ек,в} = P \cdot \Delta t \cdot D$$

де P - потужність електропривода;

$\Delta t = 1,5 \text{ год/добу}$ - скорочення часу роботи за добу;

D - кількість робочих днів.

Розрахунок річної економії електроенергії

Підставляючи вихідні дані, отримаємо:

$$W_{ек,в} = 11 \cdot 1,5 \cdot 250 = 4125 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік}$$

Отримане значення відображає обсяг електроенергії, який можна зекономити виключно за рахунок підвищення організаційної ефективності виробничого процесу.

Оцінка економічного ефекту

Для визначення фінансової вигоди від впровадженого заходу виконаємо перерахунок у грошовий еквівалент:

$$E_в = 4125 \cdot 6,5 = 26812,5 \text{ грн/рік}$$

Таким чином, навіть без модернізації обладнання підприємство отримує додатковий економічний ефект за рахунок раціоналізації виробничих процесів.

3) Сукупний ефект від впровадження енергозберігаючих заходів

Для комплексної оцінки ефективності енергоменеджменту доцільно визначити сумарний результат від впровадження декількох заходів.

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

Загальна економія електроенергії

$$W_{\Sigma}=18300+4125=22425 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{рік}$$

Це свідчить про значне скорочення енергоспоживання підприємства в цілому.

Сумарний економічний ефект

$$S_{\Sigma}=118950+26812,5=145762,5 \text{ грн}/\text{рік}$$

Отриманий результат демонструє економічну доцільність одночасного впровадження як технічних, так і організаційних заходів.

4) Оцінка строку окупності інвестицій

Визначення капітальних витрат

Для реалізації запропонованих заходів передбачаються такі витрати:

- 1) вартість частотного перетворювача з монтажем - 95000 грн;
- 2) витрати на організацію системи контролю режимів роботи верстата - 15000 грн.

Загальний обсяг інвестицій:

$$K=95000+15000=110000 \text{ грн}$$

Розрахунок строку окупності

Строк окупності визначається як відношення капітальних витрат до річного економічного ефекту:

$$T_{\text{ок}} = \frac{K}{E_{\Sigma}}$$
$$T_{\text{ок}} = \frac{110000}{145762,5} \approx 0,75 \text{ року}$$

У перерахунку на календарний період:

$$0,75 \cdot 12 \approx 9 \text{ місяців}$$

Проведені розрахунки свідчать про високу ефективність впровадження елементів системи енергоменеджменту на підприємстві, що спеціалізується на виробництві вагового обладнання. Зокрема, застосування частотного регулювання вентиляційної установки у поєднанні з оптимізацією режимів

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

роботи верстатного обладнання дозволяє досягти суттєвого зниження енергоспоживання.

Сумарне скорочення витрат електричної енергії становить 22425 $\text{kWh}\cdot\text{год}$ на рік, що забезпечує економічний ефект у розмірі 145762,5 грн щорічно. При цьому строк окупності інвестицій не перевищує 9 місяців, що є показником високої інвестиційної привабливості запропонованих заходів.

Отже, реалізація розглянутих рішень є технічно обґрунтованою та економічно доцільною, а їх впровадження сприяє підвищенню енергоефективності електротехнічних систем підприємства.

7.2.3. Впровадження системи автоматизованого обліку електроенергії на підприємстві

В умовах зростання вартості енергетичних ресурсів та підвищення вимог до енергоефективності виробництва особливого значення набуває впровадження сучасних інформаційно-вимірювальних систем. Одним із ключових інструментів підвищення ефективності управління енергоспоживанням є система автоматизованого обліку електроенергії (АСКОЕ), яка виступає важливим функціональним елементом системи енергоменеджменту підприємства.

АСКОЕ забезпечує не лише точний облік споживаної електричної енергії, але й створює інформаційну основу для прийняття обґрунтованих управлінських рішень. Саме наявність достовірних і оперативних даних є передумовою ефективної реалізації політики енергозбереження відповідно до вимог міжнародних стандартів, зокрема ISO 50001.

Роль автоматизованого обліку в системі енергоменеджменту

Система автоматизованого обліку електроенергії виконує функцію ключового інформаційного ядра енергоменеджменту, забезпечуючи безперервний моніторинг параметрів електроспоживання на різних рівнях - від окремого обладнання до підприємства в цілому.

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

Її впровадження дозволяє:

1. Здійснювати деталізований аналіз енергоспоживання за часовими інтервалами, підрозділами та видами навантаження;
2. Виявляти неефективні режими роботи електротехнічного обладнання;
3. Оперативно реагувати на відхилення від встановлених енергетичних показників;
4. Формувати базу даних для оцінювання енергетичної результативності та планування заходів з енергозбереження.

Таким чином, АСОЕЕ трансформує процес управління енергоресурсами з реактивного (за фактом споживання) у проактивний, що базується на аналізі даних у реальному часі.

Функціональні можливості та аналітичний потенціал

Використання автоматизованих систем обліку значно розширює функціональні можливості енергоменеджменту підприємства. Зокрема, такі системи забезпечують:

- 1) погодинний та поквартальний облік електроенергії;
- 2) побудову графіків навантаження та визначення пікових значень;
- 3) аналіз коефіцієнтів використання потужності;
- 4) контроль якості електроенергії (напруга, струм, коефіцієнт потужності);
- 5) виявлення технологічних і комерційних втрат.

Особливо важливою є можливість інтеграції АСОЕЕ з іншими інформаційними системами підприємства, що дозволяє створити єдину цифрову платформу управління енергоспоживанням.

Вплив на ефективність використання енергоресурсів

Застосування автоматизованого обліку електроенергії має безпосередній вплив на підвищення енергоефективності підприємства. Завдяки детальному контролю споживання досягаються такі результати:

- зниження непродуктивних витрат електроенергії;

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

- оптимізація режимів роботи обладнання;
- зменшення пікових навантажень і штрафних санкцій;
- підвищення енергетичної дисципліни персоналу.

Крім того, отримані дані можуть бути використані для розроблення техніко-економічних обґрунтувань енергозберігаючих заходів, що підвищує якість планування інвестицій у модернізацію електротехнічних систем.

Етапи інтеграції в систему енергоменеджменту

Впровадження АСОЕЕ як складової енергоменеджменту передбачає:

1. Аналіз існуючої системи обліку та визначення ключових точок контролю;
2. Вибір технічних засобів вимірювання та передачі даних;
3. Розгортання програмного забезпечення для збору й обробки інформації;
4. Інтеграцію з системою енергетичного менеджменту підприємства;
5. Організацію регулярного аналізу показників та прийняття управлінських рішень.

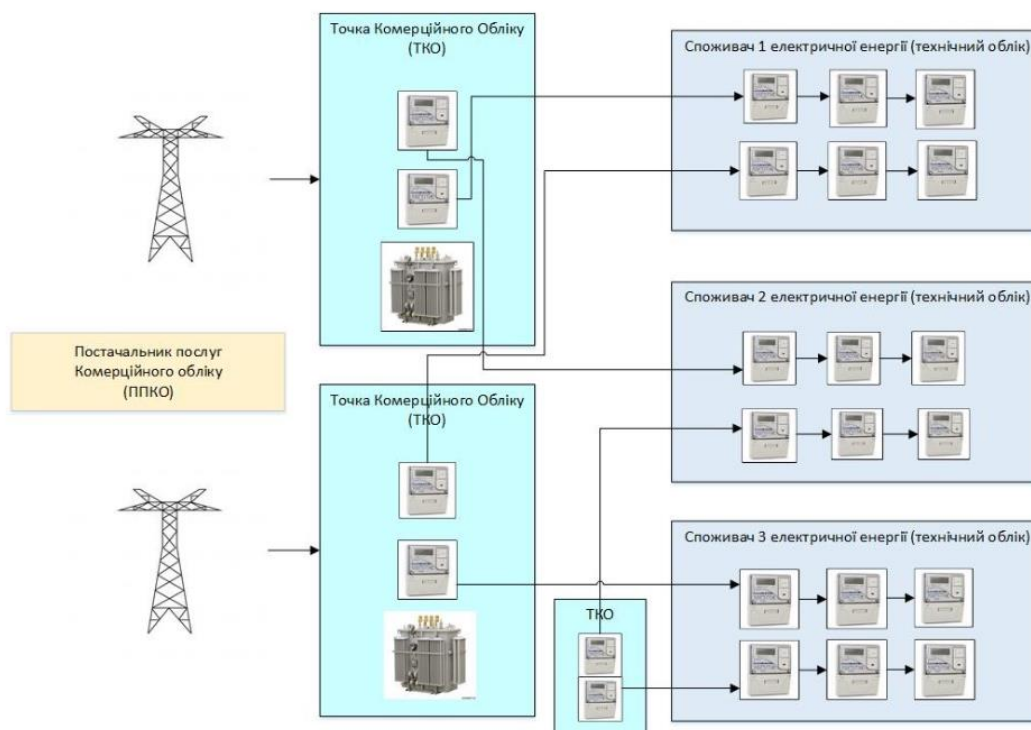


Рисунок 7.3 – Розподіл та системи контролю електричної енергії

Запропонована система включає вимірювальні пристрої, канали передачі даних та центральний сервер обробки інформації. Основною

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	71

функцією є безперервний моніторинг параметрів електроспоживання з подальшим аналізом та оптимізацією режимів роботи.

Система забезпечує збір даних у режимі реального часу, що дозволяє оперативно реагувати на відхилення та знижувати нераціональні витрати електроенергії.

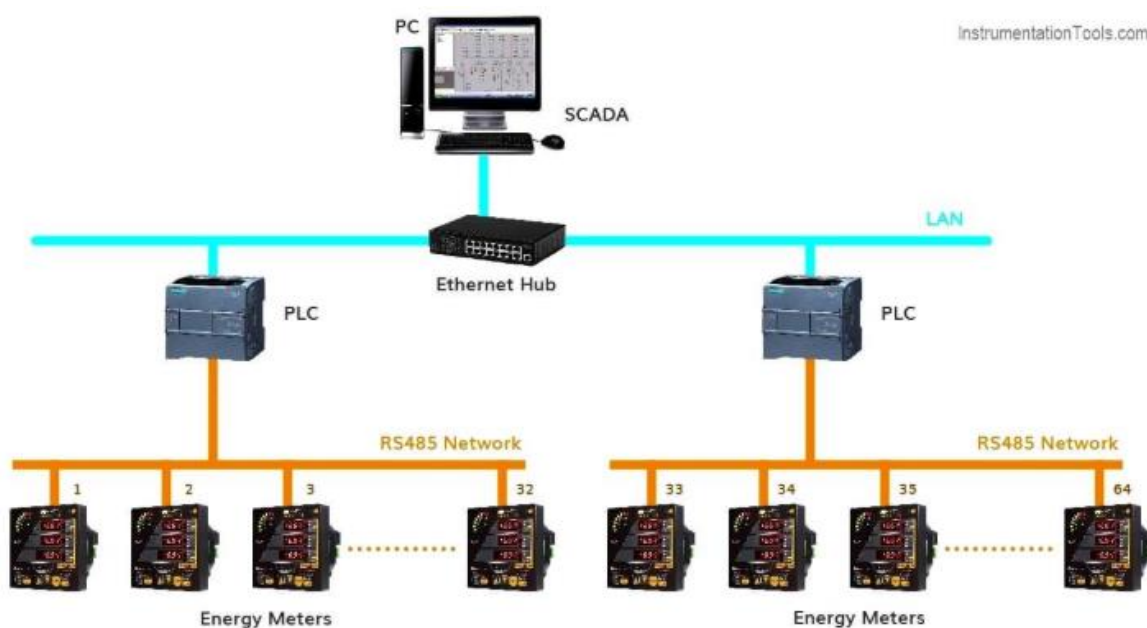


Рисунок 7.4 – Схема підключення програмного забезпечення

На підприємстві встановлюється система автоматизованого обліку електроенергії (АСКОЕ), яка включає:

- багатотарифні електронні лічильники, які встановлюються на ключових ділянках електромережі підприємства та забезпечують вимірювання електроенергії з урахуванням зон доби. Використання таких приладів дозволяє оптимізувати витрати за рахунок перенесення частини навантаження на періоди з нижчими тарифами;

- пристрої збору та передачі даних (RTU або промислові контролери), які здійснюють опитування лічильників, первинну обробку інформації та передачу даних на центральний рівень;

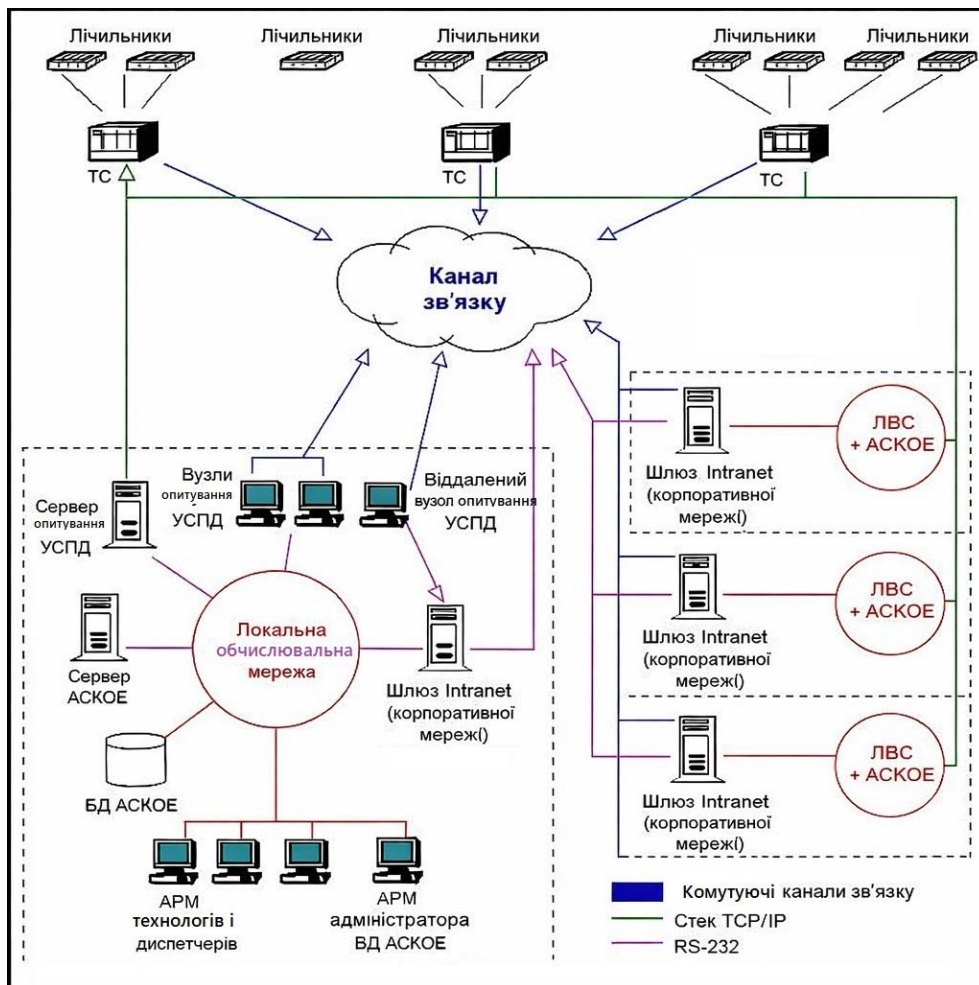


Рисунок 7.5 – Система автоматизованого обліку електроенергії

- сервер збору та обробки інформації, що виконує функції накопичення, архівації та систематизації даних про енергоспоживання;
- програмне забезпечення класу SCADA або EMS, яке забезпечує візуалізацію параметрів електроспоживання, побудову графіків навантаження, формування звітів, а також аналітичну обробку даних для прийняття управлінських рішень.

Таким чином, створюється багаторівнева інформаційна система, яка інтегрує вимірювальні, комунікаційні та аналітичні функції в єдине середовище.

Організація точок обліку електроенергії

Ефективність функціонування АСКОЕ значною мірою залежить від правильного вибору місць встановлення засобів обліку.

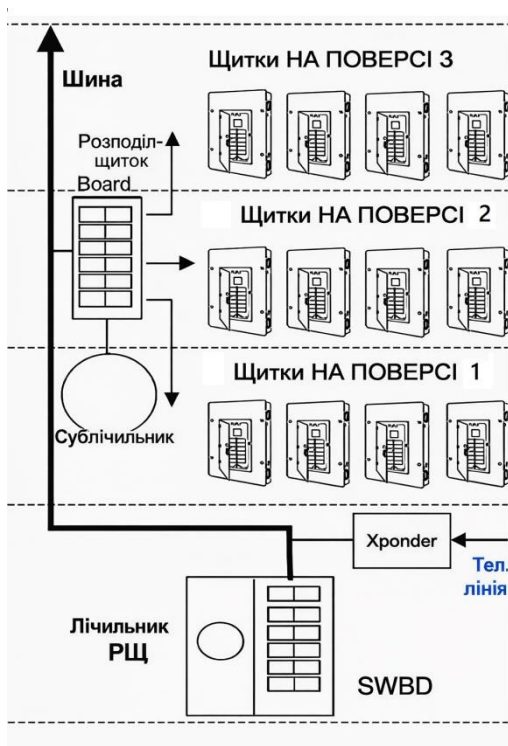


Рисунок 7.6 - Розміщення точок обліку електроенергії

Для забезпечення повного контролю енергоспоживання на підприємстві визначено такі ключові зони моніторингу:

1. Головний ввід електроенергії, який дозволяє контролювати загальне споживання підприємства та виконувати балансування електроенергії;
2. Компресорна станція, що є одним із найбільш енергоємних об'єктів і потребує постійного контролю для виявлення втрат та неефективних режимів роботи;
3. Система вентиляції, споживання якої залежить від режимів роботи виробництва та може бути оптимізоване шляхом регулювання швидкості;
4. Металообробні верстати, які формують значну частку змінного навантаження та потребують аналізу з точки зору завантаженості;
5. Система освітлення, яка, незважаючи на відносно невелику потужність окремих споживачів, у сукупності створює суттєве навантаження.

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

Такий підхід до зонування дозволяє не лише контролювати загальне споживання, але й деталізувати його структуру, що є необхідною умовою для ефективного енергоменеджменту.

Аналіз графіків електроспоживання до та після впровадження системи

Однією з основних переваг АСКОЕ є можливість формування погодинних графіків навантаження, які відображають реальний характер споживання електроенергії протягом доби.

До впровадження системи, як правило, спостерігається нерівномірний розподіл навантаження, наявність значних пікових значень у години максимальної виробничої активності, а також недостатній контроль за споживанням у періоди простою.

Після впровадження АСКОЕ та відповідної оптимізації режимів роботи обладнання досягаються такі результати:

- зменшення пікового навантаження на 20–25 %, що дозволяє знизити навантаження на електричні мережі та уникнути штрафних санкцій за перевищення договірної потужності;
- вирівнювання графіка навантаження, що сприяє більш раціональному використанню електроенергії та підвищенню надійності електропостачання;
- зниження витрат на електроенергію за рахунок використання багатотарифного обліку та перенесення частини енергоємних процесів на нічні періоди з нижчими тарифами.

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

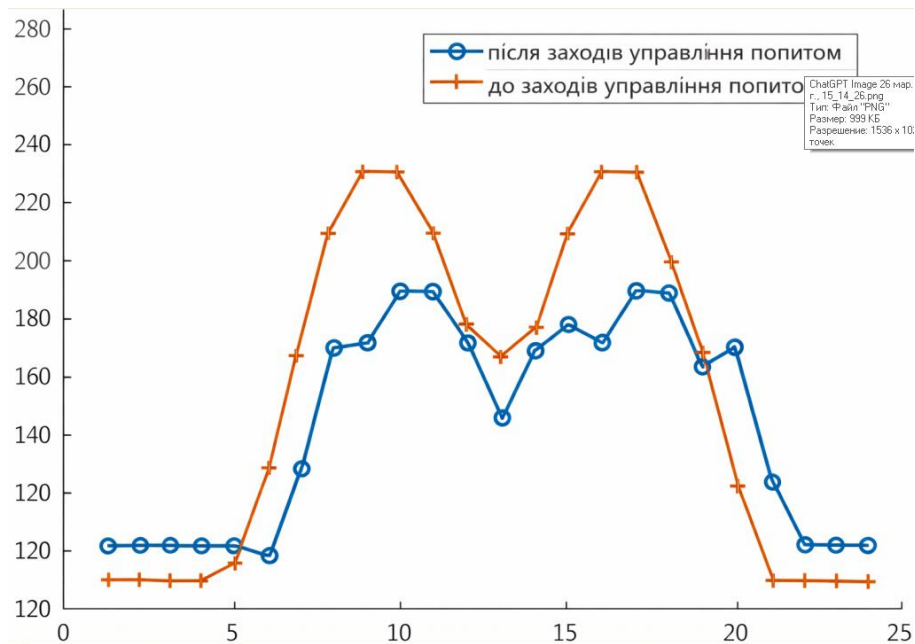


Рисунок 7.7 - Графік електроспоживання до та після впровадження АСКОЕ

Важливо відзначити, що саме наявність детальних графіків електроспоживання дозволяє виявити приховані резерви енергозбереження, які неможливо визначити при використанні лише узагальнених показників.

Розрахунок ефекту від впровадження АСКОЕ

Для кількісної оцінки ефективності впровадження системи автоматизованого обліку електроенергії розглянемо умовне підприємство із середнім річним споживанням електричної енергії на рівні:

$$W=120000\text{кВт}\cdot\text{год}/\text{рік}$$

Аналіз графіків навантаження показує, що значна частка електроспоживання припадає на пікові періоди, які становлять приблизно 40 % від загального обсягу. Саме в ці періоди діють підвищені тарифи, а також виникає додаткове навантаження на електричні мережі підприємства.

Впровадження АСКОЕ дозволяє ідентифікувати такі пікові навантаження та реалізувати заходи щодо їх часткового зниження або перенесення в інші часові інтервали. У даному випадку приймається, що внаслідок оптимізації режимів роботи обладнання досягається зменшення пікового споживання на 20 %.

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

Середній тариф на електроенергію становить:

$$C=6,5 \text{ грн/кВт}\cdot\text{год}$$

Економія електроенергії визначається як частина споживання, що припадає на пікові періоди, помножена на відсоток її скорочення:

$$W_{ек}=W\cdot\alpha\cdot\beta$$

де α - частка пікового навантаження;

β - відносне зменшення пікового споживання.

$$W_{ек}=120000\cdot0,4\cdot0,2=9600 \text{ кВт}\cdot\text{год}$$

Отриманий результат свідчить про те, що навіть часткова оптимізація графіка навантаження дозволяє досягти відчутного скорочення споживання електроенергії.

Оцінка економічного ефекту

Переведемо отриману економію у грошовий еквівалент:

$$E=W_{ек}\cdot C$$

$$E=9600\cdot6,5=62400 \text{ грн/рік}$$

Таким чином, за рахунок впровадження системи автоматизованого обліку та подальшої оптимізації режимів роботи підприємство може отримати суттєву щорічну економію.

Визначення капітальних витрат

Для реалізації системи АСКОЕ необхідні початкові інвестиції, що включають:

- придбання та встановлення багатотарифних лічильників (5 одиниць) - 25000 грн;
- організацію системи збору та передачі даних - 20000 грн;
- впровадження програмного забезпечення та виконання пусконаладжувальних робіт - 15000 грн.

Сумарні капітальні витрати становлять:

$$K=25000+20000+15000=60000 \text{ грн}$$

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

Строк окупності:

$$T_{\text{ок}} = \frac{60000}{62400} \approx 0,96 \text{ року}$$

У перерахунку на календарний період це становить приблизно:

$$0,96 \cdot 12 \approx 11,5 \text{ місяців}$$

Проведений розрахунок демонструє, що впровадження системи автоматизованого обліку електроенергії є економічно обґрунтованим заходом навіть за відносно невеликих масштабів підприємства. Основний ефект досягається не за рахунок прямого зменшення споживання, а через оптимізацію режимів роботи та зниження пікових навантажень.

Отримані результати підтверджують доцільність впровадження системи та можуть бути використані як основа для подальшої модернізації енергетичного господарства підприємства.

Таким чином, система автоматизованого обліку електроенергії виступає не лише технічним засобом вимірювання, а й потужним аналітичним інструментом, що забезпечує ефективне функціонування системи енергоменеджменту підприємства. Її впровадження дозволяє перейти до сучасної моделі управління енергоспоживанням, орієнтованої на дані, що сприяє зниженню витрат, підвищенню енергоефективності та забезпеченню сталого розвитку підприємства.

						Арк.
						78
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У даній роботі було розроблено та обґрунтовано систему електропостачання підприємства з виробництва вагового обладнання з урахуванням сучасних вимог до надійності, енергоефективності та економічної доцільності.

У процесі виконання роботи визначено електричні навантаження підприємства, проведено розрахунок силового та освітлювального навантаження, що дозволило отримати достовірні значення розрахункових потужностей для окремих виробничих підрозділів і підприємства в цілому. На основі отриманих даних виконано вибір кількості та потужності трансформаторів, що забезпечують ефективну та надійну роботу системи електропостачання при допустимих коефіцієнтах завантаження.

Проведено розрахунок струмів короткого замикання в характерних точках електричної мережі, що дозволило обґрунтовано підібрати високовольтне обладнання. Вибрані вакуумні вимикачі, трансформатори струму та напруги, роз'єднувачі та обмежувачі перенапруг відповідають умовам експлуатації та забезпечують необхідний рівень термічної та динамічної стійкості.

Окрему увагу приділено компенсації реактивної потужності, у результаті чого визначено необхідну величину компенсуючих пристроїв. Запропоновані заходи дозволяють зменшити втрати електроенергії, підвищити коефіцієнт потужності та знизити навантаження на електричні мережі підприємства.

У роботі також виконано техніко-економічне обґрунтування запропонованих рішень, що підтвердило їх економічну ефективність. Встановлено, що впровадження енергозберігаючих заходів забезпечує суттєве зниження витрат електроенергії та має короткий строк окупності.

Розглянуто питання впровадження системи енергоменеджменту, яка забезпечує комплексний підхід до управління енергоспоживанням

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	79

підприємства. Запропоновано використання автоматизованої системи обліку електроенергії, що дозволяє здійснювати моніторинг навантажень, аналізувати режими роботи обладнання та оперативно виявляти неефективні ділянки.

Проведені розрахунки показали, що реалізація заходів з оптимізації електроприводів, удосконалення режимів роботи обладнання та впровадження системи автоматизованого обліку забезпечує значну економію електроенергії. При цьому строк окупності запропонованих технічних рішень не перевищує одного року, що свідчить про їх високу інвестиційну привабливість.

Таким чином, розроблена система електропостачання та запропоновані заходи з енергозбереження є технічно обґрунтованими, економічно доцільними та відповідають сучасним тенденціям розвитку промислової енергетики. Отримані результати можуть бути використані при проектуванні та модернізації електротехнічних систем аналогічних підприємств.

						Арк.
						80
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кваліфікаційна робота бакалавра : метод. рекомендації до структури та оформлення випускної кваліфікаційної роботи для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня спец. 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / [уклад. : П. Г. Плешков, Н. Ю. Гарасьова, А. І. Котиш, О. І. Сіріков, О. А. Козловський] ; М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. – Кропивницький : ЦНТУ, 2023. – 80 с.

2. Електротехнічні системи електроспоживання : [навч. посіб.] / П. Г. Плешков, В. В. Зінзура, Н. Ю. Гарасьова [та ін.] ; за заг. ред. П. Г. Плешкова. - Кропивницький : ЦНТУ, 2021. – 208 с.

3. Конспект лекцій з курсу «Ефективне використання електроенергії в системах енергопостачання» : для здобувач. вищої освіти другого (магістерського) рівня зі спец. 141 - Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / уклад. П. Г. Плешков ; М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. - Кропивницький : ЦНТУ, 2023. - 266 с.

4. Енергетичний менеджмент та аудит : конспект лекцій : для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня зі спец. 141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка" ОПП "Енергетичний менеджмент" / [уклад. : П. Г. Плешков, С. В. Серебренніков, О. І. Сіріков, С. В. Дубенко] ; М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. - Кропивницький : ЦНТУ, 2023. - 78 с.

5. Електротехнічні системи електроспоживання / [Плешков П. Г., Зінзура В. В., Гарасьова Н. Ю., Котиш А. І., Величко Т. В., Плешков С. П.]; під редакцією Заслуженого працівника освіти України, кандидата технічних наук, професора Плешкова П. Г. – М-во освіти і науки України, Центральноукр. нац. техн. ун-т. –Кропивницький : ЦНТУ, 2021.– 209 с.

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	81

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

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

8. Основи ефективного використання електричної енергії в системах електроспоживання промислових підприємств : навч. посіб. / [Соловей О. І., Розен В. П., Плешков П.Г. та ін.] ; М-во освіти і науки України, Кіров. нац. техн. ун-т. – Кіровоград : КНТУ, 2015. – 287 с. ISBN 978-966-402-076-0

						Арк.
						82
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		