

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

“Допущено до захисту”
Зав. кафедрою ЕТС та ЕМ
к.т.н., професор
_____ П. Плешков
“ ____ ” _____ 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ

на тему:

**«Проектування системи електропостачання та
електрозбереження локомотивного депо
Design of the power supply and energy-saving systems for
a locomotive depot»**

Виконала здобувачка вищої освіти
IV курсу, групи ЕЕ-23мбз
ОПП «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
_____ О. Любінецька
« ____ » _____ 2026 р.

Керівник роботи
доцент, канд. техн. наук
_____ О. Сіріков
« ____ » _____ 2026 р.

Рецензент _____

Міністерство освіти і науки України
Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет *центр заочної та дистанційної освіти*

Кафедра *електротехнічних систем та енергетичного менеджменту*

Рівень вищої освіти *перший (бакалаврський)*

Галузь знань *14 «Електрична інженерія»*

Спеціальність

141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітньо-професійна програма

Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри ЕТС та ЕМ

_____ П. Плешков

«_____» _____ 2026 р.

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

Любінецької Ольги Олегівни

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи *Проектування системи електропостачання та електрозбереження локомотивного депо*

Design of the power supply and energy-saving systems for a locomotive depot

2. Керівник роботи *Сіріков Олександр Іванович, к.т.н., доцент*

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

3. Строк подання роботи до захисту 01.06.2026 р.

4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи *Мета: проектування системи електропостачання та електрозбереження локомотивного депо.*

Завдання: 1. Вступ. 2. Розрахунок електричних навантажень. 3. Побудова графіків електричних навантажень підприємства. 4. Побудова картограм електричних навантажень. 5. Вибір напруги і електричних схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання підприємства. 6. Режимы реактивної потужності системи електропостачання. 7. Вибір кількості, потужності трансформаторів підстанцій підприємства. 8. Розрахунок струмів коротких замкнень та вибір високовольтного обладнання і високовольтних мереж системи електропостачання. 9. Спеціальний розділ. Розробка системи електрозбереження. 10. Висновки. 11. Література.

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Вступ</i>	<i>14.04</i>	
2	<i>Розрахунок електричних навантажень підприємства</i>	<i>18.04</i>	
3	<i>Побудова графіків електричних навантажень підприємства</i>	<i>23.04</i>	
4	<i>Побудова картограм електричних навантажень</i>	<i>27.04</i>	
5	<i>Вибір напруги і електричних схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання підприємства</i>	<i>30.04</i>	
6	<i>Режими реактивної потужності системи електропостачання</i>	<i>04.05</i>	
7	<i>Вибір кількості, потужності трансформаторів підстанцій підприємства</i>	<i>08.05</i>	
8	<i>Розрахунок струмів коротких замкнень та вибір високовольтного обладнання і високовольтних мереж системи електропостачання</i>	<i>13.05</i>	
9	<i>Спеціальний розділ. Розробка системи електрозбереження</i>	<i>18.05</i>	
10	<i>Висновки</i>	<i>21.05</i>	
11	<i>Література</i>	<i>25.05</i>	
12	<i>Оформлення розрахунково-пояснювальної записки та графічних матеріалів</i>	<i>01.06</i>	

Дата видачі завдання

«___» _____ 2026 р.

Підпис керівника

_____ Сіріков О.І.
(прізвище та ініціали)

Завдання прийнято до виконання

«___» _____ 2026 р.

Підпис здобувача

_____ Любінецька О.О.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: 72 с.; 9 рис.; 36 табл.; 9 джерел

Любінецька О.О. Проектування системи електропостачання та електрозбереження локомотивного депо. – Рукопис.

Кваліфікаційна робота першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», ОПП «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». – ЦНТУ, Кропивницький, 2026 рік.

В бакалаврській роботі розглянуто питання проектування системи електропостачання локомотивного депо та досліджено основні напрями підвищення ефективності використання електричної енергії. Виконано аналіз електричних навантажень підприємства, побудовано картограму електричних навантажень, визначено центр електричних навантажень і обґрунтовано вибір місця розташування центрального розподільчого пристрою. Проведено вибір силових трансформаторів, кабельних ліній електропередачі, комутаційної апаратури та іншого електрообладнання з урахуванням вимог надійності, економічності та безпечної експлуатації.

Особливу увагу приділено питанням енергозбереження в системах електропостачання. Проаналізовано технічні, технологічні, економічні та організаційні фактори економії електричної енергії. Розглянуто сучасні способи зниження втрат електроенергії в кабельних і повітряних лініях електропередачі, силових трансформаторах, електродвигунах та освітлювальних установках. Наведено основні технічні рішення, спрямовані на підвищення енергоефективності, зокрема використання енергоефективного електрообладнання, компенсацію реактивної потужності, оптимізацію режимів роботи електроприймачів, застосування частотного регулювання електроприводів, світлодіодного освітлення та автоматизованих систем керування.

Ключові слова: система електропостачання, локомотивне депо, електричні навантаження, енергозбереження, енергоефективність, втрати електроенергії.

ABSTRACT

Qualification work: 72 p.; 9 Fig.; 36 tables; 9 sources

Liubinetska O.O. Design of the power supply and energy-saving systems for a locomotive depot. - Manuscript.

Qualification work of the first (bachelor's) level of higher education in specialty 141 "Electrical Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics", EPP "Electrical Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics". – Central National Technical University, Kropyvnytskyi, 2026.

The bachelor's thesis considers the issue of designing a locomotive depot power supply system and explores the main directions of increasing the efficiency of electrical energy use. An analysis of the electrical loads of the enterprise was performed, a cartogram of electrical loads was constructed, the center of electrical loads was determined and the choice of the location of the central switchgear was justified. Power transformers, cable power lines, switching equipment and other electrical equipment were selected taking into account the requirements of reliability, economy and safe operation.

Particular attention is paid to the issues of energy saving in power supply systems. Technical, technological, economic and organizational factors of saving electrical energy were analyzed. Modern methods of reducing electricity losses in cable and overhead power lines, power transformers, electric motors and lighting installations were considered. The main technical solutions aimed at increasing energy efficiency are presented, in particular the use of energy-efficient electrical equipment, reactive power compensation, optimization of operating modes of electrical receivers, the use of frequency control of electric drives, LED lighting, and automated control systems.

Key words: power supply system, locomotive depot, electrical loads, energy saving, energy efficiency, electricity losses

ЗМІСТ

1. Вступ. Коротка характеристика технологічного процесу локомотивного депо.	7
2. Розрахунок електричних навантажень локомотивного депо	9
2.1. Розрахунок електричних навантажень локомотивного депо в мережах до 1000 В	9
2.2. Розрахунок освітлювальних навантажень локомотивного депо	9
2.3. Розрахунок електричних навантажень локомотивного депо в силових мережах вище 1000 В.....	9
3. Побудова графіків електричних навантажень локомотивного депо.	19
4. Побудова картограм електричних навантажень локомотивного депо та вибір місця розташування головної понижувальної підстанції або центрального розподільного пристрою.....	24
5. Техніко-економічне обґрунтування схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання локомотивного депо	27
5.1 Техніко-економічне обґрунтування схем зовнішнього електропостачання підприємства	27
6. Режим реактивної потужності системи електропостачання локомотивного депо	34
6.1 Розрахунок балансу реактивної потужності та вибір компенсуючих пристроїв локомотивного депо	34
6.2. Вибір кількості та місць розташування компенсуючих пристроїв.	38
7. Вибір кількості, потужності трансформаторів підстанцій локомотивного депо	40
8. Розрахунок струмів коротких замкнень та вибір високовольтного обладнання і мереж локомотивного депо	41
9. Спеціальний розділ. Розробка системи електрозбереження локомотивного депо.	47
10. Висновки.	71
11. Література	72

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата				
Розроб.		Любінецька О.О.			Проектування системи електропостачання та електрозбереження локомотивного депо		Літ.	Аркуш
Перевір.		Сіріков О.І.						
Н. Контр.		Сіріков О.І.					6	72
Затв.		Плешков П.Г.					ЦНТУ гр. ЕЕ-23мбз	

1. Вступ.

Коротка характеристика технологічного процесу локомотивного депо.

Залізничний транспорт є однією з найважливіших складових транспортної системи України, що забезпечує перевезення пасажирів і вантажів, сприяє розвитку економіки та підтримує функціонування промислового комплексу держави. Надійна робота залізничного транспорту значною мірою залежить від ефективного функціонування об'єктів його інфраструктури, зокрема локомотивних депо, які виконують технічне обслуговування, ремонт та підготовку локомотивів до експлуатації.

Локомотивні депо належать до підприємств із значною кількістю електроприймачів різного призначення. До їх складу входять силове технологічне обладнання, електрозварювальні установки, компресорні станції, вентиляційні системи, освітлювальні установки та інші споживачі електричної енергії. Тому забезпечення надійного та економічного електропостачання є важливою умовою безперебійної роботи депо та підвищення ефективності його виробничої діяльності.

В умовах постійного зростання вартості енергоресурсів та необхідності раціонального використання електричної енергії особливої актуальності набувають питання впровадження енергозберігаючих технологій і зменшення втрат електроенергії в системах електропостачання. Реалізація сучасних заходів електрозбереження дозволяє знизити експлуатаційні витрати, підвищити надійність роботи обладнання та покращити техніко-економічні показники підприємства.

Основними задачами локомотивного депо є:

- забезпечення технічно справного стану локомотивного парку і стійкої роботи локомотивів в експлуатації;
- утримання в роботі заданої кількості локомотивів у відповідності з об'ємом експлуатаційної роботи і виконання встановлених норм простою локомотивів на технічному обслуговуванні, екіпіруванні та ремонті;
- забезпечення перевезень кваліфікованими локомотивними бригадами;

						Арк.
						7

- виконання поточного ремонту і технічного обслуговування локомотивів у відповідності з діючими правилами та положеннями;
- впровадження раціональних режимів водіння потягів з дотриманням установленого часу руху;
- забезпечення технічного справного стану вантажопідйомних кранів на залізничному русі та стійкості роботи їх в експлуатації;
- розвиток, утримання в справному стані та раціональне використання нових деповських об'єктів та обладнання, впровадження нових досягнень науки і техніки та передового досвіду, максимальне використання виробничих потужностей, підвищення рівня механізації трудових процесів;
- забезпечення безпеки руху потягів, точного виконання Правил технічної, експлуатації залізниць України, наказів, вказівок та інструкцій Укрзалізниці, начальника Одеської залізниці і начальника служби локомотивного господарства Одеської залізниці, розробка і здійснення заходів по попередженню катастроф, аварій і випадків браку в роботі;
- виконання заходів по охороні природи;
- надання платних послуг населенню і виробництво товарів народного споживання;
- здійснення інших заходів направлених на збільшення доходів колективу депо.

Для вирішення покладених задач «Депо» забезпечує:

- розробку сумісно із «Службою локомотивного господарства» Одеської залізниці кошторису витрат на утримання депо;
- виконання програми поточного обслуговування і планово-попереджувальних ремонтів рухомого складу у відповідності з діючими нормативами;
- удосконалення економічної роботи в умовах ринкових відносин, ефективне використання і збереження, майна «Депо».
- раціональне використання матеріальних і паливно-енергетичних ресурсів.

						Арк.
						8

2. Розрахунок електричних навантажень локомотивного депо

2.1. Розрахунок електричних навантажень локомотивного депо в мережах до 1000 В

Розрахунок електричних навантажень локомотивного депо в мережах напругою до 1000 В виконано відповідно до загальноприйнятої методики та типової табличної форми, наведеної в джерелах [1–4]. Результати проведених розрахунків узагальнено та представлено в табл. 2.1.

2.2. Розрахунок освітлювальних навантажень локомотивного депо

Визначення освітлювальних навантажень локомотивного депо проведено згідно з методикою розрахунку, наведеною в джерелах [1–4]. Результати обчислень зведено до табл. 2.2, де наведено основні розрахункові параметри.

2.3. Розрахунок електричних навантажень локомотивного депо в силових мережах вище 1000 В

Визначення електричних навантажень локомотивного депо в мережах напругою понад 1000 В виконано відповідно до методики, що застосовується при проектуванні систем електропостачання промислових підприємств. Оскільки зазначена методика детально викладена в літературних джерелах [1–4], у даній роботі вона не наводиться. Вихідні дані, результати розрахунків та їх узагальнення подано в табл. 2.3.

						Арк.
						9

Таблиця 2.1. Розрахунок електричних навантажень локомотивного депо в мережі до 1000 В.

№	Назва вузлів навантаження та груп електроприймачів	Кількість ел. споживачів	Встановлена потужність, кВт		m	Кв	cos	tg	Середнє навантаження за зміну		ne	Км	Розрахункова потужність,		
			Одного	Сумарна					Рср, кВт	Qср, квар			Рр, кВт	Qр, квар	Sp, кВА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	Контора складу палива														
	Компютер	10	0,35	- 0,35	3,5	1	0,6	0,7	1	2,10	2,14				
	Оргтехніка	6	0,15	- 3,00	7,8	20	0,15	0,4	2,3	1,17	2,68				
	Бойлер	4	1,50	- 1,50	6,0	1	0,7	1	0	4,20	0,00				
	Електронагрівач	4	2,00	- 2,00	8,0	1	0,3	1	0	2,40	0,00				
	Кондиціонер	4	1,50	- 3,00	9,0	2	0,6	0,8	0,8	5,40	4,05				
	Всього	28	0,2	- 3	34,3	20	0,45	0,86	0,6	15,27	8,87	23	1,26	19,2	21,19
2	Стрілочний піст														
	Електронагрівач	3	0,60	- 0,60	1,8	1	0,3	1	0	0,54	0,00				
	Блок керування	1	3,00	- 3,00	3,0	1	0,9	0,8	0,8	2,70	2,03				
	Всього	4	0,60	- 3,00	4,8	5	0,68	0,85	0,6	3,24	2,03	3	1,50	4,9	5,34
3	Склад сирого піску														
	Норія	2	5,50	- 5,50	11,0	1	0,8	0,8	0,8	8,80	6,60				
	Транспортер	2	3,50	- 3,50	7,0	1	0,5	0,8	0,8	3,50	2,63				
	Вентилятор	4	7,50	- 7,50	30,0	1	0,8	0,85	0,6	24,00	14,87				
	Всього	8	3,50	- 7,50	48,0	2	0,76	0,83	0,7	36,3	24,1	8	1,16	42,1	49,78
4	Мастилороздаточна														
	Колонки маслороздавальні	5	4,4	- 4,4	22,0	1	0,3	1	0	6,60	0,00				
	Насос РЗ-30	3	13,50	- 13,5	40,5	1	0,7	0,8	0,8	28,35	21,26				
	Всього	8	4,40	- 13,5	62,5	3	0,56	0,85	0,6	34,95	21,26	8	1,37	47,7	53,13
5	Пункт харчування														
	Бойлер електричний 53241С	2	12,0	- 12,0	24,0	1	0,7	1	0	16,80	0,00				
	Електрична плита	4	2,0	- 6,0	20,0	3	0,3	1	0	6,00	0,00				
	Холодильник	2	2,0	- 2,0	4,0	1	0,4	0,7	1	1,60	1,63				
	Кондиціонер	2	1,50	- 1,50	3,0	1	0,6	0,8	0,8	1,80	1,35				
	Всього	10	1,5	- 12	51	8	0,51	0,99	0,1	26,20	2,98	9	1,38	36,2	36,38
6	Локомотивне депо														
	Верстат токарно-гвинторізний	7	4,1	- 23,4	79,9	6	0,16	0,6	1,3	12,79	17,05				
	Вертикально-свердлувальний (настільний)	1	0,6	- 0,6	0,6	1	0,05	0,5	1,7	0,03	0,05				
	Вертикально-свердлувальний	3	0,1	- 4,6	9,2	37	0,12	0,6	1,3	1,10	1,47				
	Поперечно стругальний	1	1,0	- 1,0	1,0	1	0,14	0,6	1,3	0,14	0,19				
	Консольно-фрезерувальний	1	8,8	- 8,8	8,8	1	0,14	0,6	1,3	1,24	1,65				

Продовження табл. 2.1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	Вертикально-фрезерувальний	1	12,9 - 12,9	12,9	1	0,14	0,6	1,3	1,81	2,41					
	Плоско-шліфувальний	1	9,9 - 9,9	9,9	1	0,12	0,5	1,7	1,19	2,06					
	Кругло-шліфувальний	1	6,1 - 6,1	6,1	1	0,14	0,6	1,3	0,86	1,14					
	Універсільний заточний	1	1,7 - 1,7	1,7	1	0,12	0,5	1,7	0,20	0,35					
	Верстат заточний	1	3,0 - 3,0	3,0	1	0,12	0,5	1,7	0,36	0,62					
	Верстат колісотокарний "Рафамет"	2	152,5 - 152,5	304,9	1	0,4	0,7	1	121,96	124,42					
	Верстат обдирочно-заточний	1	2,2 - 2,2	2,2	1	0,14	0,5	1,7	0,31	0,53					
	Молот електропневматичний	2	10,0 - 30,0	40,0	3	0,25	0,6	1,3	10,00	13,33					
	Прес ножиці комбіновані	1	5,5 - 5,5	5,5	1	0,25	0,6	1,3	1,38	1,83					
	Прес для розбирання ГМР	1	2,8 - 2,8	2,8	1	0,35	0,6	1,3	0,98	1,31					
	Прес сорочок циліндрових втулок	1	1,0 - 1,0	1,0	1	0,25	0,6	1,3	0,25	0,33					
	Прес розпресування підшипників	1	1,7 - 1,7	1,7	1	0,35	0,7	1	0,60	0,61					
	Кран консольно-поворотний	1	1,7 - 1,7	1,7	1	0,1	0,5	1,7	0,17	0,29					
	Кран-укосина	2	0,5 - 1,7	2,2	3	0,1	0,5	1,7	0,22	0,38					
	Електрокран-балка	7	3,8 - 11,8	59,2	3	0,1	0,5	1,7	5,92	10,25					
	Монорейка	4	0,5 - 4,5	6,5	9	0,05	0,5	1,7	0,33	0,56					
	Кран електричний	3	1,0 - 6,1	9,4	6	0,1	0,5	1,7	0,94	1,62					
	Кран мостовий	1	13,8 - 13,8	13,8	1	0,1	0,5	1,7	1,38	2,39					
	Домкрат тепловозний	1	30,0 - 30,0	60,0	1	0,15	0,5	1,7	9,00	15,59					
	Підйомник ТЕД	2	6,0 - 6,0	12,0	1	0,1	0,5	1,7	1,20	2,08					
	Скатопідйомник	1	2,0 - 2,0	2,0	1	0,1	0,5	1,7	0,20	0,35					
	Трансформатор зварювальний	4	13,2 - 25,0	67,0	2	0,5	0,5	1,7	33,50	58,02					
	Випрямляч зварювальний	1	75,0 - 75,0	75,0	1	0,5	0,5	1,7	37,50	64,95					
	Випрямляч для ручного зварювання	1	74,0 - 74,0	74,0	1	0,5	0,5	1,7	37,00	64,09					
	Установка аргонно-дугова	1	21,0 - 21,0	21,0	1	0,5	0,5	1,7	10,50	18,19					
	Верстат для притирання деталей	2	1,1 - 1,1	2,2	1	0,5	0,7	1	1,10	1,12					
	Стенд абразивних кіл	1	2,8 - 2,8	2,8	1	0,3	0,6	1,3	0,84	1,12					
	Стенд обкатки паливних насосів	1	4,5 - 4,5	4,5	1	0,4	0,6	1,3	1,80	2,40					
	Стенд випроб. паливних насосів	1	1,6 - 1,6	1,6	1	0,4	0,6	1,3	0,64	0,85					
	Стенд випроб. електроапаратури	1	1,1 - 1,1	1,1	1	0,4	0,6	1,3	0,44	0,59					
	Дефектоскоп колісних пар	1	3,0 - 3,0	3,0	1	0,5	0,7	1	1,50	1,53					
	Стенд швидкостемірів	2	0,8 - 0,8	1,6	1	0,5	0,7	1	0,80	0,82					
	Стенд автогальм	1	0,3 - 0,3	0,3	1	0,5	0,8	0,8	0,13	0,09					
	Стенд водяних насосів	1	1,1 - 1,1	1,1	1	0,5	0,5	1,7	0,55	0,95					
	Стенд регулювання РЧО	1	0,3 - 0,3	0,3	1	0,5	0,7	1	0,13	0,13					
	Стенд обкатки компресорів	1	14,0 - 14,0	14,0	1	0,5	0,6	1,3	7,00	9,33					

Продовження табл. 2.1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	Стенд промивання холодильника	1	1,0 - 1,0	1,0	1	0,5	0,6	1,3	0,50	0,67					
	Стенд заправки приладів	1	2,0 - 2,0	2,0	1	0,5	0,6	1,3	1,00	1,33					
	Стенд паливної апаратури	1	2,0 - 2,0	2,0	1	0,5	0,6	1,3	1,00	1,33					
	Стенд кранових дизелів	1	11,0 - 11,0	11,0	1	0,5	0,6	1,3	5,50	7,33					
	Стенд зарядки вогнегасників	1	3,0 - 3,0	3,0	1	0,5	0,6	1,3	1,50	2,00					
	Установка очищення деталей	1	1,7 - 1,7	1,7	1	0,6	0,7	1	1,02	1,04					
	Установка миття картерів	1	1,7 - 1,7	1,7	1	0,6	0,7	1	1,02	1,04					
	Установка зарядно-розрядна А960	2	42,0 - 42,0	84,0	1	0,85	0,8	0,8	71,40	53,55					
	Установка зарядно-розрядна ламп	1	8,0 - 8,0	8,0	1	0,8	0,8	0,8	6,40	4,80					
	Шафа управління "Автодином"	1	0,1 - 0,1	0,1	1	0,7	0,8	0,8	0,05	0,04					
	Установка для заливання МОП	1	4,5 - 4,5	4,5	1	0,5	0,6	1,3	2,25	3,00					
	Кантувач турбокомпресора	1	0,4 - 0,4	0,4	1	0,5	0,6	1,3	0,20	0,27					
	Електродистиллятор	1	25,0 - 25,0	25,0	1	0,85	1	0	21,25	0,00					
	Дефектоскоп настільний	1	0,2 - 0,2	0,2	1	0,5	0,6	1,3	0,11	0,15					
	Дефектоскоп сідлообразний	2	0,2 - 0,2	0,4	1	0,5	0,6	1,3	0,22	0,29					
	Дефектоскоп нерозємний	1	1,5 - 1,5	1,5	1	0,6	0,8	0,8	0,90	0,68					
	Дефектоскоп циліндрових втулок	1	0,2 - 0,2	0,2	1	0,5	0,6	1,3	0,11	0,15					
	Дефектоскоп шестерень	1	0,2 - 0,2	0,2	1	0,5	0,6	1,3	0,11	0,15					
	Дефектоскоп ультразвуковий	1	0,20 - 0,20	0,20	1	0,5	0,6	1,3	0,10	0,13					
	Термостат	1	0,3 - 0,3	0,3	1	0,5	0,6	1,3	0,14	0,19					
	Агрегат заправочний	1	3,0 - 3,0	3,0	1	0,6	0,7	1	1,80	1,84					
	Машина мийна "Керхер"	1	5,0 - 5,0	5,0	1	0,6	0,7	1	3,00	3,06					
	Піч муфільна	4	3,0 - 9,0	30,0	3	0,8	1	0	24,00	0,00					
	Шафа витяжна	4	4,8 - 4,8	19,2	1	0,8	1	0	15,36	0,00					
	Центрифуга	3	2,2 - 2,2	6,6	1	0,6	0,8	0,8	3,96	2,97					
	Машина пральна	4	1,1 - 2,2	5,5	2	0,7	0,8	0,8	3,85	2,89					
	Сушильний барабан	2	2,3 - 2,3	4,6	1	0,8	0,9	0,5	3,68	1,78					
	Машина сушильна	1	2,3 - 2,3	2,3	1	0,8	0,9	0,5	1,80	0,87					
	Витяжний вентилятор	31	0,6 - 7,3	84,5	12	0,85	0,8	0,8	71,83	53,87					
	Припливний вентилятор	7	0,6 - 20,0	28,8	33	0,85	0,8	0,8	24,48	18,36					
	Всього	149	0,07 - 152,5	1264,3	2117	0,46	0,70	1	576,5	590,8	17	1,30	750,6	590,83	955,27
7	<u>Приміщення для сушки піску</u>														
	Станція компресорна НВЕ-10/0,7	1	75,0 - 75,0	75,0	1	0,7	0,8	0,8	52,50	39,38					
	Компресор КТ-6	2	88,0 - 88,0	176,0	1	0,7	0,8	0,8	123,20	92,40					
	Установка приготування хол.води	1	0,75 - 0,75	0,75	1	0,7	0,8	0,8	0,53	0,39					

Продовження табл. 2.1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	Піскосушарне обладнання	2	3,4 - 3,4	6,8	1	0,8	1	0	5,44	0,00					
	Витяжний вентилятор	3	1,7 - 3,0	6,9	2	0,8	0,8	0,8	5,52	4,14					
	Витяжний вентилятор бункеру	1	4,0 - 4,0	4,0	1	0,8	0,8	0,8	3,20	2,40					
	Всього	10	0,8 - 88,0	269,45	117	0,71	0,81	0,7	190,4	138,7	6	1,26	240,2	152,58	284,58
8	Столярний цех														
	Пила циркуляційна	2	15,0 - 15,0	30,0	1	0,3	0,35	2,7	9,00	24,09					
	Компресор	2	12,0 - 12,0	24,0	1	0,7	0,8	0,8	16,80	12,60					
	Гідравлічний прес	2	10,0 - 10,0	20,0	1	0,3	0,6	1,3	6,00	8,00					
	Наждак	2	4,0 - 4,0	8,0	1	0,12	0,4	2,3	0,96	2,20					
	Вертикально-свердлильний верстат	2	6,0 - 6,0	12,0	1	0,12	0,4	2,3	1,44	3,30					
	Строгальний верстат	3	12,0 - 12,0	36,0	1	0,12	0,4	2,3	4,32	9,90					
	Деревообробний верстат	3	10,0 - 10,0	30,0	1	0,12	0,4	2,3	3,60	8,25					
	Фрезерувальний верстат	2	10,0 - 10,0	20,0	1	0,12	0,4	2,3	2,40	5,50					
	Свердлильний	1	2,0 - 2,0	2,0	1	0,12	0,4	2,3	0,24	0,55					
	Дереворозпилювальний верстат	1	18,0 - 18,0	18,0	1	0,12	0,4	2,3	2,16	4,95					
	Кран	2	4,0 - 4,0	8,0	1	0,05	0,5	1,7	0,40	0,69					
	Всього	22	2,0 - 18,0	208,0	9	0,23	0,51	1,7	47,32	80,02	22	1,45	68,6	80,02	105,41
9	Швейний цех														
	Оверлок клас 51	2	0,37 - 0,37	0,74	1	0,35	0,7	1	0,26	0,26					
	Машина швейна клас 97	20	3,70 - 3,70	74	1	0,35	0,7	1	25,90	26,42					
	Машина петельна	2	0,37 - 0,37	0,74	1	0,35	0,7	1	0,26	0,26					
	Машина гудзикова	2	0,37 - 0,37	0,74	1	0,35	0,7	1	0,26	0,26					
	Витяжний вентилятор	4	1,70 - 1,70	6,8	1	0,8	0,8	0,8	5,44	4,08					
	Всього	30	0,37 - 3,70	83,02	10	0,39	0,72	1	32,12	31,30	30	1,26	40,4	31,30	51,10
10	Сховище сухого піску														
	Норія	2	5,5 - 5,5	11,0	1	0,8	0,8	0,8	8,80	6,60					
	Транспортер	2	3,5 - 3,5	7,0	1	0,5	0,8	0,8	3,50	2,63					
	Вентилятор витяжний	2	7,5 - 7,5	15,0	1	0,8	0,85	0,6	12,00	7,44					
	Всього	6	3,5 - 7,5	33,0	2	0,74	0,82	0,7	24,30	16,66	6	1,22	29,7	18,33	34,90
11	Насосна перекачки дизельного палива														
	Насос вакуумний ВВН-10/75	2	20,0 - 20,0	40,0	1	0,8	0,8	0,8	32,00	24,00					
	Насос НЦС-1/120	2	20,0 - 20,0	40,0	1	0,8	0,8	0,8	32,00	24,00					
	Допоміжні електродвигуни	10	8,5 - 8,5	85,0	1	0,6	0,7	1	51,00	52,03					
	Всього	14	8,5 - 20,0	165,0	2	0,70	0,75	0,9	115,00	100,03	14	1,16	133,6	100,03	166,92

Продовження табл. 2.1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
12	Гараж пожежний														
	Механічні підйомники	2	3,0 - 3,0	6,0	1	0,1	0,6	1,3	0,60	0,80					
	Гідравлічні підйомники	3	4,2 - 4,2	12,6	1	0,1	0,6	1,3	1,26	1,68					
	Кран-балка	3	5,5 - 5,5	16,5	1	0,1	0,6	1,3	1,65	2,20					
	Гідравлічний прес	1	7,0 - 7,0	7,0	1	0,35	0,6	1,3	2,45	3,27					
	Сушільна камера	2	15,0 - 15,0	30,0	1	0,4	1	0	12,00	0,00					
	Всього	11	3,0 - 15,0	72,1	5	0,25	0,91	0,4	17,96	7,95	10	1,70	30,5	8,74	31,76
14	Резервуари пожежні														
	Насоси закачуючі	2	5,5 - 5,5	11,0	1	0,8	0,8	0,8	8,80	6,60					
	Насоси перекачуючі	2	7,5 - 7,5	15,0	1	0,5	0,8	0,8	7,50	5,63					
	Допоміжні двигуни	2	7,5 - 7,5	15,0	1	0,8	0,85	0,6	12,00	7,44					
	Всього	6	5,5 - 7,5	41,0	1	0,69	0,82	0,7	28,30	19,66	6	1,28	36,3	21,63	42,24
15	Стійла реостатних випробувань														
	Установка для випробувань	6	1,0 - 1,0	6,0	1	0,3	0,8	0,8	1,80	1,35					
	Реактор вводу електровозів	2	115,0 - 115,0	230,0	1	0,7	0,8	0,8	161,00	120,75					
	Всього	8	1,00 - 115,0	236,0	115	0,69	0,80	0,8	162,80	122,10	4	1,37	223,8	134,31	260,99
	Всього по депо	314	0,07 - 152,45	2572,5	2117	0,51	0,75	0,9	1310,6	1166,5	34	1,18	1543,3	1166,50	1934,56

Таблиця 2.2. Розрахунок освітлювального навантаження локомотивного депо.

№ п/п	Найменування підрозділу	F, м ²	P ₀ , Вт/м ²	P _y , кВт	tg	Q _y , квар	K _c	P _p , кВт	Q _p , квар	S _p , кВА
1	Контора складу палива	3150	18	56,70	0,48	27,22	0,8	45,36	21,77	50,3
2	Стрілочний піст	171	16	2,74	0,48	1,31	0,8	2,19	1,05	2,4
3	Склад сирого піску	160	8	1,28	1,73	2,21	0,65	0,83	1,44	1,7
4	Мастилороздаточна	312	14	4,37	0,48	2,10	0,8	3,49	1,68	3,9
5	Пункт харчування	308	20	6,16	0,48	2,96	0,9	5,54	2,66	6,1
6	Локомотивне депо	12000	16	192,00	1,73	332,16	0,7	134,40	232,51	268,6
7	Приміщення для сушки піску	96	14	1,34	0,48	0,65	0,8	1,08	0,52	1,2
8	Столярний цех	256	16	4,10	0,48	1,97	0,8	3,28	1,57	3,6
9	Швейний цех	736	18	13,25	0,48	6,36	0,8	10,60	5,09	11,8
10	Сховище сухого піску	184	8	1,47	1,73	2,55	0,8	1,18	2,04	2,4
11	Насосна перекачки дизельного палива.	507	12	6,08	1,73	10,53	0,8	4,87	8,42	9,7
12	Гараж пожежний	350	12	4,20	1,73	7,27	0,8	3,36	5,81	6,7
13	Резервуари дизельного палива	3900	8	31,20	1,73	53,98	1	31,20	53,98	62,3
14	Резервуари пожежні	480	8	3,84	1,73	6,64	1	3,84	6,64	7,7
15	Стійла реостатних випробувань	75	14	1,05	0,48	0,50	0,8	0,84	0,40	0,9
16	Освітлення території	202900	0,1	20,29	1,73	35,10	1	20,29	35,10	40,5
Всього по депо				350,07		493,49		272,3	380,7	468,1

Таблиця 2.3. Розрахунок електричних навантажень локомотивного депо в мережі вище 1000 В.

№	Назва вузлів навантаження та груп електроприймачів	Кількість ел. споживачів	Встановлена потужність, кВт		m	Kв	cos	tg	Середнє навантаження за зміну		ne	Km	Розрахункова потужність		
			Одного	Сумарна					Pср, кВт	Qср, квар			Pr, кВт	Qr, квар	Sp, кВА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	ТП№1,2														
6	<u>Локомотивне депо</u>														
	силова	149	0,07 - 152,5	1264,3	2117	0,46	0,70	1,02	576,48	590,83	17	1,30	750,65	590,83	955,27
	освітлювальна												134,4	232,5	268,6
8	<u>Столярний цех</u>														
	силова	22	2,0 - 18,0	208,0	9	0,23	0,51	1,69	47,32	80,02	22	1,45	68,61	80,02	105,41
	освітлювальна												3,28	1,57	3,63
9	<u>Швейний цех</u>														
	силова	30	0,4 - 3,7	83,0	10	0,39	0,72	0,97	32,12	31,30	30	1,26	40,39	31,30	51,10
	освітлювальна												10,60	5,09	11,76
15	<u>Стійла реостатних випробувань</u>														
	силова	8	1,0 - 115,0	236,0	115	0,69	0,80	0,75	162,80	122,10	4	1,37	223,77	134,31	260,99
	освітлювальна												0,84	0,40	0,93
	Всього по ТП№1,2														
	силова	209	0,07 - 152,5	1791,3	2117	0,46	0,70	1,01	818,72	824,25	24	1,18	966,1	824,2	1269,9
	освітлювальна												149,1	239,6	282,2
	Всього												1115,2	1063,8	1541,2
	БСК													-1072,0	
	З урахуванням БСК												1115,2	-8,2	1115,2
	Втрати в трансформаторі S _{тр} = 400	4											14,5	68,6	70,1
	Всього на шинах 10 кВ ТП№1,2												1129,7	60,4	1131,3
	ТП№3,4														
3	<u>Склад сирого піску</u>														
	силова	8	3,50 - 7,50	48,0	2	0,76	0,83	0,66	36,30	24,10	8	1,16	42,14	26,51	49,78
	освітлювальна												0,83	1,44	1,66
4	<u>Мастилороздаточна</u>														
	силова	8	4,40 - 13,50	62,5	3	0,56	0,85	0,61	34,95	21,26	8	1,37	47,71	23,39	53,13
	освітлювальна												3,49	1,68	3,88
7	<u>Приміщення для сушки піску</u>														
	силова	10	0,75 - 88,00	269,5	117	0,71	0,81	0,73	190,39	138,71	6	1,26	240,22	152,58	284,58
	освітлювальна												1,08	0,52	1,19

[illegible]

Продовження табл. 2.3.

1	2	3	4		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	Всього по депо															

3. Побудова графіків електричних навантажень локомотивного депо.

Методика розрахунку параметрів графіків електричних навантажень, а також порядок їх побудови детально описані в [1–4] і в даній роботі вони не наводяться. Для виконання необхідних обчислень і побудови графічних залежностей використано програму Mathcad. На підставі проведених розрахунків побудовано графіки електричних навантажень локомотивного депо. Результати обчислень і відповідні графічні залежності наведено нижче у вигляді скріншотів робочого середовища програми.

Побудова графіків роботи депо

1. Активне розрахункове навантаження: $P_{\max} := 1839.9 \text{ кВт}$

2. Реактивне розрахункове навантаження: $Q_{\max} := 1663.7 \text{ квар}$

$T_{\text{лето р}} := 105$ $T_{\text{лето в}} := 48$ $T_{\text{зима р}} := 147$ $T_{\text{зима в}} := 65$

$T_{\Gamma} = 365$

3. Задання графіка навантаження (в %) для кожної ступені графіка (1 - для активної потужності, 2 - для реактивної потужності):

Робочі дні

	1	2
1	45	62
2	45	62
3	45	62
4	45	65
5	45	65
6	45	85
7	80	95
8	82	95
9	90	95
10	100	100
11	90	95
12	80	90
13	70	90
14	60	80
15	60	80
16	60	80
17	65	90
18	55	70
19	45	65
20	45	65
21	45	62
22	45	62
23	45	62
24	45	...

Вихідні дні

	1	2
1	20	25
2	20	25
3	20	25
4	20	25
5	20	25
6	20	25
7	20	25
8	20	25
9	15	20
10	15	20
11	15	20
12	15	20
13	15	20
14	15	20
15	15	20
16	15	20
17	15	20
18	20	25
19	20	25
20	20	25
21	20	25
22	20	25
23	20	25
24	20	25

4. Обчислення сходинок графіка навантаження:

1. літні робочі дні
2. зимні робочі дні
3. літні вихідні дні
4. зимні вихідні дні

Power_1 =

	1	2	3
1	704	877	1124
2	704	877	1124
3	704	877	1124
4	704	919	1158
5	704	919	1158
6	704	1202	1393
7	1251	1343	1836
8	1282	1343	1857
9	1408	1343	1946
10	1564	1414	2108
11	1408	1343	1946
12	1251	1273	1785
13	1095	1273	1679
14	938	1131	1470
15	938	1131	1470
16	938	1131	1470
17	1017	1273	1629
18	860	990	1311
19	704	919	1158
20	704	919	1158
21	704	877	1124
22	704	877	1124
23	704	877	1124
24	704	877	...

Power_2 =

	1	2	3
1	828	1031	1323
2	828	1031	1323
3	828	1031	1323
4	828	1081	1362
5	828	1081	1362
6	828	1414	1639
7	1472	1581	2160
8	1509	1581	2185
9	1656	1581	2289
10	1840	1664	2481
11	1656	1581	2289
12	1472	1497	2100
13	1288	1497	1975
14	1104	1331	1729
15	1104	1331	1729
16	1104	1331	1729
17	1196	1497	1916
18	1012	1165	1543
19	828	1081	1362
20	828	1081	1362
21	828	1031	1323
22	828	1031	1323
23	828	1031	1323
24	828	1031	...

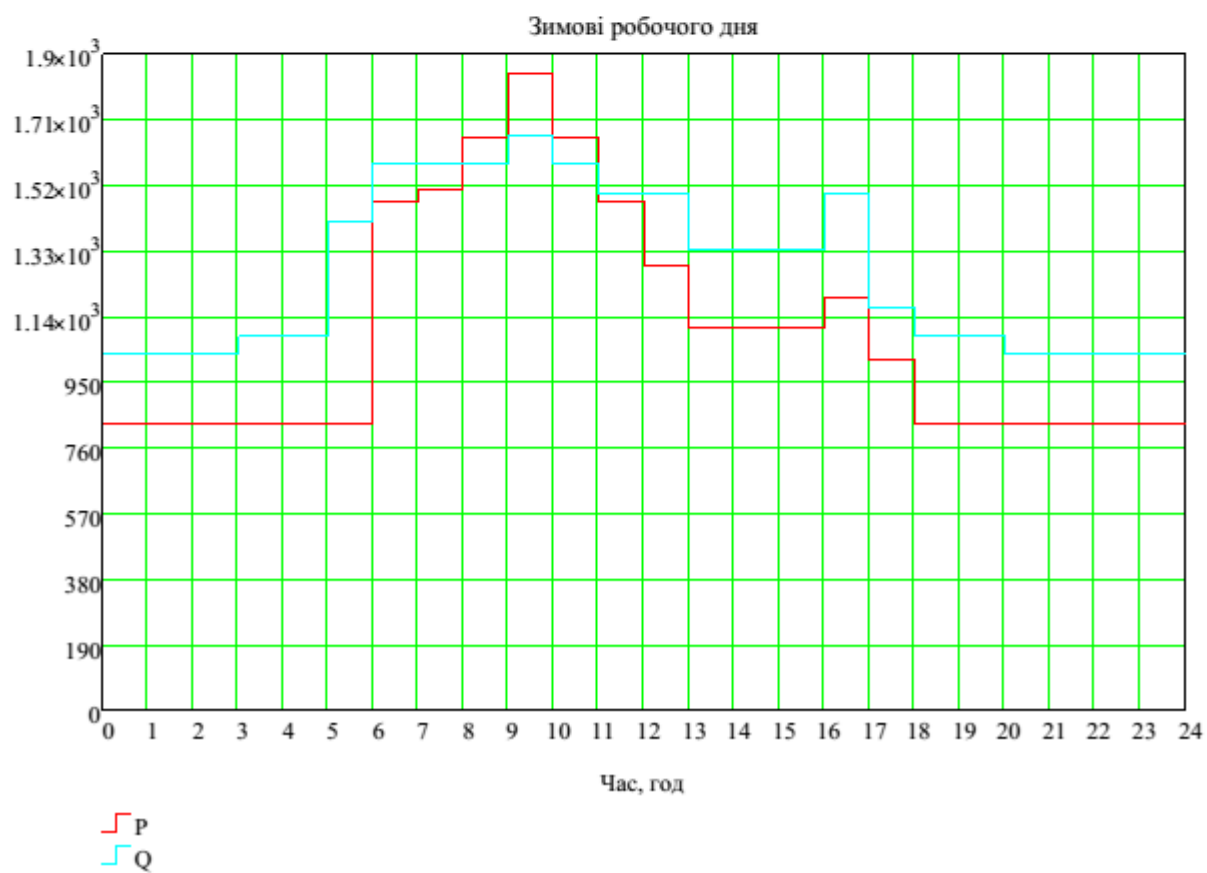
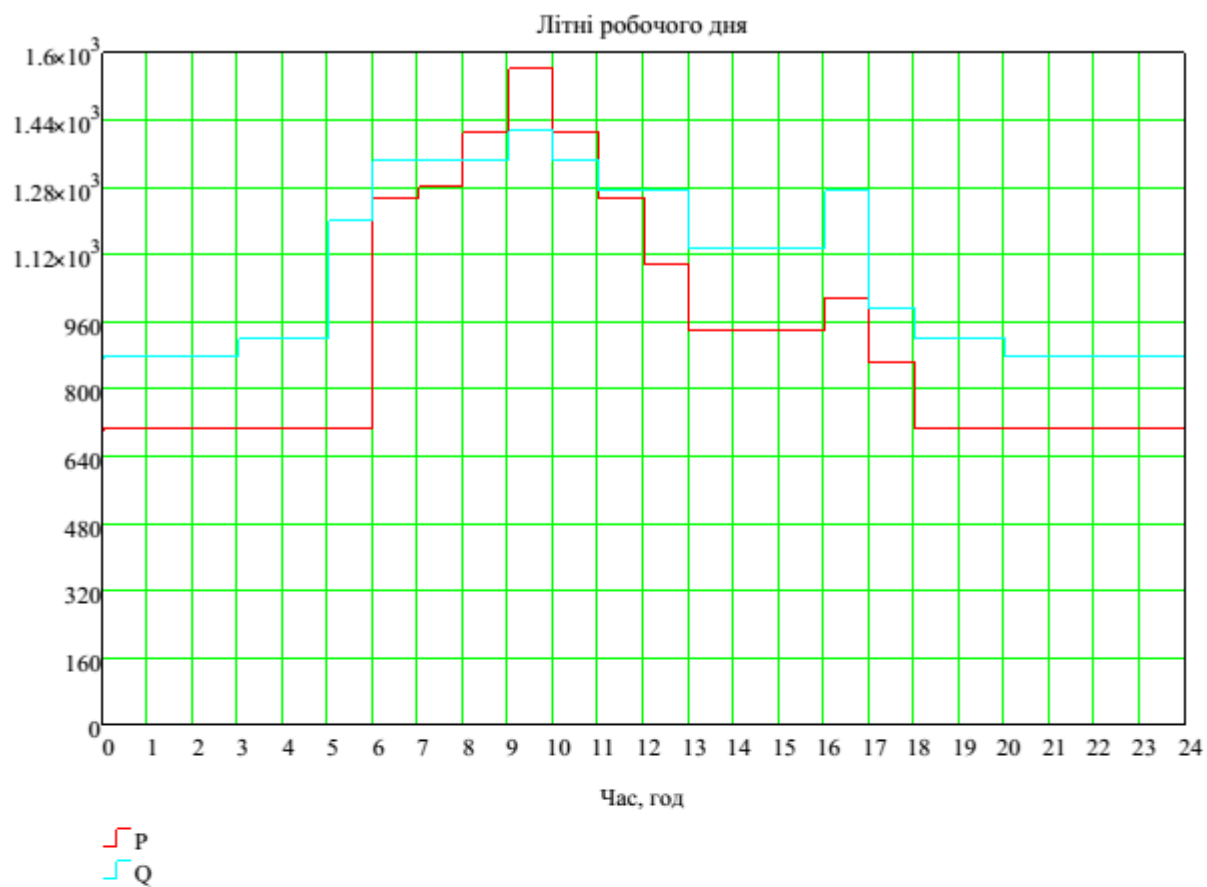
Power_3 =

	1	2	3
1	313	354	472
2	313	354	472
3	313	354	472
4	313	354	472
5	313	354	472
6	313	354	472
7	313	354	472
8	313	354	472
9	235	283	367
10	235	283	367
11	235	283	367
12	235	283	367
13	235	283	367
14	235	283	367
15	235	283	367
16	235	283	367
17	235	283	367
18	313	354	472
19	313	354	472
20	313	354	472
21	313	354	472
22	313	354	472
23	313	354	472
24	313	354	...

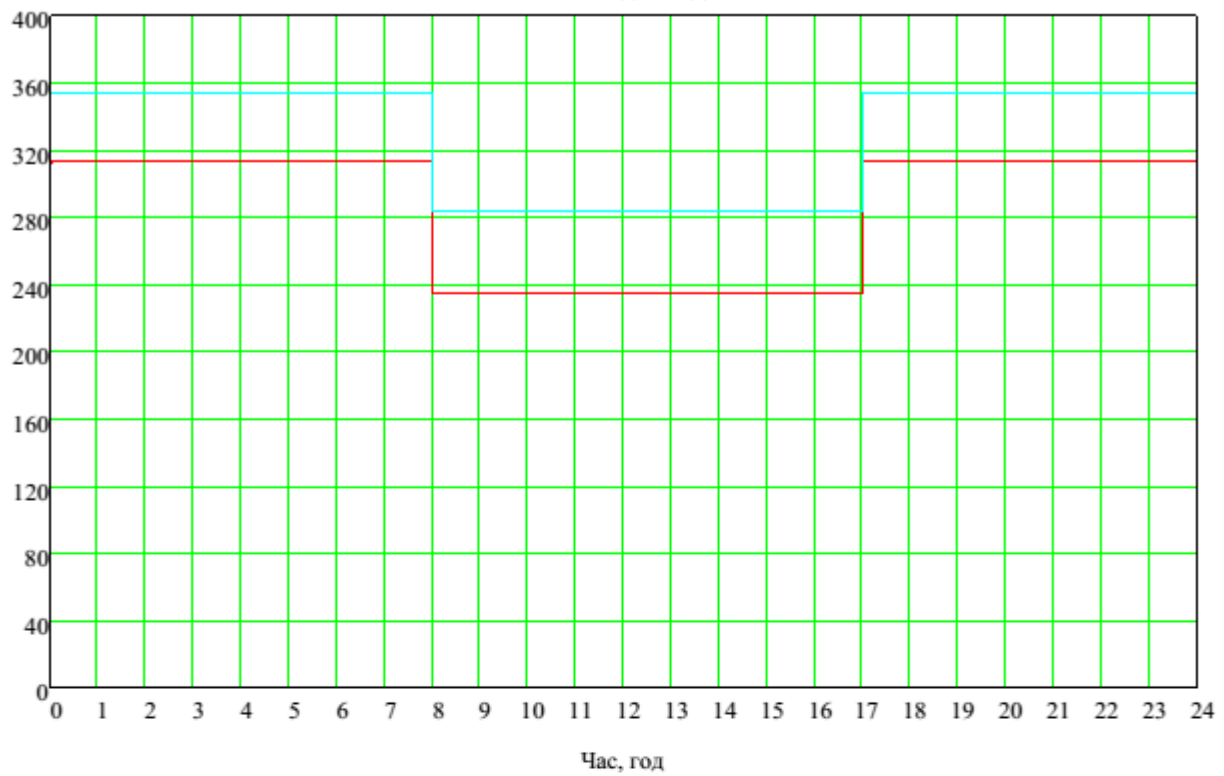
Power_4 =

	1	2	3
1	368	416	555
2	368	416	555
3	368	416	555
4	368	416	555
5	368	416	555
6	368	416	555
7	368	416	555
8	368	416	555
9	276	333	432
10	276	333	432
11	276	333	432
12	276	333	432
13	276	333	432
14	276	333	432
15	276	333	432
16	276	333	432
17	276	333	432
18	368	416	555
19	368	416	555
20	368	416	555
21	368	416	555
22	368	416	555
23	368	416	555
24	368	416	...

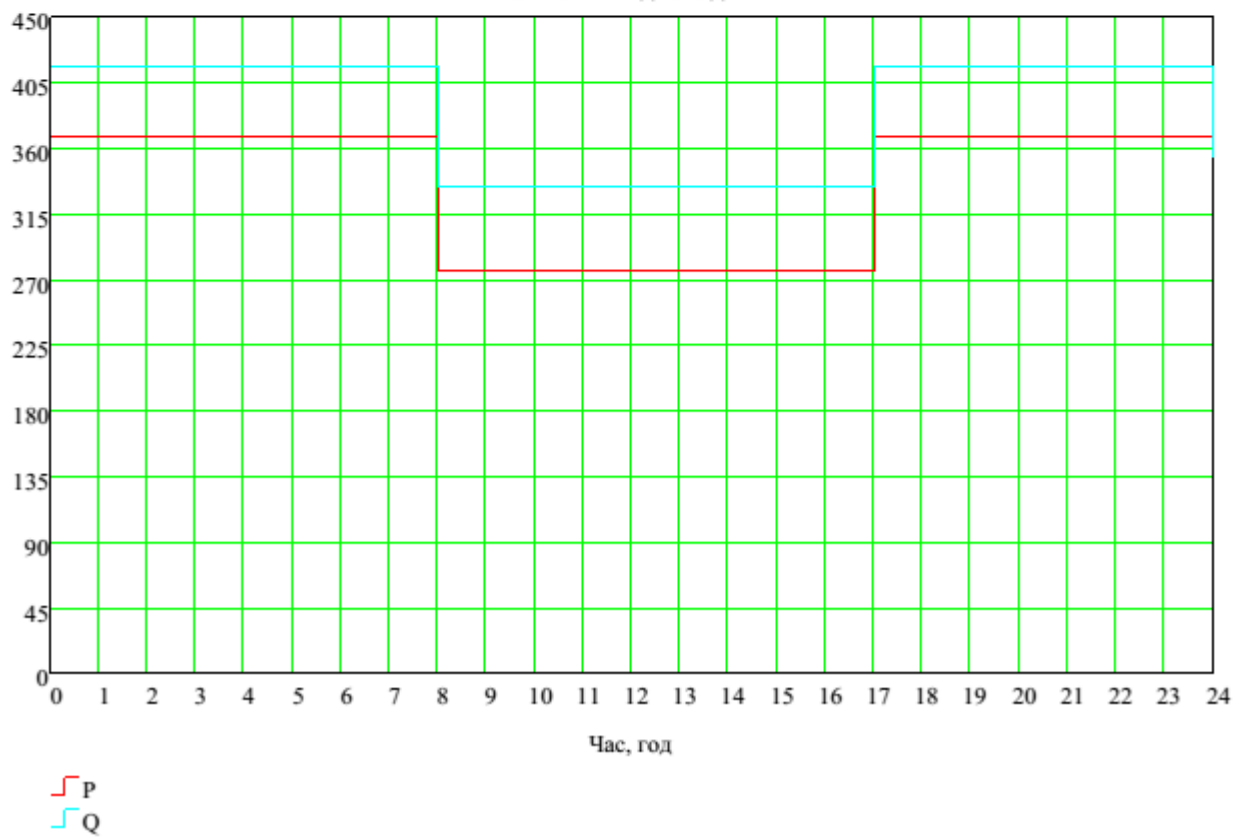
- 1 - активнаа потужність
- 2 - реактивна потужність
- 3 - повна потужність

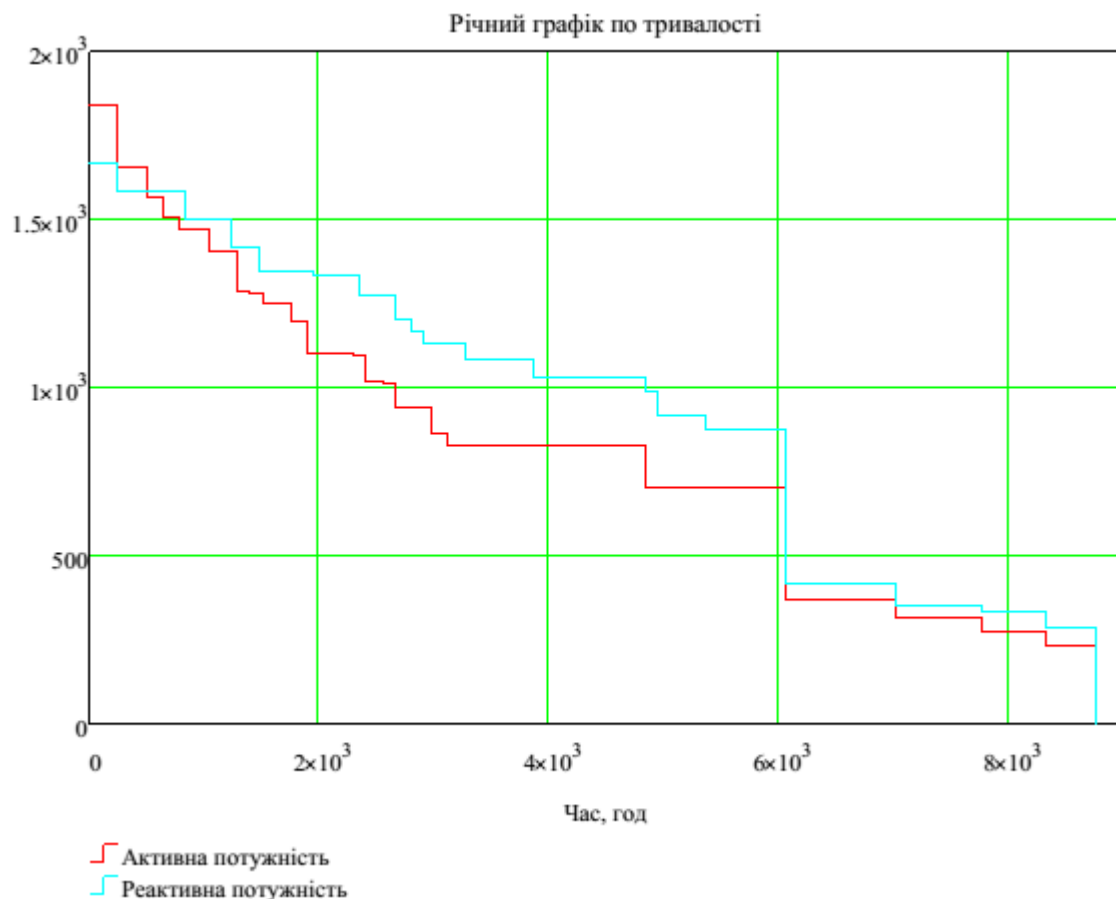


Літні вихідного дня



Зимові вихідного дня





Споживання активної енергії за літню вихідну добу, кВт·год:

$$W_{\text{лето_в}} = 6803$$

Споживання активної енергії за літню робочу добу, кВт·год:

$$W_{\text{лето_р}} = 22395$$

Споживання активної енергії за зимову вихідну добу, кВт·год:

$$W_{\text{зима_в}} = 8004$$

Споживання активної енергії за зимову робочу добу, кВт·год:

$$W_{\text{зима_р}} = 26347$$

Споживання реактивної енергії за літню вихідну добу, квар·год:

$$V_{\text{лето_в}} = 7849$$

Споживання реактивної енергії за літню робочу добу, квар·год:

$$V_{\text{лето_р}} = 26006$$

Споживання реактивної енергії за зимову вихідну добу, квар·год:

$$V_{\text{зима_в}} = 9234$$

Споживання реактивної енергії за зимову робочу добу, квар·год:

$$V_{\text{зима_р}} = 30595$$

Річне споживання активної енергії, кВт·год:

$$W_{\Gamma} = 7071343$$

Річне споживання реактивної енергії, квар·год:

$$V_{\Gamma} = 8205081$$

Кількість годин використання максимуму потужності, год:

$$T_{\text{max}} = 4367$$

Річний час максимальних втрат, год:

$$\tau = 2701$$

4. Побудова картограм електричних навантажень локомотивного депо та вибір місця розташування головної понижувальної підстанції або центрального розподільчого пристрою.

Подальші розрахунки пов'язані з побудовою картограми електричних навантажень виконано відповідно до методики, наведеної в джерелах [2–4]. Для прикладу, виконаємо розрахунок параметрів побудови для контори складу палива. При виконанні розрахунків прийнято масштаб побудови $m = 0,1$ кВт/мм².

Радіус кола, що відповідає електричному навантаженню контори складу палива:

$$R_1 = \sqrt{\frac{P_1}{\pi m}} = \sqrt{\frac{64,61}{\pi \cdot 0,1}} = 14 \text{ мм},$$

Сектор, що відповідає освітлювальному навантаженню контори складу палива:

$$\alpha_i = \frac{P_{i.осв} \cdot 360}{P_1} = \frac{45,36 \cdot 360}{64,61} = 253^\circ.$$

Розрахунок радіусів кіл і секторів для інших будівель та виробничих приміщень локомотивного депо виконується за аналогічною методикою. Отримані результати розрахунків узагальнено та наведено в табл. 4.

Після побудови картограми електричних навантажень визначаються координати центра електричних навантажень (ЦЕН) локомотивного депо. За результатами розрахунків встановлено, що центр електричних навантажень розташований у точці з координатами:

$$X = 394 \text{ м},$$

$$Y = 311 \text{ м}.$$

Генплан локомотивного депо з нанесенням ЦЕН показано на рис. 4.

Таблиця 4. Розрахунок картограми електричних навантажень локомотивного депо.

№	Найменування цеху або відділення	$P_p^{сип}, \text{кВт}$	$P_p^{осв}, \text{кВт}$	$\Sigma P_p, \text{кВт}$	R, мм	α , град	X, м	Y, м	PX, кВт•м	PY, кВт•м
1	Контора складу палива	19,2	45,36	64,61	14	253	86	185	5539	11939
2	Стрілочний піст	4,9	2,19	7,04	5	112	389	257	2739	1809
3	Склад сирого піску	42,1	0,83	42,97	12	7	557	326	23948	14016
4	Мастилороздаточна	47,7	3,49	51,20	13	25	505	326	25850	16701
5	Пункт харчування	36,2	5,54	41,77	12	48	383	237	16019	9888
6	Локомотивне депо	750,6	134,40	885,05	53	55	393	363	348221	321272
7	Приміщення для сушки піску	240,2	1,08	241,29	28	2	541	326	130588	78685
8	Столярний цех	68,6	3,28	71,89	15	16	241	430	17297	30927
9	Швейний цех	40,4	10,60	50,99	13	75	304	428	15477	21802
10	Сховище сухого піску	29,7	1,18	30,88	10	14	586	326	18087	10072
11	Насосна перекачки дизельного палива.	133,6	4,87	138,49	21	13	404	100	55943	13835
12	Гараж пожежний	30,5	3,36	33,90	10	36	343	29	11627	1000
13	Резервуари дизельного палива	0,0	31,20	31,20	10	360	422	39	13164	1216
14	Резервуари пожежні	36,3	3,84	40,13	11	34	347	65	13925	2627
15	Стійла реостатних випробувань	223,8	0,84	224,61	27	1	324	327	72780	73380
	Всього			1956,02					771203	609169
				X= 394	м					
				Y= 311	м					

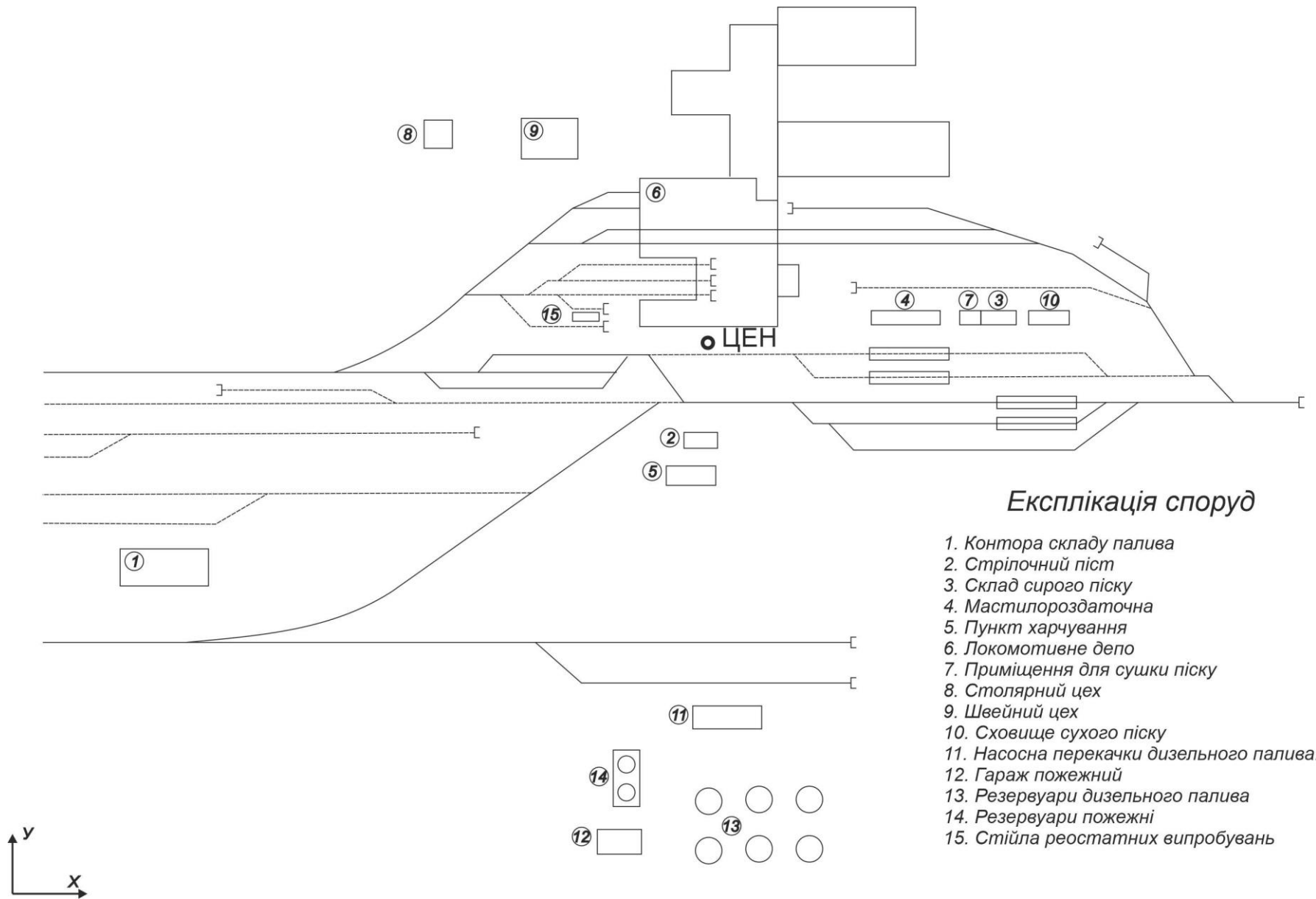


Рис. 4. Генплан локомотивного депо з нанесенням ЦЕН 1:3000.

5. Техніко-економічне обґрунтування схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання локомотивного депо

Вибір раціонального рівня напруги та розробка схеми зовнішнього та внутрішнього електропостачання локомотивного депо виконано відповідно до методичних рекомендацій, наведених у джерелах [1–4]. Під час вибору оптимального варіанта враховано величину та характер електричних навантажень, категорії електроприймачів за надійністю електропостачання, особливості технологічного процесу, перспективи розвитку підприємства, а також техніко-економічні показники проєктованої системи.

5.1 Техніко-економічне обґрунтування схем зовнішнього електропостачання підприємства

У відповідності з можливими варіантами електропостачання підприємство може живитися від п/ст енергосистеми «Помічна» з трьома класами напруги: 150, 35 та 10 кВ. Варіант живлення напругою 150 кВ можна відкинути так, як потужність депо невелика. Тому слід розглядати лише два варіанти електропостачання напругою 10 і 35 кВ (рис 5.1).

Варіант №1. Електропостачання здійснюється напругою 10 кВ за схемою наведеною на рис 5.1.а.

Розрахунковий струм в лінії при напрузі 10 кВ:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3}U_H} = \frac{1892,2}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 104 \text{ А.}$$

Площа перерізу кабельної лінії:

$$F_{\text{ж}} = \frac{I_p}{j_{\text{ж}}} = \frac{104}{1,4} = 74,3 \text{ мм}^2$$

де $j_{\text{ж}} = 1,4$ для кабелів з алюмінієвими жилами і при $3000 < T_M < 5000$ год [3].

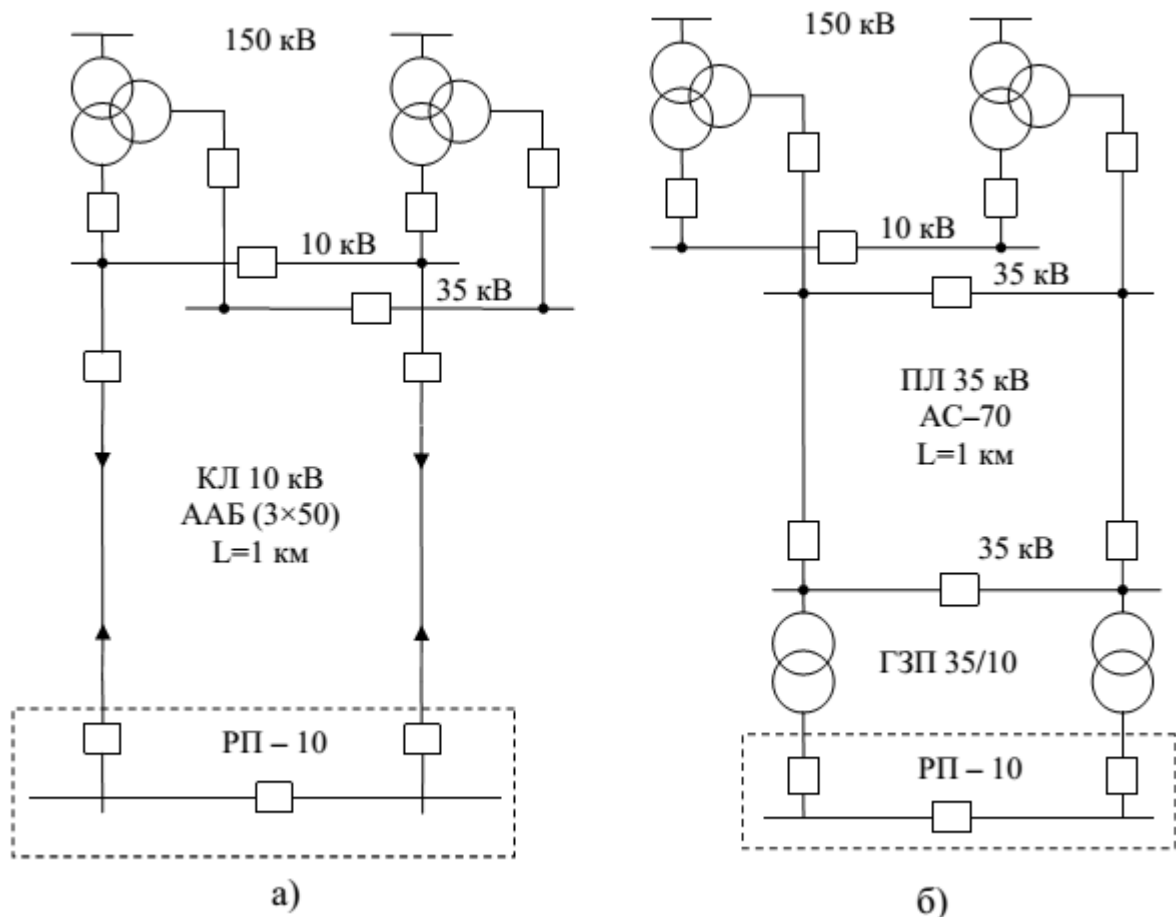


Рис 5.1. Варіанти схем та напруги зовнішнього електропостачання локомотивного депо.

Для зовнішнього електропостачання прийнято до прокладання дві паралельні кабельні лінії з кабелю марки ААБ (3×50) перерізом 50 мм² кожна. Кабель характеризується тривало допустимим струмовим навантаженням $I_{\text{д}}=140\text{А}$, втратами активної потужності $\Delta P_{\text{1км}}=44\text{ кВт/км}$ та вартістю $K_0=2,29 \cdot 12=27,48\text{ тис.грн. за 1 км}$. Перевірка вибраного перерізу здійснюється за умовою допустимого навантаження в нормальному режимі роботи, для чого визначається фактичний коефіцієнт завантаження кабельної лінії:

$$K_3 = \frac{I_p}{2I_{\text{д}}} = \frac{104}{2 \cdot 140} = 0,37.$$

Визначимо аварійний допустимий струм кабельної лінії при відключенні одного ланцюга:

$$I = I_{\text{д}} \cdot K_{\text{АП}} \cdot K_{\text{пр}} \cdot N = 140 \cdot 1,3 \cdot 1 \cdot 1 = 182 \text{ А},$$

де $K_{\text{АП}}$ – допустимий коефіцієнт аварійного перевантаження, $K_{\text{пр}}$ – коефіцієнт прокладки. Отже, розрахунок показує, що в аварійному режимі живлення кабель, що лишився в роботі витримає збільшений струм.

Відповідно втрати потужності ΔP та енергії ΔW в кабельній лінії зовнішнього електропостачання в нормальному режимі:

$$\Delta P_{\text{л}} = \Delta P_{\text{1км}} l_{\Sigma} K_3^2 = 44 \cdot 2 \cdot 0,37^2 = 12,05 \text{ кВт},$$

де l_{Σ} – сумарна довжина кабелю. ($l_{\Sigma} = 2l = 2 \cdot 1 = 2$ км, де $l = 1,0$ км – відстань від п/ст до підприємства).

$$\Delta W = \Delta P_{\text{л}} \tau = 12,05 \cdot 2701 = 32539 \text{ кВт·год},$$

де τ – час використання максимального навантаження (визначено в розділі 3 при побудові графіків електричного навантаження підприємства).

Вартість втрат енергії:

$$C_{\text{ВТР}} = \Delta W C_{\text{О}} = 32539 \cdot 10 = 325,39 \text{ тис. грн.}$$

Варіант №2. Електропостачання здійснюється напругою 35 кВ за схемою наведеною на рис. 5.1 б.

Розрахунковий струм в лінії при напрузі 35 кВ:

$$I_{\text{р}} = \frac{S_{\text{р}}}{\sqrt{3} U_{\text{н}}} = \frac{1892,2}{\sqrt{3} \cdot 35} = 31,2 \text{ А.}$$

Площа перерізу проводів повітряної лінії:

$$F_{\text{л}} = \frac{I_{\text{р}}}{j_{\text{л}}} = \frac{31,2}{1,1} = 28,4 \text{ мм}^2.$$

Використаємо двох цепну ЛЕП з проводами АС площею перерізу 70 мм², яка має наступні технічні параметри на один ланцюг: $\Delta P_{\text{1км}} = 125$ кВт/км, $I_{\text{д}} = 265$ А, $K_{\text{О}} = 10,7 \cdot 12 = 128,4$ тис. грн.

Завантаження лінії 35 кВ в нормальному режимі коли працюють два ланцюги:

$$K_3 = \frac{I_{\text{р}}}{2 I_{\text{д}}} = \frac{31,2}{2 \cdot 265} = 0,059.$$

На знижувальній підстанції необхідно встановити два трансформатори типу

						Арк.
						29

ТМН потужністю $S_H = 1600$ кВА кожен, напругою 35/10 кВ. Завантаження трансформаторів в нормальному режимі коли працюють обидва:

$$K_3 = \frac{S_p}{2S_H} = \frac{1892,2}{2 \cdot 1600} = 0,591.$$

В аварійному режимі при відключенні одного трансформатора, максимально допустиме навантаження того, що лишився в роботі складе:

$$S = 1,4S_H = 1,4 \cdot 1600 = 2240 \text{ кВА},$$

що цілком достатньо для забезпечення безперервного живлення всього локомотивного депо.

Втрати потужності та енергії в лінії 35 кВ:

$$\Delta P_L = \Delta P_{\text{лкм}} I_{\Sigma}^2 K_3^2 = 125 \cdot 2 \cdot 0,059^2 = 0,87 \text{ кВт},$$

$$\Delta W_L = \Delta P_L \tau = 0,87 \cdot 2701 = 2351 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Втрати енергії в трансформаторі:

$$\Delta W_{\text{ТР}} = 2(\Delta P_X t_{\text{вкл}} + \Delta P_K K_3^2 \tau) = 2(2,9 \cdot 8760 + 16,5 \cdot 2701 \cdot 0,591^2) = 81940 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Сукупні втрати в трансформаторі і лінії:

$$\Delta W = \Delta W_L + \Delta W_{\text{ТР}} = 2351 + 81940 = 84291 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Вартість втрат електроенергії при такій схемі електропостачання:

$$C_{\text{ВТР}} = \Delta W C_0 = 84291 \cdot 8,5 = 716,5 \text{ тис. грн}.$$

Розрахунок витрат за варіантами наведено в табл. 5.1.1 - 5.1.3.

Таблиця 5.1.1. Розрахунок капітальних вкладень.

№ варіанта	Назва елементу схеми	Одиниця	К-ть	Вартість тис. грн	Всього тис. грн
I	Шафи на п/ст системи	шт.	2	30	60
	Кабель ААБ	км	2	27,48	54,96
	Траншея	км	1	23,64	23,64
Всього					138,6
II	ЛЕП 35 кВ на З/Б опорах	км	1	128,4	128,4
	КТБП 35/10 кВ	Комплект	1	619,44	619,44
Всього					747,84

Таблиця 5.1.2. Розрахунок поточних витрат.

№ варіанта	Назва елемента схеми	K _j тис. грн.	P _{aj} %	C _{aj} тис. грн.	P _{эj} %	C _{эj} тис. грн.	C _j тис. грн.
I	Кабельна лінія з урахуванням траншеї	78,6	5	3,93	2	1,572	5,502
	Шафи КРУ з вимикачами	60	15	9	3	1,8	10,8
Всього							16,302
II	ЛЕП 35 кВ	128,4	5	6,42	0,14	0,18	6,6
	КТБП 35/10 кВ	619,44	15	92,92	3	18,58	111,5
Всього							118,1

Розрахунок ймовірного збитку від перерви в електропостачанні.

ВАРІАНТ №1.

Розрахункова схема одного ланцюга живлення включає вакуумний вимикач напругою 10 кВ та кабельну лінію довжиною 1 км, через які здійснюється передача електричної енергії від джерела живлення до споживача.

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i = 0,01 + 1 \cdot 0,08 = 0,09 \frac{1}{\text{рік}}.$$

Середній час на відновлення одного ланцюга

$$T_B = \frac{\sum \lambda_i \cdot T_{B_i}}{\lambda} = \frac{0,01 \cdot 1,1 \cdot 10^{-3} + 0,08 \cdot 7 \cdot 10^{-3}}{0,09} = 6,344 \cdot 10^{-3} \frac{\text{год}}{\text{рік}}.$$

Коефіцієнт планового простою для одного ланцюга складе:

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

Коефіцієнт аварійного простою для одного ланцюга складе:

$$K_a = \lambda \cdot T_B = 0,09 \cdot 6,344 \cdot 10^{-3} = 0,571 \cdot 10^{-3}.$$

Коефіцієнт аварійного простою для випадку коли один ланцюг відімкнений для планового ремонту, а в цей час другий відключається із-за пошкодження складе:

$$K_{\text{ап}} = 0,5 \cdot \lambda \cdot K_{\Pi}^2 = 0,5 \cdot 0,09 \cdot (2,4 \cdot 10^{-3})^2 = 0,2592 \cdot 10^{-6}.$$

Коефіцієнт аварійного простою двох ланцюгів схеми електропостачання:

$$K_a^{(2)} = K_a^2 + 2 \cdot K_{\text{ап}} = (0,571 \cdot 10^{-3})^2 + 2 \cdot 0,2592 \cdot 10^{-6} = 0,844 \cdot 10^{-6}.$$

Середньорічний час аварійного простою для нашої схеми складе:

						Арк.
						31

$$T_a = K_a^{(2)} \cdot 8760 = 0,844 \cdot 10^{-6} \cdot 8760 = 0,0074 \text{ год.}$$

Середньорічне активне навантаження локомотивного депо складе:

$$P_{cp} = \frac{1892,2 \cdot 4367}{8760} = 943,3 \text{ кВт.}$$

Збиток від аварійного недовипуску 1 кВт·год електроенергії при прийнятому збитку $Y_o = 40$ грн. становить

$$Y = Y_o \cdot P_{cp} \cdot T_a = 40 \cdot 943,3 \cdot 0,0074 = 0,28 \text{ тис. грн.}$$

ВАРІАНТ №2.

Розрахункова схема ймовірного збитку одного ланцюга живлення при напрузі 35 кВ містить повітряну лінію 35 кВ довжиною 1 км, вимикач 35 кВ і трансформатор 35/10 кВ:

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i = 0,011 \cdot 1 + 0,01 + 0,01 = 0,031 \frac{1}{\text{рік}}.$$

Середній час на відновлення одного ланцюга складе:

$$T_B = \frac{\sum \lambda_i \cdot T_{B_i}}{\lambda} = \frac{0,011 \cdot 0,8 \cdot 10^{-3} + 0,01 \cdot 1,3 \cdot 10^{-3} + 0,01 \cdot 45 \cdot 10^{-3}}{0,031} = 0,015 \cdot 10^{-3} \frac{\text{год}}{\text{рік}}$$

Коефіцієнт планового простою одного ланцюга складе:

$$K_{\pi} = 1,2 \cdot K_{\pi \max} = 1,2 \cdot 6 \cdot 10^{-3} = 7,2 \cdot 10^{-3}.$$

Коефіцієнт аварійного простою одного ланцюга складе:

$$K_a = \lambda \cdot T_B = 0,031 \cdot 9,6 \cdot 10^{-3} = 0,298 \cdot 10^{-3}.$$

Коефіцієнт аварійного простою коли один ланцюг відімкнений для планового ремонту і в цей час другий відключається із-за пошкодження складе:

$$K_{ap} = 0,5 \cdot \lambda \cdot K_{\pi}^2 = 0,5 \cdot 0,031 \cdot (7,2 \cdot 10^{-3})^2 = 0,804 \cdot 10^{-6}.$$

Коефіцієнт аварійного простою двох ланцюгів при напрузі 35 кВ складе:

$$K_a^{(2)} = K_a^2 + 2 \cdot K_{ap} = (0,298 \cdot 10^{-3})^2 + 2 \cdot 0,804 \cdot 10^{-6} = 1,7 \cdot 10^{-6}.$$

Середньорічний час аварійного простою схеми електропостачання напругою 35 кВ складе:

$$T_a = K_a^{(2)} \cdot 8760 = 1,7 \cdot 10^{-6} \cdot 8760 = 0,015 \text{ год.}$$

Збиток від аварійного недовипуску 1 кВт·год електроенергії становитиме:

$$Y = Y_o \cdot P_{cp} \cdot T_a = 40 \cdot 943,3 \cdot 0,015 = 0,566 \text{ тис. грн.}$$

						Арк.
						32

Таблиця 5.1.3. Техніко-економічні показники по варіантам.

№ п/п	Показники	Варіант схеми	
		1	2
1	Капітальні вкладення, тис.грн.	138,6	747,84
2	Поточні витрати, тис.грн.	16,302	118,1
3	Вартість втрат електроенергії, тис.грн.	325,39	716,5
4	Збиток, тис.грн.	0,28	0,566
	Зведені витрати, тис.грн.	358,6	924,91

За результатами техніко-економічного порівняння встановлено, що варіант І є найбільш доцільним за економічними показниками. У зв'язку з цим саме цей варіант зовнішнього електропостачання приймається для подальшого проектування.

5.2 Вибір напруги і електричних схем внутрішнього електропостачання підприємства.

Для внутрішнього розподілу електроенергії в локомотивному депо прийнято рівень напруги 10 кВ. Живлення силових електроприймачів і освітлювальних установок цехів здійснюється від трифазної мережі напругою 380/220 В, яка є стандартною для промислових електроустановок та забезпечує надійну роботу як технологічного обладнання, так і систем освітлення.

Вибір схеми розподілу електричної енергії на території локомотивного депо здійснюється з урахуванням просторового розташування споживачів, величини електричних навантажень, категорії надійності електропостачання, а також техніко-економічної доцільності. Залежно від зазначених чинників можуть застосовуватися радіальні, магістральні або комбіновані схеми електропостачання.

З урахуванням конфігурації території локомотивного депо, розташування виробничих будівель та структури електричних навантажень у проєкті прийнято схему електропостачання, яка забезпечує необхідний рівень надійності, економічності та зручності експлуатації.

6. Режими реактивної потужності системи електропостачання

локомотивного депо

6.1 Розрахунок балансу реактивної потужності та вибір компенсуючих пристроїв локомотивного депо

Визначення балансу реактивної потужності локомотивного депо виконується відповідно до методики, наведеної в літературних джерелах [1–4]. Оскільки зазначена методика є загальноприйнятою та детально розглянута у спеціалізованій технічній літературі, у даному розділі наведено лише основні результати виконаних розрахунків.

Підсумкове навантаження на шинах 10 кВ локомотивного депо для розрахунку балансу реактивної потужності складається з навантаження 0,4 кВ та втрат в трансформаторах ТП.

$$P_p = P_n + \Delta P_{тр} + P_v = 1815,7 + 24,3 + 0 = 1840 \text{ кВт},$$

$$Q_p = Q_n + \Delta Q_{тр} + Q_v = 1547,2 + 116,5 + 0 = 1663,7 \text{ квар.}$$

Економічно доцільна реактивна потужність, що може бути надана енергосистемою споживачу:

$$Q_e = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi_e = 1840 \cdot 0,25 = 460 \text{ квар.}$$

Загальна встановлена потужність компенсуючих пристроїв, визначена з балансу реактивної потужності на межі електричного розподілу між споживачами та енергосистемою, становить:

$$Q_{кп\Sigma} = Q_p - Q_e = 1663,7 - 460 = 1203,7 \text{ квар.}$$

Мінімально необхідна кількість трансформаторів для локомотивного депо при прийнятому коефіцієнті завантаження 0,7 складе:

$$N_0 = \frac{P_n}{K_3 \cdot S_{т.н}} = \frac{1815,7}{0,7 \cdot 400} = 6,48 \approx 7.$$

Розглянемо три варіанти компенсації реактивної потужності з кількістю трансформаторів, що дорівнюватиме: $N = N_0$; $N = N_0 + 1$; $N = N_0 + 2$. Збільшення трансформаторів дозволить збільшити пропускну здатність по реактивній потужності та підвищить рівень її компенсації в мережі 10 кВ.

Варіант I $N = N_0 = 7$.

Визначаємо реактивну потужність, що може бути передана з мережі 10 кВ в мережу 0,4 кВ:

$$Q_{\Pi} = \sqrt{(N \cdot K_3 \cdot S_{\text{н.т.}})^2 - P_{\text{н}}^2} = \sqrt{(7 \cdot 0,7 \cdot 400)^2 - 1840^2} = 675,3 \text{ квар.}$$

Необхідна потужність компенсуючих пристроїв у мережі напругою до 1000 В визначається виходячи з умов забезпечення балансу реактивної потужності на шинах трансформаторної підстанції:

$$Q_{\text{кн}} = Q_{\text{н}} - Q_{\Pi} = 1547,2 - 675,3 = 871,9 \text{ квар.}$$

Приймаємо стандартну потужність комплектних конденсаторних батарей $Q_{\text{кн}} = 1222$ квар, згідно з табл. 6.2.

Уточнюємо значення пропускної реактивної потужності Q_{Π} :

$$Q_{\Pi} = Q_{\text{н}} - Q_{\text{кн}} = 1547,2 - 1222 = 325,2 \text{ квар.}$$

Потужність КП, що встановлюються в мережі 10 кВ визначаємо з умови балансу реактивної потужності на шинах 10 кВ ЦРП:

$$Q_{\text{кв}} = Q_{\text{р}} - Q_{\text{кн}} - Q_{\text{е}} = 1663,7 - 1222 - 460 = 0 \text{ квар.}$$

Уточнюємо значення реактивної потужності споживаної з енергосистеми:

$$Q_{\text{е}} = Q_{\text{р}} - Q_{\text{кн}} - Q_{\text{кв}} = 1663,7 - 1222 - 0 = 441,7 \text{ квар.}$$

Втрати потужності в низьковольтних та високовольтних батареях конденсаторів:

$$\Delta P_{\text{кн}} = \Delta P_{\text{пит}}^{\text{кн}} \cdot Q_{\text{кн}} = 0,0045 \cdot 1222 = 5,5 \text{ кВт,}$$

$$\Delta P_{\text{кв}} = \Delta P_{\text{пит}}^{\text{кв}} \cdot Q_{\text{кв}} = 0,0025 \cdot 0 = 0 \text{ кВт,}$$

де $\Delta P_{\text{пит}}^{\text{кн}}$, $\Delta P_{\text{пит}}^{\text{кв}}$ – питомі втрати активної потужності відповідно в низьковольтних та високовольтних БК, кВт/квар.

Втрати активної потужності при передачі реактивної потужності через трансформатори системи електропостачання:

$$\Delta P_{\text{тп}} = \frac{Q_{\Pi}^2}{U_{\text{н}}^2} \cdot R'_{\text{ек}} = \frac{325,2^2}{10^2} \cdot 0,000491 = 0,519 \text{ кВт,}$$

$$\text{де } R'_{\text{ек}} = \frac{\Delta P_{\text{к}} \cdot U_{\text{н}}^2}{N \cdot S_{\text{т.н}}^2} = \frac{5,5 \cdot 10^2}{7 \cdot 400^2} = 0,000491 \text{ кОм.}$$

Вартість низьковольтних та високовольтних конденсаторних батарей:

$$K_{KH} = \sum_{i=1}^n N_{KH_i} \cdot K_{KKY0,4i} = 4 \cdot 9083 + 3 \cdot 4965 = 51227 \text{ грн.}$$

де 9083 грн. – вартість комплектної конденсаторної установки 268 квар;

4965 грн. – вартість комплектної конденсаторної установки 50 квар.

Вартість КТП:

$$K_{KTP} = N_{KTP-1} \cdot K_{KTP-1} + N_{KTP-2} \cdot K_{KTP-2} = 1 \cdot 60480 + 3 \cdot 130080 = 450720 \text{ грн.},$$

де N_{KTP-1} ; N_{KTP-2} – кількість одно та двох трансформаторних КТП;

K_{KTP-1} ; K_{KTP-2} – вартість одно та двох трансформаторних КТП.

Розрахункові витрати на компенсацію реактивної потужності:

$$\begin{aligned} Z &= E_H \cdot (K_{KH} + K_{KB} + K_{KTP}) + (\Delta P_{KH} + \Delta P_{KB} + \Delta P_{KTP}) \cdot C_0 \cdot \tau = \\ &= 0,12 \cdot (51227 + 0 + 450720) + (5,5 + 0 + 0,519) \cdot 10 \cdot 2701 = 222807 \text{ грн.} \end{aligned}$$

Варіант II $N = N_0 + 1 = 8$.

$$Q_{\Pi} = \sqrt{(N \cdot K_3 \cdot S_{H.T.})^2 - P_H^2} = \sqrt{(8 \cdot 0,7 \cdot 400)^2 - 1840^2} = 1277 \text{ квар},$$

$$Q_{KH} = Q_H - Q_{\Pi} = 1547,2 - 1277 = 270,2 \text{ квар},$$

Приймаємо стандартну потужність комплектних конденсаторних батарей

$Q_{KH} = 400$ квар, згідно з табл. 6.2.

$$Q_{\Pi} = Q_H - Q_{KH} = 1547,2 - 400 = 1147,2 \text{ квар},$$

$$Q_{KB} = Q_P - Q_{KH} - Q_e = 1663,7 - 400 - 460 = 803,7 \text{ квар.}$$

Приймаємо до встановлення стандартну потужність: $Q_{KB} = 900$ квар.

$$Q_e = Q_P - Q_{KH} - Q_{KB} = 1663,7 - 400 - 900 = 363,7 \text{ квар},$$

$$\Delta P_{KH} = \Delta P_{\text{ПІТ}}^{KH} \cdot Q_{KH} = 0,0045 \cdot 400 = 1,8 \text{ кВт},$$

$$\Delta P_{KB} = \Delta P_{\text{ПІТ}}^{KB} \cdot Q_{KB} = 0,0025 \cdot 900 = 2,25 \text{ кВт},$$

$$\Delta P_{\text{ТП}} = \frac{Q_{\Pi}^2}{U_H^2} \cdot R'_{ЕК} = \frac{1147,2^2}{10^2} \cdot 0,00043 = 5,65 \text{ кВт},$$

$$\text{де } R'_{ЕК} = \frac{\Delta P_K \cdot U_H^2}{N \cdot S_{T.H}^2} = \frac{5,5 \cdot 10^2}{8 \cdot 400^2} = 0,00043 \text{ кОм.}$$

$$K_{KH} = \sum_{i=1}^n N_{KH_i} \cdot K_{KKY0,4i} = 5 \cdot 4965 = 24825 \text{ грн.}$$

$$K_{KB} = \sum_{i=1}^n N_{KBi} \cdot K_{KKY10i} = 2 \cdot 10065 = 20130 \text{ грн.}$$

де 10065 грн. – вартість комплектної конденсаторної установки 450 квар.

$$K_{КТП} = N_{КТП-1} \cdot K_{КТП-1} + N_{КТП-2} \cdot K_{КТП-2} = 2 \cdot 60480 + 3 \cdot 130080 = 511200 \text{ грн.,}$$

$$З = 0,12 \cdot (24825 + 20130 + 511200) + (1,8 + 2,25 + 5,65) \cdot 10 \cdot 2701 = 328736 \text{ грн.}$$

Варіант III $N = N_o + 2 = 9$.

$$Q_{\Pi} = \sqrt{(N \cdot K_3 \cdot S_{H.T.})^2 - P_H^2} = \sqrt{(9 \cdot 0,7 \cdot 400)^2 - 1840^2} = 1722 \text{ квар}$$

$$Q_{KH} = Q_H - Q_{\Pi} = 1547,2 - 1722 = 0 \text{ квар}$$

Приймаємо стандартну потужність комплектних конденсаторних батарей $Q_{KH} = 150$ квар, згідно з табл. 6.2.

$$Q_{\Pi} = Q_H - Q_{KH} = 1547,2 - 150 = 1397,2 \text{ квар,}$$

$$Q_{KB} = Q_p - Q_{KH} - Q_e = 1663,7 - 150 - 460 = 1053,7 \text{ квар.}$$

Приймаємо до встановлення стандартну потужність: $Q_{KB} = 1350$ квар.

$$Q_e = Q_p - Q_{KH} - Q_{KB} = 1663,7 - 150 - 1350 = 163,7 \text{ квар,}$$

$$\Delta P_{KH} = \Delta P_{\text{ПИТ}}^{KH} \cdot Q_{KH} = 0,0045 \cdot 150 = 0,675 \text{ кВт,}$$

$$\Delta P_{KB} = \Delta P_{\text{ПИТ}}^{KB} \cdot Q_{KB} = 0,0025 \cdot 1350 = 3,375 \text{ кВт,}$$

$$\Delta P_{\text{ТП}} = \frac{Q_{\Pi}^2}{U_H^2} \cdot R'_{EK} = \frac{1397,2^2}{10^2} \cdot 0,00038 = 7,46 \text{ кВт,}$$

$$\text{де } R'_{EK} = \frac{\Delta P_K \cdot U_H^2}{N \cdot S_{T.H}^2} = \frac{5,5 \cdot 10^2}{9 \cdot 400^2} = 0,00038 \text{ кОм.}$$

$$K_{KH} = \sum_{i=1}^n N_{KH i} \cdot K_{KKY0,4i} = 3 \cdot 4965 = 14895 \text{ грн.,}$$

$$K_{KB} = \sum_{i=1}^n N_{KB i} \cdot K_{KKY10i} = 3 \cdot 10065 = 30195 \text{ грн.}$$

$$K_{КТП} = N_{КТП-1} \cdot K_{КТП-1} + N_{КТП-2} \cdot K_{КТП-2} = 1 \cdot 60480 + 4 \cdot 130080 = 580800 \text{ грн.,}$$

$$З = 0,12 \cdot (14895 + 30195 + 580800) + (0,675 + 3,375 + 7,46) \cdot 10 \cdot 2701 = 385992 \text{ грн.}$$

Розрахунок балансу реактивної потужності по варіантам зведених в підсумкову узагальнюючу таблицю – табл. 6.1.

						Арк.
						37

Таблиця 6.1. Баланс реактивної потужності локомотивного депо по різних варіантам компенсації.

№ ТП	Показники	Варіант		
		I	II	III
1	Потужність КП, 0,4 кВ, квар	1222	400	150
2	Потужність КП, 10 кВ, квар	0	900	1350
3	Видача енергосистемою, квар	441,7	363,7	163,7
4	Всього по балансу, квар	1663,7	1663,7	1663,7

За підсумками розрахунків визначено, що сумарні витрати за трьома варіантами компенсації реактивної потужності мають такі значення:

$$Z_1 = 222807 \text{ грн.}$$

$$Z_2 = 328736 \text{ грн.}$$

$$Z_3 = 385992 \text{ грн.}$$

Остаточню приймаємо варіант I.

6.2. Вибір кількості та місць розташування компенсуючих пристроїв.

Для варіантів $N = N_0$; $N = N_0 + 1$ та $N = N_0 + 2$ виконується розрахунок реактивної потужності, що може бути передана через трансформатори трансформаторних підстанцій у мережу 0,4 кВ, а також визначається потужність компенсуючих пристроїв, що встановлюються на кожній ТП.

Оптимальне розміщення низьковольтних компенсуючих пристроїв залежить від комплексу технічних і експлуатаційних факторів. На основі обраного варіанта визначається сумарна потужність компенсації реактивної потужності для всіх трансформаторних підстанцій.

Так, для ТП -1,2 знаходимо:

- реактивну потужність, яку можна передати через трансформатори:

$$Q_{II} = \sqrt{(NK_3 S_{н.т.}) - P_p^2} = \sqrt{(4 \cdot 0,7 \cdot 400)^2 - 1115,21^2} = 103,5 \text{ квар,}$$

- сумарну потужність компенсуючих пристроїв в мережі 0,4 кВ:

$$Q_{\text{кн}} = Q_{\text{р}} - Q_{\text{п}} = 1063,81 - 103,5 = 960,3 \text{ квар.}$$

Приймаємо стандартні батареї потужністю $Q_{\text{нб}} = 268$ квар в кількості $N = 4$ шт. Розрахунки для інших ТП та варіантів є подібними. Результати розрахунку зведені в підсумкову таблицю - табл. 6.2.

Таблиця 6.2. Вибір кількості, потужності і місця розташування БК для різних варіантів компенсації реактивної потужності.

№ ТП	N _{тр}	P _р , кВт	Q _р , кВар	Q _п , кВар	Q _{кп} , кВар	N _{БК}	Тип БК	ΣQ _{БК} , кВар	K _з	S _р , кВА
Варіант 1 N = 7										
ТП 1,2	4	1115,21	1063,82	103,5	960,3	4	УКМ58-0,4-268	1072	0,70	1115,24
ТП 3,4	3	704,26	483,36	457,8	25,5	3	УКМ58-0,4-50	150	0,65	779,18
Варіант 2 N = 8										
ТП 1,2,3	5	1115,21	1063,82	846,4	217,5	5	УКМ58-0,4-50	250	0,69	1380,58
ТП 4,5	3	704,26	483,36	457,8	25,5	3	УКМ58-0,4-50	150	0,65	779,18
Варіант 3 N = 9										
ТП 1,2,3	6	1115,21	1063,82	1256,5	0,0	-	-	0	0,64	1541,24
ТП 4,5	3	704,26	483,36	457,8	25,5	3	УКМ58-0,4-50	150	0,65	779,18

7. Вибір кількості, потужності трансформаторів підстанцій локомотивного депо

Кількість і потужність трансформаторів цехових трансформаторних підстанцій (ТП), а також місця їх розташування визначаються з урахуванням категорії електроприймачів за надійністю електропостачання, вимог до безперервності живлення та умов компенсації реактивних навантажень.

Одинична потужність трансформаторів ТП вибирається на основі питомої щільності навантаження, допустимої перевантажувальної здатності трансформаторів та необхідності мінімізації складських резервів обладнання. Приймемо комплектні трансформаторні підстанції (КТП) з трансформаторами номінальною потужністю 400 кВА.

Результати вибору трансформаторних підстанцій наведено в табл. 7.1.

Таблиця 7.1. Вибір кількості, потужності трансформаторів локомотивного депо та їх місця розташування

n/n	Тип ТП	S _p	K _з	K ^{ав} _з	Тип трансформатору	Місце встановлення	Вид розміщення
1	КТП-2×400	557,6	0,70	1,40	ТМ-400	Локомотивне депо	Вбудована
2	КТП-2×400	557,6	0,70	1,40	ТМ-400	Локомотивне депо	Вбудована
3	КТП-2×400	519,45	0,65	1,30	ТМ-400	—	Окремо розташована
4	КТП-1×400	259,7	0,65	-	ТМ-400	—	Окремо розташована

8. Розрахунок струмів коротких замкнень та вибір високовольтного обладнання і мереж локомотивного депо

Розрахунок струмів короткого замикання виконується в іменованих одиницях відповідно до методики, наведеної в джерелах [1–3]. Оскільки зазначена методика є загальноприйнятою та детально описана в спеціалізованій літературі, у даному розділі наведено лише основні етапи розрахунку.

Для визначення струмів короткого замикання складається розрахункова схема системи електропостачання, наведена на рис. 8.1. На її основі формується розрахункова схема заміщення, зображена на рис. 8.2, яка використовується для подальших обчислень параметрів аварійних режимів.

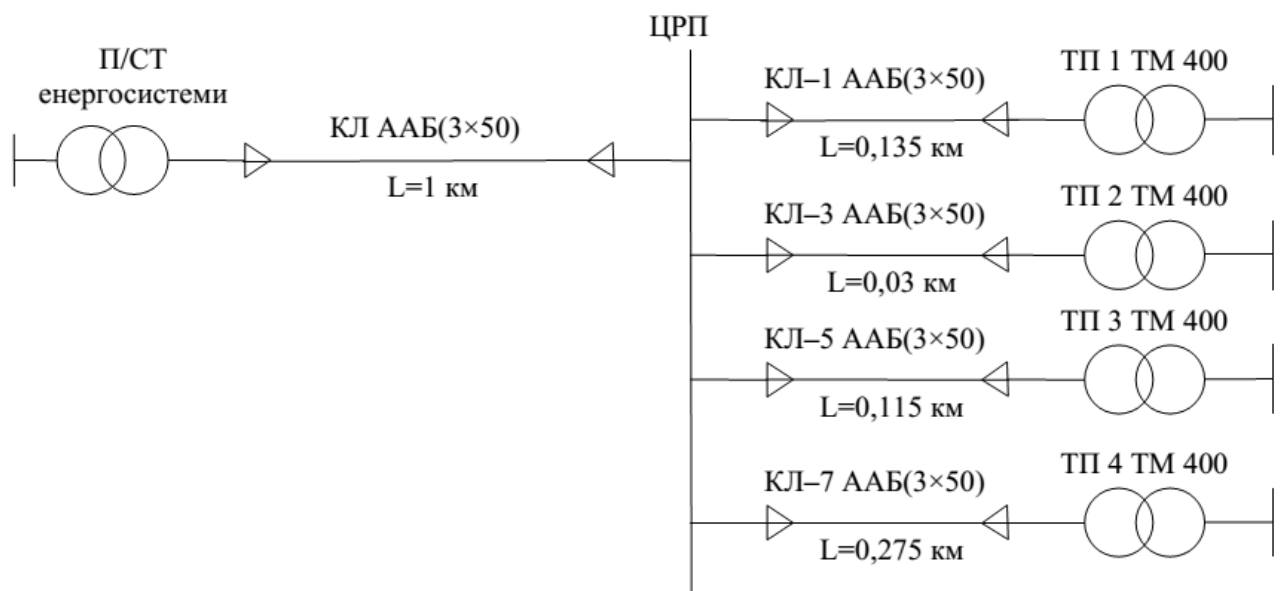


Рис. 8.1. Розрахункова схема ЦРП для розрахунку струмів к. з.

Розрахуємо опори в іменованих одиницях для елементів схеми заміщення:
– трансформатора ТМ 400:

$$R = \frac{P_{\text{кз}} U_{\text{н}}^2}{S_{\text{н}}^2} = \frac{5,5 \cdot 10^2}{400^2} = 3,44 \text{ Ом},$$

$$Z = \frac{U_{\text{к}} \% U_{\text{н}}^2}{S_{\text{н}}} = \frac{4,5 \cdot 10^2}{400} = 11,25 \text{ Ом},$$

$$X = \sqrt{Z^2 - R^2} = \sqrt{11,25^2 - 3,44^2} = 10,71 \text{ Ом},$$

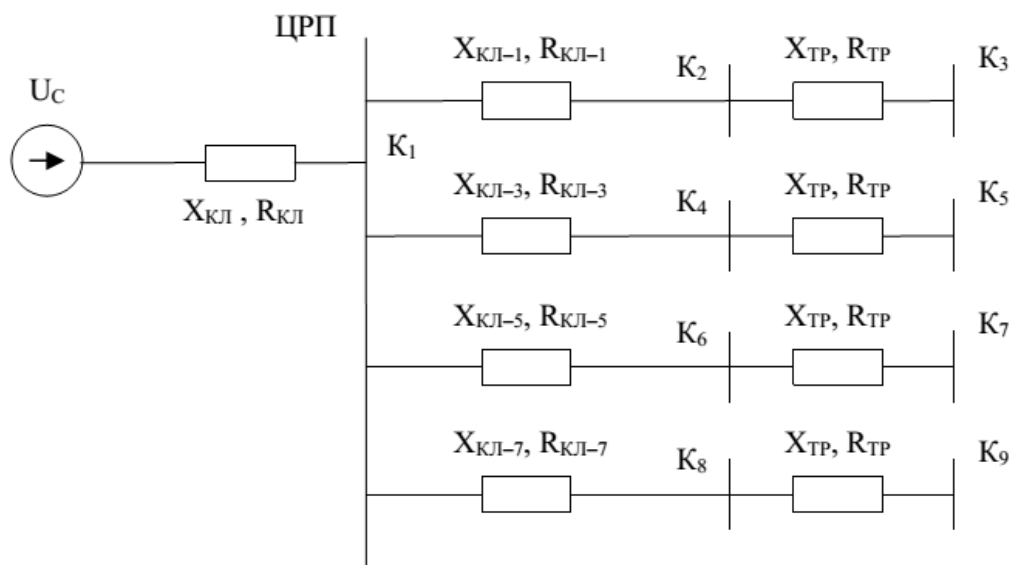


Рис. 8.2. Схема заміщення ЦРП для розрахунку струмів к. з.

– КЛ від п/ст до ЦРП:

$$X = \frac{x_0 l}{n} = \frac{0,09 \cdot 1}{1} = 0,09 \text{ Ом},$$

$$R = \frac{r_0 l}{n} = \frac{0,62 \cdot 1}{1} = 0,62 \text{ Ом},$$

– для КЛ від ЦРП до ТП 1 Залізнична колія:

$$X = x_0 l = 0,09 \cdot 0,135 = 0,012 \text{ Ом},$$

$$R = r_0 l = 0,62 \cdot 0,135 = 0,084 \text{ Ом},$$

Розрахунок опорів інших кабельних ліній подібний результати розрахунку зведені в табл. 8.1.

Таблиця 8.1 Розрахунок опорів кабельних ліній

№ КЛ	L, км	R, Ом	X, Ом
КЛ1	0,135	0,084	0,012
КЛ2	0,135	0,084	0,012
КЛ3	0,03	0,019	0,003
КЛ4	0,03	0,019	0,003
КЛ5	0,115	0,071	0,010
КЛ6	0,115	0,071	0,010
КЛ7	0,275	0,171	0,025

Арк.

Обчислимо струм к.з. в т. К1.

Струм від системи:

$$I'' = \frac{U}{\sqrt{3}z_{\text{рез}}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 0,62} = 9,68 \text{ кА},$$

$$R_{\text{екв}} = R_{\text{КЛ}} = 0,62 \text{ Ом}, X_{\text{екв}} = X_{\text{КЛ}} = 0,09 \text{ Ом},$$

$$Z_{\text{екв}} = \sqrt{X_{\text{екв}}^2 + R_{\text{екв}}^2} = \sqrt{0,62^2 + 0,09^2} = 0,626 \text{ Ом}.$$

Ударний струм к. з. від системи

$$i_y = \sqrt{2}I''(1 + e^{\frac{-0,01}{T_a}}) = \sqrt{2} \cdot 9,68(1 + e^{\frac{-0,01}{0,00046}}) = 13,69 \text{ кА},$$

$$\text{де } T_a = \frac{X_{\text{екв}}}{\omega \cdot R_{\text{екв}}} = \frac{0,09}{314 \cdot 0,62} = 0,00046 \text{ 1/с}.$$

Визначення струмів короткого замикання в інших розрахункових точках системи електропостачання здійснюється аналогічно наведеному прикладу. Підсумкові результати розрахунків систематизовано та подано в табл. 8.2.

Таблиця 8.2. Розрахунок струмів короткого замкнення.

№ т. к. з.	$X_{\text{екв}}$, Ом	$R_{\text{екв}}$, Ом	I_{Σ}'' , кА	T_a , 1/с	$i_{y\Sigma}$, кА
1	0,09	0,62	9,68	0,00046	13,69
2	0,102	0,704	8,522	0,00046	12,052
3	11,352	4,144	12,541	0,00872	23,373
4	0,093	0,639	9,388	0,00046	13,277
5	11,343	4,079	12,573	0,0088	23,529
6	0,1	0,691	8,683	0,00046	12,279
7	11,35	4,131	12,548	0,00875	23,404
8	0,115	0,791	7,584	0,00046	10,726
9	11,365	4,231	12,497	0,00856	23,165

Вибір електричного обладнання

Вибір кабелів напругою 10 кВ для високовольтної мережі депо.

Виберемо КЛ-1, що йде від ЦРП до ТП №1.

Площа поперечного перерізу кабелю:

$$F_e = \frac{I_p}{J_{\text{ек}}} = \frac{16,33}{1,4} = 11,7 \text{ мм}^2,$$

						Арк.
						43

$$\text{де } I_p = \frac{S_p}{n\sqrt{3}U_n} = \frac{565,7}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 16,33 \text{ А.}$$

При $T_{\max} = 4276 \text{ год} - J_{\text{ек}} = 1,4 \text{ А/мм}^2$.

Приймається кабель ААБ (3×50) мм² з допустимим струмом $I_{\text{доп}} = 140 \text{ А}$.

Перевірка кабелю за допустимим струмовим навантаженням:

$$I_p \leq I_{\text{доп}} \quad 16,33 \text{ А} \leq 128,8 \text{ А}$$

$$I_{\text{доп}} = K_{\Pi} I'_{\text{доп}} \quad I_{\text{доп}} = 0,92 \cdot 140 = 128,8 \text{ А}$$

де K_{Π} – коефіцієнт, який враховує зниження допустимого струмового навантаження при прокладці декількох кабелів в одній траншеї.

Перевірка кабелю в аварійному режимі

$$I_{\text{ав}} \leq K_{\text{ап}} I_{\text{доп}} \quad 32,66 \leq 1 \cdot 1,3 \cdot 140 \quad 32,66 \leq 182$$

де $K_{\text{ав}}$ – допустимий коефіцієнт аварійного перевантаження кабелю, приймаємо рівним 1,3.

Мінімальна площа поперечного перерізу кабелю за умовою термічної стійкості складе:

$$F_{\min} = \frac{1}{C} \sqrt{B_k} = \frac{1}{92} \sqrt{18,74 \cdot 10^6} = 47 \text{ мм}^2,$$

де C – термічний коефіцієнт; для алюмінієвих кабелів $C = 92 \text{ А} \cdot \text{с}^{1/2} / \text{мм}^2$;

B_k – тепловий імпульс:

$$B_k = I_{\text{п.о.}}^2 (t_{\text{отк}} + T_a) = 9,68^2 (0,2 + 0,0) = 18,74 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

Вибір інших кабельних ліній системи електропостачання локомотивного депо здійснюється за аналогічною методикою. Результати розрахунків наведено в табл. 8.3.

Таблиця 8.3. Вибір кабельних ліній 10 кВ.

№ КЛ	S_p , кВА	n	I_p , А	$I_{p, \text{ав}}$, А	$F_{\text{ек}}$, мм ²	Марка кабеля	$I_{\text{доп}}$, А	K_{Π}	$K_{\Pi} I_{\text{доп}}$	K_3	$K_{\text{ап}}$	K_{Π}'	$K_{\text{ап}} K_{\Pi}' I_{\text{доп}}$	B_k , кА ² с	$F_{\min}$, мм ²
КЛ-1,2	565,7	2	16,3	32,7	12	ААБ(3×50)	140	0,92	128,8	0,13	1	1,3	182	18,74	47
КЛ-3,4	565,7	2	16,3	32,7	12	ААБ(3×50)	140	0,92	128,8	0,13	1	1,3	182	18,74	47
КЛ-5,6	539,7	2	15,6	31,2	11	ААБ(3×50)	140	0,92	128,8	0,11	1	1,3	182	18,74	47
КЛ-7	269,8	1	15,6	-	11	ААБ(3×50)	140	1	140	0,11	-	-	-	18,74	47

Вибір вимикачів напругою 10 кВ депо.

На вводі мережі 10 кВ передбачено встановлення вакуумних вимикачів типу VM-1S. Результати розрахунків щодо вибору та перевірки вимикачів за основними технічними параметрами наведено в табл. 8.4 і 8.5.

Таблиця 8.4. Вибір вимикачів 10 кВ на вводах до ЦРП.

Параметри мережі	Розрахункові формули	Параметри вимикача
10 кВ	$U_{уст} \leq U_{ном}$	10 кВ
104 А	$I_{роб\ форс} \leq I_{ном}$	630 А
9,68 кА	$I_K \leq I_{дин}$	52 кА
13,69 кА	$i_y \leq 1,8\sqrt{2}I_{дин}$	132 кА
9,68 кА	$I_{нт} \leq I_{ном\ відкл}$	20 кА
$\sqrt{2} \cdot 9,68 + 0 = 13,7\text{кА}$	$\sqrt{2}I_{номт} + i_{ат} \leq \sqrt{2}I_{н\ відкл} (1 + \beta_n)$	$\sqrt{2} \cdot 20 \cdot (1 + 0,5) = 42,426\text{кА}$
$B_K \leq I_K^2(t_{від} + t_{п3}) =$ $= 9,68^2(1,5 + 0,045) =$ $= 144,8\text{кА}^2\text{с}$	$B_K \leq I_{тер}^2 t_{тер}$	$I_{тер}^2 t_{тер} = 20^2 3 = 1200\text{кА}^2\text{с}$

$$i_{ar} = \sqrt{2} I'' e^{-\frac{\tau}{T_a}} = \sqrt{2} \cdot 9,68 e^{-\frac{0,01}{0,00046}} = 0 \text{ kA}$$

Таблиця 8.5. Вибір вимикачів на лініях від ЦРП до ТП.

Параметри мережі	Розрахункові формули	Параметри вимикача
10 кВ	$U_{уст} \leq U_{ном}$	10 кВ
32,66 А	$I_{роб\ форс} \leq I_{ном}$	630 А
9,68 кА	$I_K \leq I_{дин}$	52 кА
13,69 кА	$i_y \leq 1,8\sqrt{2}I_{дин}$	132 кА
9,68 кА	$I_{нт} \leq I_{ном\ відкл}$	20 кА
$\sqrt{2} \cdot 9,68 + 0 = 13,7\text{кА}$	$\sqrt{2}I_{номг} + i_{ат} \leq \sqrt{2}I_{н\ відкл} (1 + \beta_n)$	$\sqrt{2} \cdot 20 \cdot (1 + 0,5) = 42,426\text{кА}$
$B_K \leq I_K^2(t_{від} + t_{п3}) =$ $= 9,68^2(1,5 + 0,045) =$ $= 144,8\text{кА}^2\text{с}$	$B_K \leq I_{тер}^2 t_{тер}$	$I_{тер}^2 t_{тер} = 20^2 3 = 1200\text{кА}^2\text{с}$

Вибір трансформаторів власних потреб ЦРП депо.

Розрахунок навантаження трансформатора власних потреб виконано в табличній формі. Результати розрахунків наведено в табл. 8.6.

Таблиця 8.6. Навантаження трансформатора власних потреб ЦРП депо.

№ п/п	Споживач	Р, кВт	Q, квар
1	Обігрів комірок КРП 10 кВ.	15×1	0
2	Оперативні кола	2	0
Всього		17	0

Розрахункова потужність споживачів власних потреб депо:

$$S_{\text{розр}} = K_C \sqrt{(P_{\text{встр}}^2 + Q_{\text{встр}}^2)} = 0,8 \sqrt{17^2 + 0^2} = 13,6 \text{ кВА.}$$

Потужність трансформатора повинна задовольняти нерівності:

$$S_{\text{тр}} \geq \frac{S_{\text{розр}}}{1,4} = \frac{13,6}{1,4} = 9,7 \text{ кВА.}$$

Обираємо найменший за потужністю трансформатор власних потреб, яким є ТМ – 25/10.

Коефіцієнт завантаження трансформаторів власних потреб ЦРП локомотивного депо складе:

$$K_3 = \frac{S_{\text{роз}}}{n S_{\text{ном}}} = \frac{9,7}{2 \cdot 25} = 0,19 .$$

9. Спеціальний розділ.

Розробка системи електрозбереження локомотивного депо.

Ефективне використання електричної енергії на промислових підприємствах і об'єктах залізничної інфраструктури значною мірою залежить від технічного стану системи електропостачання та рівня застосування сучасного електротехнічного обладнання. Локомотивне депо є підприємством із великою кількістю електроприймачів, які працюють у різних режимах навантаження, тому зниження втрат електроенергії можливе насамперед шляхом удосконалення технічних характеристик електрообладнання та оптимізації режимів його роботи.

Огляд основних факторів по економії електроенергії

Фактори економії електроенергії можливо класифікувати на: технічні, технологічні, економічні і організаційні.

Технічні фактори економії електроенергії

Одним із головних технічних факторів економії електроенергії є правильне проектування системи електропостачання. Раціональний вибір схеми електропостачання, місця розташування трансформаторної підстанції, перерізів кабельних і повітряних ліній, а також електрообладнання забезпечує мінімальні втрати потужності під час передачі електроенергії до споживачів.

Важливим технічним фактором є використання сучасних силових трансформаторів із низькими втратами холостого ходу та навантаження. Для зменшення втрат рекомендується забезпечувати оптимальний коефіцієнт завантаження трансформаторів, який зазвичай становить 0,6–0,8 від номінальної потужності. За недостатнього навантаження переважають втрати холостого ходу, а при перевантаженні різко збільшуються втрати в обмотках.

Суттєве значення має компенсація реактивної потужності. Наявність реактивного навантаження призводить до збільшення струмів у мережі, що викликає додаткові втрати електроенергії. Підвищення коефіцієнта потужності за допомогою конденсаторних установок або автоматичних компенсувальних пристроїв дозволяє зменшити струм у мережі та скоротити втрати електроенергії.

Важливим напрямом технічного вдосконалення є застосування сучасних

Технологічні фактори економії енергії

Технологічні фактори економії енергії охоплюють модернізацію основного обладнання, оптимізацію термодинамічних процесів, утилізацію вторинних енергоресурсів (ВЕР) та автоматизацію керування режимами енергоспоживання.

До числа технологічних факторів відносяться:

1. Модернізація та оптимізація теплоенергетичних процесів.

Значна частина енергетичних втрат припадає на теплові процеси. Основними технологічними заходами тут є підвищення ККД котельних агрегатів, термомодернізація технологічних печей та оптимізація систем теплообміну (наприклад, із застосуванням Пінч-аналізу).

Утилізація тепла відхідних газів за допомогою економайзерів та рекуператорів дозволяє повернути в технологічний цикл до 10–15% теплової енергії.

2. Енергозбереження в електроприводних та компресорних системах.

Більше 60% електроспоживання припадає на електродвигуни (насоси, вентилятори, компресори). Впровадження частотно-регульованих приводів (ЧРП) та заміна застарілих двигунів на енергоефективні (класів IE3, IE4) є найефективнішим технологічним фактором економії електричної енергії.

Порівняємо потенціал економії енергії за різними технологічними напрямками в табл. 9.2.

3. Комплексна утилізація вторинних енергетичних ресурсів (ВЕР).

Вторинні енергетичні ресурси поділяються на три основні групи:

1. Горючі (паливні): доменний, коксівний, конвертерний газ, відходи деревообробки.

2. Теплові: тепло вихлопних газів, гарячої води охолодження, шлаків.

3. Надлишкового тиску: природний газ або пар, що скидають тиск перед подачею споживачу (можливе встановлення турбодетандерів).

Оцінимо ефективність впровадження технологій утилізації ВЕР в табл. 9.3.

						Арк.
						49

Таблиця 9.2. Потенціал економії енергетичних ресурсів за рахунок технологічних факторів

Технологічний напрямок (фактор)	Конкретні заходи з модернізації	Середній потенціал економії ресурсу (%)	Термін окупності заходів (років)
Оптимізація теплопостачання	Встановлення рекуператорів, утилізація тепла продувки	10 – 15% (газ/тепло)	1.5 – 3.0
Модернізація електроприводу	Впровадження ЧРП на насосах та вентиляторах	20 – 40% (електроенергія)	1.0 – 2.5
Компресорне обладнання	Усунення витоків стисненого повітря, оптимізація тиску	15 – 30% (електроенергія)	0.5 – 1.5
Термоізоляція обладнання	Ізоляція трубопроводів пара та гарячої води, футерування печей	5 – 10% (теплова енергія)	0.8 – 2.0
Впровадження АСУ ТП	Автоматизоване керування графіком навантаження	5 – 12% (всі ресурси)	2.0 – 4.0

Таблиця 9.3. Технологічні матриці утилізації ВЕР та їхня ефективність.

Тип ВЕР	Джерело виникнення	Технологія утилізації	Отримуваний ефект
Високотемпературні гази печей	Металургійні, скляні, цементні печі	Котли-утилізатори, генерація пари	Виробництво власної електроенергії або технологічної пари
Низькотемпературні скидні води	Системи охолодження компресорів, оборотне водопостачання	Встановлення теплових насосів	Нагрів води для потреб ГВП та опалення підприємства
Надлишковий тиск газів	Газорозподільні пункти (ГРП), доменне виробництво	Турбодетандерні установки (ТДУ)	Генерація «зеленої» електроенергії без спалювання палива

Аналіз технологічних факторів економії енергії показує, що найбільший питомий потенціал енергозбереження зосереджений у системах електроприводу (до 40% економії завдяки ЧРП) та системах компресії повітря. Водночас утилізація теплових та паливних ВЕР дозволяє суттєво знизити зовнішнє

						Арк.
						50

споживання природного газу та теплової енергії, що безпосередньо зменшує вуглецевий слід підприємства та підвищує його енергетичну незалежність. Впровадження зазначених заходів має комплексний характер і потребує попереднього проведення детального енергетичного аудиту.

Економічні фактори економії електроенергії

Економічні фактори є одними з основних рушійних сил підвищення енергоефективності підприємств, установ та об'єктів житлово-комунального господарства. Вони визначають економічну доцільність впровадження енергозберігаючих технологій, модернізації обладнання та оптимізації режимів споживання енергетичних ресурсів. Рациональне використання енергії дозволяє не лише зменшити виробничі витрати, але й підвищити конкурентоспроможність підприємства, знизити собівартість продукції та покращити екологічні показники виробництва.

Одним із головних економічних факторів є вартість енергетичних ресурсів. Постійне зростання тарифів на електричну та теплову енергію, природний газ та інші енергоносії стимулює підприємства впроваджувати сучасні енергоефективні технології. Чим вищою є ціна енергоресурсів, тим швидше окуповуються інвестиції в енергозбереження.

Важливе значення має інвестиційна привабливість енергоефективних заходів. Перед впровадженням будь-якого проєкту проводиться економічна оцінка його ефективності, яка включає визначення капітальних вкладень, експлуатаційних витрат, строку окупності, чистого дисконтованого доходу та внутрішньої норми прибутковості. Найбільш перспективними є заходи, що забезпечують значну економію енергоресурсів при відносно невеликих капітальних витратах.

Важливим економічним стимулом виступає державна підтримка енергоефективності. Вона реалізується шляхом податкових пільг, компенсації частини вартості енергоефективного обладнання, кредитування під низькі відсоткові ставки, грантових програм та міжнародної технічної допомоги. Такі механізми дозволяють скоротити фінансове навантаження на підприємства та

Таким чином, економічні фактори є важливою складовою політики енергозбереження та безпосередньо впливають на ефективність використання паливно-енергетичних ресурсів. Раціональне поєднання інвестицій у сучасні технології, державної підтримки, систем енергетичного менеджменту та економічного стимулювання персоналу забезпечує істотне скорочення енергетичних витрат і підвищує економічну ефективність діяльності підприємства. В умовах постійного зростання вартості енергоносіїв впровадження енергоощадних заходів стає не лише екологічною необхідністю, а й економічно обґрунтованим напрямом розвитку підприємств.

Організаційні фактори економії електроенергії

Організаційні фактори економії енергії є важливою складовою системи енергозбереження підприємства. На відміну від технічних заходів, які передбачають модернізацію обладнання, організаційні заходи спрямовані на вдосконалення управління енергоспоживанням, підвищення дисципліни персоналу, раціональне планування виробничих процесів та контроль використання енергетичних ресурсів. Їх впровадження, як правило, не потребує значних капіталовкладень, проте дозволяє досягти помітного скорочення витрат енергії.

Одним із найважливіших організаційних факторів є створення системи енергетичного менеджменту. Основною метою такої системи є постійний контроль за використанням енергоресурсів, аналіз показників енергоспоживання, визначення причин перевитрат та розроблення заходів щодо їх усунення. Впровадження системи енергоменеджменту дозволяє забезпечити безперервне вдосконалення процесів використання енергії та своєчасне виявлення неефективних режимів роботи обладнання.

Важливим напрямом є організація енергетичного обліку та моніторингу. Регулярний збір і аналіз інформації щодо споживання електроенергії, тепла, природного газу та інших енергоносіїв дає змогу визначати найбільш енергоємні виробничі процеси, контролювати дотримання встановлених нормативів та оперативно реагувати на відхилення від планових показників.

Суттєве значення має раціональна організація виробничих процесів. Оптимізація графіків роботи обладнання, рівномірний розподіл електричного навантаження протягом доби, зменшення кількості пусків і зупинок електроприводів, а також скорочення простоїв технологічного обладнання сприяють зниженню питомих витрат електроенергії.

Не менш важливим фактором є підвищення кваліфікації персоналу. Проведення навчання працівників принципам енергоефективної експлуатації обладнання, інструктажів щодо раціонального використання енергоресурсів та впровадження систем матеріального стимулювання за досягнення економії сприяють формуванню відповідального ставлення до енергоспоживання.

Важливою складовою організаційних заходів є проведення регулярних енергетичних аудитів. За результатами аудиту визначаються основні джерела втрат енергії, оцінюється ефективність існуючих систем енергозабезпечення та розробляються рекомендації щодо їх удосконалення. Отримані результати використовуються для формування довгострокової стратегії підвищення енергоефективності підприємства.

Одним із сучасних напрямів організаційного забезпечення енергозбереження є впровадження міжнародних стандартів енергетичного менеджменту, зокрема системи управління енергією відповідно до вимог стандарту ISO 50001. Використання такого підходу дозволяє систематизувати процеси контролю енергоспоживання, визначати цілі щодо скорочення витрат енергії та забезпечувати їх постійне досягнення.

Комплексне застосування організаційних заходів забезпечує підвищення ефективності використання енергетичних ресурсів без значних капітальних вкладень, сприяє зниженню експлуатаційних витрат, покращенню виробничої дисципліни та підвищенню економічної ефективності діяльності підприємства.

Організаційні фактори є одним із найбільш економічно доцільних напрямів підвищення енергоефективності. Їх реалізація базується на вдосконаленні системи управління енергоспоживанням, постійному контролю використання енергетичних ресурсів, підвищенні кваліфікації персоналу та оптимізації виробничих процесів.

Таблиця 9.5. Основні організаційні фактори економії енергії.

Організаційний фактор	Суть заходу	Очікуваний результат
Впровадження системи енергоменеджменту	Постійний контроль та аналіз енергоспоживання	Скорочення непродуктивних витрат енергії
Організація енергомоніторингу	Регулярний облік та аналіз споживання енергоресурсів	Виявлення перевитрат та їх усунення
Оптимізація режимів роботи обладнання	Раціональне планування виробничих процесів	Зменшення пікових навантажень та втрат
Навчання персоналу	Підвищення рівня знань щодо енергозбереження	Раціональна експлуатація обладнання
Матеріальне стимулювання працівників	Заохочення за досягнення економії енергії	Підвищення зацікавленості персоналу
Проведення енергетичних аудитів	Оцінка ефективності використання енергоресурсів	Розроблення нових заходів з енергозбереження

Таблиця 9.6. Вплив організаційних заходів на ефективність використання енергії.

Організаційний захід	Орієнтовне зниження енергоспоживання, %	Рівень витрат на впровадження
Енергетичний менеджмент	5–15	Низький
Автоматизований енергомоніторинг	5–10	Середній
Оптимізація графіків роботи обладнання	3–10	Низький
Навчання та мотивація персоналу	2–8	Низький
Регулярні енергетичні аудити	3–7	Низький
Контроль дотримання режимів експлуатації	2–5	Мінімальний

Економія електроенергії в електричних мережах.

Передача електричної енергії від джерела живлення до споживача завжди супроводжується технологічними втратами. Основними причинами втрат є активний опір провідників, реактивні потоки потужності, втрати на корону (для повітряних ліній високої напруги), струми витоку та нагрівання провідників.

Зменшення цих втрат є одним із важливих напрямів підвищення енергоефективності систем електропостачання.

Втрати електроенергії в лініях електропередачі визначаються активною потужністю, яка виділяється в провідниках у вигляді теплоти. Величина цих втрат залежить від сили струму, активного опору провідника та режиму роботи мережі і визначається виразом

$$\Delta P = 3I^2R,$$

де: ΔP – втрати активної потужності, Вт;

I – струм у фазі, А;

R – активний опір однієї фази лінії, Ом.

З наведеної залежності видно, що втрати пропорційні квадрату струму. Тому навіть незначне зменшення струму забезпечує істотне скорочення втрат електроенергії.

Основними способами економії електроенергії в кабельних та повітряних лініях є:

- збільшення номінальної напруги передачі електроенергії;
- використання проводів більшого перерізу;
- застосування проводів із меншим питомим електричним опором;
- компенсація реактивної потужності;
- рівномірний розподіл навантаження між фазами;
- підтримання нормативного технічного стану ліній;
- скорочення довжини мережі за рахунок оптимізації схем електропостачання.

Одним із найефективніших заходів є передача електроенергії підвищеною напругою. При передачі однакової потужності зі збільшенням напруги сила струму зменшується відповідно до виразу

$$I = \frac{P}{\sqrt{3}U \cos \varphi},$$

де: P – активна потужність;

U – лінійна напруга;

$\cos \varphi$ – коефіцієнт потужності.

Оскільки втрати пропорційні квадрату струму, підвищення напруги є найбільш ефективним способом їх зниження.

Другим важливим фактором є правильний вибір перерізу проводів та кабелів. Провідники недостатнього перерізу мають підвищений електричний опір, що призводить до значного нагрівання та збільшення втрат електроенергії. Надмірне збільшення перерізу економічно недоцільне через високу вартість матеріалу, тому оптимальний переріз визначають техніко-економічними розрахунками.

В кабельних лініях важливу роль відіграє якість ізоляції. Старіння ізоляційних матеріалів, зволоження та механічні пошкодження призводять до виникнення струмів витоку та додаткових втрат електроенергії. Регулярна діагностика кабельних ліній дозволяє своєчасно виявляти дефекти та запобігати аваріям.

Для повітряних ліній високої напруги характерними є втрати на корону, які виникають внаслідок іонізації повітря навколо проводів. Величина цих втрат залежить від рівня напруги, погодних умов, діаметра провідників та стану їх поверхні. Для їх зменшення використовують проводи збільшеного діаметра, розщеплені фази та високоякісну арматуру.

Ефективним способом скорочення втрат є компенсація реактивної потужності. Встановлення батарей статичних конденсаторів або сучасних компенсувальних пристроїв дозволяє підвищити коефіцієнт потужності, зменшити струми в мережі та, відповідно, втрати активної енергії.

Важливе значення має також рівномірний розподіл навантаження між фазами. При значній несиметрії навантажень збільшуються струми в нульовому проводі, погіршується якість електроенергії та зростають втрати в мережі.

Сучасні системи автоматизованого моніторингу електричних мереж дозволяють у режимі реального часу контролювати навантаження, температуру провідників, напругу та інші параметри, що дає можливість своєчасно виявляти ділянки з підвищеними втратами та оперативно приймати рішення щодо їх усунення.

Таблиця 9.7. Заходи економії електроенергії в лініях електропередачі

Захід	Принцип дії	Очікуване зниження втрат
Підвищення напруги передачі	Зменшення струму в лінії	15–40 %
Збільшення перерізу проводів	Зменшення активного опору	10–25 %
Компенсація реактивної потужності	Зменшення повного струму	5–20 %
Балансування фаз	Зниження струмів небалансу	2–8 %
Контроль технічного стану ліній	Усунення дефектів та струмів витоку	2–10 %
Автоматизований моніторинг	Оптимізація режимів роботи мережі	3–10 %

Економія електроенергії в електродвигунах.

Електродвигуни є основними споживачами електроенергії в промисловості, комунальному господарстві та на транспорті. За статистичними даними, понад 60–70 % усієї електроенергії, що виробляється промисловими підприємствами, використовується саме електроприводами. Тому підвищення енергоефективності електродвигунів є одним із найважливіших напрямів скорочення споживання електричної енергії та підвищення економічної ефективності виробництва.

Основними джерелами втрат енергії в електродвигунах є електричні втрати в обмотках статора і ротора, магнітні втрати в осерді, механічні втрати на тертя та вентиляцію, а також додаткові втрати, що виникають під час роботи машини. Сумарні втрати визначають коефіцієнт корисної дії (ККД) електродвигуна.

Коефіцієнт корисної дії визначається як відношення корисної механічної потужності до споживаної електричної потужності:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100\%,$$

де: η – коефіцієнт корисної дії;

P_1 – споживана електрична потужність;

P_2 – корисна механічна потужність на валу двигуна.

Чим вищий ККД двигуна, тим меншими є втрати електроенергії під час його експлуатації.

Одним із найефективніших шляхів економії електроенергії є застосування сучасних енергоефективних електродвигунів класів IE3, IE4 та IE5. Такі двигуни характеризуються зниженими втратами в магнітопроводі, використанням високоякісних електротехнічних сталей, покращеною конструкцією обмоток та високою якістю виготовлення. Використання енергоефективних двигунів дозволяє зменшити споживання електроенергії на 2–8 % порівняно зі стандартними двигунами.

Важливим фактором є правильний вибір потужності електродвигуна. Практика експлуатації показує, що значна кількість двигунів працює з навантаженням менше 50 % від номінальної потужності. При цьому суттєво знижується ККД та коефіцієнт потужності, що призводить до перевитрат електроенергії. Оптимальним вважається режим роботи із завантаженням 75–100 % номінальної потужності.

Значний економічний ефект забезпечує регулювання швидкості обертання за допомогою частотних перетворювачів. Для насосів, вентиляторів, компресорів та інших механізмів зі змінним навантаженням використання частотного регулювання дозволяє плавно змінювати швидкість обертання відповідно до технологічних потреб. Завдяки цьому усувається необхідність дроселювання або механічного регулювання продуктивності, що значно зменшує витрати електроенергії.

Особливо ефективним застосування частотних перетворювачів є для насосних і вентиляційних установок. Відповідно до законів подібності відцентрових машин споживана потужність приблизно пропорційна кубу швидкості обертання. Зменшення швидкості обертання лише на 20 % може забезпечити економію електроенергії до 40–50 %, що робить використання частотних перетворювачів одним із найефективніших заходів енергозбереження.

Важливим напрямом підвищення енергоефективності є компенсація реактивної потужності. Асинхронні електродвигуни споживають значну

Не менш важливим є своєчасне технічне обслуговування електродвигунів. Підвищене тертя в підшипниках, погіршення стану ізоляції обмоток, забруднення вентиляційних каналів та порушення центрування валів призводять до збільшення механічних і електричних втрат. Регулярний контроль температури, вібрації, струму навантаження та опору ізоляції дозволяє підтримувати двигуни у працездатному стані та забезпечувати їх максимальний ККД.

Комплексне застосування перелічених заходів дозволяє скоротити споживання електроенергії електроприводами на 20–50 %, а для окремих технологічних процесів - навіть більше.

Причина втрат	Характеристика	Спосіб усунення
Електричні втрати в обмотках	Нагрівання провідників	Застосування двигунів з високим ККД
Магнітні втрати	Гістерезис і вихрові струми	Використання сучасної електротехнічної сталі
Механічні втрати	Тертя підшипників і вентиляція	Своєчасне технічне обслуговування
Робота при малому навантаженні	Зниження ККД і $\cos\phi$	Правильний вибір потужності двигуна
Реактивна потужність	Збільшення струмів у мережі	Компенсація реактивної потужності
Нерегульована швидкість	Надлишкове споживання енергії	Використання частотних перетворювачів

Таблиця 9.9. Основні заходи економії електроенергії в електродвигунах

Захід	Орієнтовна економія електроенергії, %	Особливості
Використання двигунів класу IE3–IE5	2–8	Підвищений ККД
Частотне регулювання швидкості	20–50	Найефективніше для насосів і вентиляторів
Правильний вибір потужності	5–15	Робота при оптимальному навантаженні
Компенсація реактивної потужності	3–10	Зменшення струмів у мережі
Своєчасне технічне обслуговування	2–7	Зниження механічних втрат
Автоматизація керування електроприводами	5–15	Оптимізація режимів роботи

Електродвигуни є найбільшими споживачами електричної енергії в промисловості, тому підвищення їхньої енергоефективності має важливе економічне значення. Найбільш ефективними заходами економії електроенергії є використання електродвигунів високого класу енергоефективності, правильний вибір їх номінальної потужності, застосування частотних перетворювачів, компенсація реактивної потужності та своєчасне технічне обслуговування. Комплексна реалізація цих заходів дозволяє істотно зменшити експлуатаційні витрати, підвищити надійність роботи електроприводів і скоротити технологічні втрати електроенергії. Такий підхід є одним із ключових напрямів підвищення загальної енергоефективності сучасних систем електропостачання та промислових підприємств.

Енергозбереження в освітлювальних установках.

Освітлювальні установки є невід'ємною складовою систем електропостачання промислових підприємств, адміністративних будівель, громадських споруд та житлового сектору. Частка електроенергії, що витрачається на освітлення, залежить від призначення об'єкта і може становити від 10 до 40 % загального електроспоживання. Тому підвищення енергоефективності освітлювальних установок є одним із важливих напрямів економії електроенергії та зниження експлуатаційних витрат.

Основною метою енергозбереження в освітлювальних установках є забезпечення нормативного рівня освітленості робочих місць при мінімально можливому споживанні електроенергії. Досягнення цієї мети забезпечується застосуванням сучасних джерел світла, високоефективних світильників, автоматизованих систем керування освітленням та раціональною організацією освітлювальної мережі.

Одним із найефективніших заходів є заміна традиційних ламп розжарювання, галогенних і люмінесцентних ламп на світлодіодні (LED) джерела світла. Світлодіодні лампи характеризуються високою світловою віддачею, яка може перевищувати 150–200 лм/Вт, тривалим терміном служби (до 50–100 тис. годин), низьким тепловиділенням та високою механічною міцністю. У порівнянні з лампами розжарювання вони дозволяють знизити споживання електроенергії на 70–90 %, а порівняно з люмінесцентними лампами - на 30–50 %.

Значної економії електроенергії можна досягти завдяки раціональному проектуванню систем освітлення. Правильний вибір кількості світильників, їх розташування, висоти встановлення та напрямку світлового потоку дозволяє рівномірно освітлювати робочі поверхні без перевитрати електроенергії. При цьому необхідно забезпечувати нормативні значення освітленості відповідно до чинних будівельних норм.

Важливим напрямом енергозбереження є максимальне використання природного освітлення. Використання світлових ліхтарів, панорамного скління, світловідбивних поверхонь та світлових полиць дозволяє значно скоротити тривалість роботи штучного освітлення у денний час.

Суттєву економію забезпечує автоматизація систем освітлення. Для цього використовуються:

- датчики руху;
- датчики присутності;
- датчики освітленості;
- програмовані таймери;
- централізовані системи керування освітленням.

Автоматичне вимкнення освітлення у незайнятих приміщеннях або при достатньому природному освітленні дозволяє скоротити споживання електроенергії на 20–40 %.

Для великих виробничих підприємств ефективним є зональне керування освітленням. Освітлювальна мережа поділяється на окремі групи відповідно до функціонального призначення приміщень або технологічних зон, що дозволяє вмикати лише необхідну кількість світильників.

Одним із важливих факторів є регулярне технічне обслуговування освітлювальних установок. Забруднення світильників, старіння розсіювачів, зниження світлового потоку ламп та несправність пускорегулювальної апаратури призводять до погіршення освітленості та збільшення споживання електроенергії. Своєчасне очищення світильників і заміна несправних елементів дозволяють підтримувати високий рівень енергоефективності.

Важливу роль відіграє також застосування електронних пускорегулювальних апаратів для люмінесцентних ламп. Порівняно з електромагнітними баластами вони забезпечують менші втрати електроенергії, відсутність мерехтіння, збільшення терміну служби ламп і покращення коефіцієнта потужності.

Сучасні системи освітлення широко використовують технології DALI (Digital Addressable Lighting Interface), KNX та інші інтелектуальні системи керування будівлями. Такі системи дозволяють автоматично регулювати рівень освітленості залежно від часу доби, природного освітлення та присутності людей, забезпечуючи максимальну економію електроенергії.

Комплексне застосування сучасних технічних засобів та організаційних заходів дозволяє скоротити витрати електроенергії на освітлення на 40–80 % без погіршення умов праці та комфорту користувачів.

Найбільший економічний ефект енергозбереження досягається завдяки використанню світлодіодних джерел світла, сучасних систем автоматичного керування освітленням, раціональному проєктуванню освітлювальних мереж та максимальному використанню природного освітлення.

Таблиця 9.10. Основні заходи енергозбереження в освітлювальних установках

Захід	Орієнтовна економія електроенергії, %	Особливості
Заміна ламп на LED	50–90	Найефективніший захід
Встановлення датчиків руху	20–40	Для коридорів, складів, санітарних приміщень
Використання датчиків освітленості	10–30	Автоматичне регулювання залежно від природного світла
Зональне керування освітленням	10–25	Освітлення лише необхідних зон
Регулярне очищення світильників	5–10	Підтримання світлового потоку
Використання інтелектуальних систем керування	20–50	Автоматична оптимізація режимів роботи

Економія електроенергії в трансформаторах

Трансформатори є одним із найважливіших елементів систем електропостачання, що забезпечують передачу та розподіл електричної енергії між різними рівнями напруги. Незважаючи на високий коефіцієнт корисної дії сучасних силових трансформаторів, який може перевищувати 98–99 %, під час їх експлуатації виникають втрати електроенергії. Зменшення цих втрат є важливим напрямом підвищення енергоефективності електричних мереж і скорочення експлуатаційних витрат.

Втрати енергії в трансформаторах поділяються на втрати холостого ходу та втрати короткого замикання (навантаження).

Втрати холостого ходу виникають при ввімкненому трансформаторі незалежно від величини навантаження і обумовлені процесами перемагнічування осердя, гістерезисом та вихровими струмами. Вони залишаються практично постійними протягом усього часу роботи трансформатора.

Втрати короткого замикання виникають під час проходження струму через обмотки трансформатора і визначаються нагріванням провідників. Вони пропорційні квадрату струму навантаження.

Загальні втрати потужності трансформатора визначаються як сума втрат холостого ходу та втрат навантаження:

$$\Delta P = P_0 + P_k,$$

де: P_0 – втрати холостого ходу;

P_k – втрати короткого замикання.

Найважливішим напрямом економії електроенергії є правильний вибір номінальної потужності трансформатора. Трансформатор повинен працювати в зоні оптимального навантаження, що забезпечує мінімальні сумарні втрати електроенергії. Недовантажені трансформатори характеризуються значною питомою часткою втрат холостого ходу, тоді як перевантаження призводить до різкого збільшення втрат у обмотках та скорочення терміну служби ізоляції.

Важливим способом підвищення енергоефективності є заміна застарілих трансформаторів сучасними енергоефективними моделями. Нові силові трансформатори виготовляються з використанням холоднокатаної анізотропної електротехнічної сталі, аморфних магнітних матеріалів, удосконалених конструкцій магнітопроводів та високоякісних ізоляційних матеріалів. Це дозволяє значно знизити втрати холостого ходу та навантаження.

Одним із ефективних організаційно-технічних заходів є оптимізація режимів роботи трансформаторних підстанцій. Якщо на підстанції встановлено декілька трансформаторів, доцільно відключати частину з них у періоди мінімального навантаження, залишаючи в роботі лише необхідну кількість. Це дозволяє скоротити сумарні втрати холостого ходу та зменшити споживання електроенергії.

Значний вплив на економічність роботи трансформатора має компенсація реактивної потужності. При низькому коефіцієнті потужності збільшуються струми навантаження, що призводить до додаткових втрат у трансформаторі. Встановлення батарей статичних конденсаторів або автоматичних компенсувальних пристроїв забезпечує зменшення струму, підвищення коефіцієнта потужності та скорочення втрат електроенергії.

Важливим фактором є підтримання належного технічного стану трансформаторів. Погіршення стану ізоляції, підвищення контактного опору з'єднань, старіння трансформаторного масла, забруднення ізоляторів та несправність системи охолодження призводять до збільшення втрат і зниження надійності роботи обладнання. Регулярне технічне обслуговування, контроль температури обмоток, перевірка якості масла та тепловізійна діагностика дозволяють своєчасно виявляти несправності та запобігати аварійним режимам.

Для сучасних енергетичних систем дедалі ширше застосовуються автоматизовані системи моніторингу трансформаторів, які забезпечують безперервний контроль температури, струму, напруги, навантаження та стану ізоляції. Аналіз цих параметрів дозволяє підтримувати оптимальний режим роботи обладнання та мінімізувати втрати електроенергії.

Комплексне застосування сучасних технічних засобів, правильний вибір режимів роботи трансформаторів та їх своєчасне технічне обслуговування дозволяють істотно знизити технологічні втрати електроенергії та підвищити економічність функціонування систем електропостачання.

Таблиця 9.11. Основні заходи економії електроенергії в трансформаторах

Захід	Орієнтовне зниження втрат, %	Особливості застосування
Використання енергоефективних трансформаторів	15–40	Зниження втрат холостого ходу
Оптимальний вибір потужності	5–15	Робота при навантаженні 60–80 % номінального
Компенсація реактивної потужності	5–12	Зменшення струму навантаження
Оптимізація кількості працюючих трансформаторів	10–30	Відключення резервних трансформаторів
Регулярне технічне обслуговування	2–5	Збереження паспортних характеристик
Автоматизований моніторинг режимів роботи	3–10	Контроль навантаження і температури

Таблиця 9.12. Порівняння основних джерел втрат у трансформаторі

Джерело втрат	Характер втрат	Основні способи зменшення
Осердя	Постійні	Використання аморфної або холоднокатаної електротехнічної сталі
Обмотки	Змінні	Оптимізація навантаження, зменшення струмів
Контактні з'єднання	Змінні	Підтягування контактів, очищення з'єднань
Система охолодження	Додаткові	Контроль роботи вентиляторів та охолоджувачів

Обчислення економії електроенергії від впровадження автоматичного регулювання роботою трансформаторів на двохтрансформаторній підстанції

Визначимо приведені значення активних втрат:

$$\Delta P'_{xx} = \Delta P_{xx} + K_{пп} \cdot \Delta Q_{xx} = 1,45 + 0,03 \cdot 8,4 = 1,702 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q_{xx} = \frac{I_{xx}}{100} S_n = \frac{2,1}{100} 400 = 8,4 \text{ квар}, \quad \Delta Q_{кз} = \frac{U_{кз}}{100} S_n = \frac{4,5}{100} 400 = 18 \text{ квар},$$

$$\Delta P'_{кз} = \Delta P_{кз} + K_{пп} \cdot \Delta Q_{кз} = 5,5 + 0,03 \cdot 18 = 6,04 \text{ кВт},$$

Визначимо потужність S_A при якій приведені втрати потужності будуть однакові, як при роботі одного трансформатора так і двох:

$$S_A = S_{н.т} \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P'_{xx}}{\Delta P'_{кз}}} = 400 \sqrt{\frac{2 \cdot 1,702}{6,04}} = 300,3 \text{ кВА}.$$

Розрахунок втрат електроенергії при роботі двох трансформаторів і при роботі з автоматичним регулюванням для ТП1 проведений в табл. 9.13.

Розрахуємо річну втрату електроенергії в обох випадках:

$$\Delta W_{2тр} = \sum_{i=1}^{24} \Delta P_{зр2тр} \cdot 147 + \sum_{i=1}^{24} \Delta P_{зв2тр} \cdot 65 + \sum_{i=1}^{24} \Delta P_{лр2тр} \cdot 105 + \sum_{i=1}^{24} \Delta P_{лв2тр} \cdot 48 = 137,3 \cdot 147 +$$

$$+ 87,9 \cdot 65 + 121,5 \cdot 105 + 85,8 \cdot 48 = 42774,53 \text{ кВт} \cdot \text{год},$$

$$\Delta W_{авт.рег} = \sum_{i=1}^{24} \Delta P_{зравт.рег} \cdot 147 + \sum_{i=1}^{24} \Delta P_{звавт.рег} \cdot 65 + \sum_{i=1}^{24} \Delta P_{лравт.рег} \cdot 105 + \sum_{i=1}^{24} \Delta P_{лвавт.рег} \cdot 48 =$$

$$= 131,8 \cdot 147 + 53,3 \cdot 65 + 110,6 \cdot 105 + 49,1 \cdot 48 = 36805,96 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Таблиця 9.13. Розрахунок економії електроенергії від впровадження системи автоматичного регулювання роботи трансформаторів

Години	Зимова робоча доба						Зимова вихідна доба					
	P, кВт	Q, кВар	Q _{ку} , кВар	S, кВА	$\Delta P_{2тр}$, кВт	$\Delta P_{авт.рег}$, кВт	P, кВт	Q, кВар	Q _{ку} , кВар	S, кВА	$\Delta P_{2тр}$, кВт	$\Delta P_{авт.рег}$, кВт
1	211,3	199,8	150	217,1	4,3	3,5	93,9	80,6	50	98,7	3,6	2,1
2	211,3	199,8	150	217,1	4,3	3,5	93,9	80,6	50	98,7	3,6	2,1
3	211,3	199,8	150	217,1	4,3	3,5	93,9	80,6	50	98,7	3,6	2,1
4	211,3	209,5	150	219,5	4,3	3,5	93,9	80,6	50	98,7	3,6	2,1
5	211,3	209,5	150	219,5	4,3	3,5	93,9	80,6	50	98,7	3,6	2,1
6	211,3	273,9	150	244,9	4,5	4,0	93,9	80,6	50	98,7	3,6	2,1
7	375,6	306,1	150	406,8	6,5	6,5	93,9	80,6	50	98,7	3,6	2,1
8	385,0	306,1	150	415,4	6,7	6,7	93,9	80,6	50	98,7	3,6	2,1
9	422,6	306,1	150	450,5	7,2	7,2	70,4	64,4	50	71,9	3,5	1,9
10	469,5	322,2	150	500,1	8,1	8,1	70,4	64,4	50	71,9	3,5	1,9
11	422,6	306,1	150	450,5	7,2	7,2	70,4	64,4	50	71,9	3,5	1,9
12	375,6	290,0	150	400,8	6,4	6,4	70,4	64,4	50	71,9	3,5	1,9
13	328,7	290,0	150	357,2	5,8	5,8	70,4	64,4	50	71,9	3,5	1,9
14	281,7	257,8	150	301,6	5,1	5,1	70,4	64,4	50	71,9	3,5	1,9
15	281,7	257,8	150	301,6	5,1	5,1	70,4	64,4	50	71,9	3,5	1,9
16	281,7	257,8	150	301,6	5,1	5,1	70,4	64,4	50	71,9	3,5	1,9
17	305,2	290,0	150	335,8	5,5	5,5	70,4	64,4	50	71,9	3,5	1,9
18	258,2	225,6	150	269,1	4,8	4,4	93,9	80,6	50	98,7	3,6	2,1
19	211,3	209,5	150	219,5	4,3	3,5	93,9	80,6	50	98,7	3,6	2,1
20	211,3	209,5	150	219,5	4,3	3,5	93,9	80,6	50	98,7	3,6	2,1
21	211,3	199,8	150	217,1	4,3	3,5	93,9	80,6	50	98,7	3,6	2,1
22	211,3	199,8	150	217,1	4,3	3,5	93,9	80,6	50	98,7	3,6	2,1
23	211,3	199,8	150	217,1	4,3	3,5	93,9	80,6	50	98,7	3,6	2,1
24	211,3	199,8	150	217,1	4,3	3,5	93,9	80,6	50	98,7	3,6	2,1
			Всього, кВт·год		125,5	115,8			Всього, кВт·год		85,3	48,1

Річна економія електроенергії від впровадження автоматичного регулювання доцільного режиму роботи трансформаторної підстанції

$$\Delta W = \Delta W_{2\text{тр}} - \Delta W_{\text{авт.рег}} = 42774,53 - 36805,96 = 5968,57 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Вартість зекономленої електроенергії

$$E = \Delta W \cdot C_0 = 5968,57 \cdot 10 = 59685,70 \text{ грн.}$$

Аналогічним чином розрахована економія електроенергії на ТП2 і ТП3. Результати розрахунку наведені в табл. 9.14.

Таблиця 9.14. Результати розрахунку економії електроенергії шляхом переводу роботи двохтрансформаторних підстанцій на оптимальний режим роботи.

№ ТП	ΔW , кВт·год	E , грн
ТП1	5968,57	59685,70
ТП2	5968,57	59685,70
ТП3	7325,51	73255,10
Всього	19262,65	192626,5

10. Висновки.

В даній кваліфікаційній роботі спроектована система електропостачання та електрозбереження локомотивного депо.

В процесі виконання роботи досліджені особливості електропостачання, проведено розрахунки електричних навантажень, побудовано графіки навантажень і картограму електричних навантажень, визначено центр електричних навантажень підприємства та обґрунтовано вибір місця розташування центрального розподільчого пристрою.

В роботі виконано вибір основного електрообладнання системи електропостачання, зокрема силових трансформаторів, кабельних і повітряних ліній електропередачі, комутаційної апаратури та іншого електротехнічного обладнання. Проведені розрахунки підтвердили відповідність вибраного обладнання вимогам надійності, пропускну здатності, економічності та безпечної експлуатації.

Особливу увагу приділено питанням енергозбереження. Розглянуто технічні, технологічні, економічні та організаційні фактори економії електричної енергії, які забезпечують зниження експлуатаційних витрат та підвищення енергоефективності підприємства. Встановлено, що комплексне впровадження енергозберігаючих заходів дозволяє істотно скоротити втрати електроенергії без погіршення надійності електропостачання.

Проаналізовано особливості роботи силових трансформаторів та визначено основні шляхи скорочення втрат електроенергії. Доведено, що застосування сучасних енергоефективних трансформаторів, оптимізація режимів їх роботи, компенсація реактивної потужності та регулярне технічне обслуговування сприяють зменшенню технологічних втрат у системах електропостачання.

В результаті проведеного дослідження встановлено, що підвищення енергоефективності систем електропостачання повинно базуватися на комплексному поєднанні технічних, технологічних, економічних та організаційних заходів.

11. Література

1. Шкрабець Ф.П., Плешков П.Г. Основи електропостачання. Навчальний посібник. – Кіровоград: РВЛ КНТУ, 2010.
2. Методичні вказівки до виконання курсового проекту (електропостачання заводу) для студентів 4-5 курсів спеціальності 8.090603 ”Електротехнічні системи електроспоживання” / П.Г. Плешков, А.Г. Котиш, А.Ю. Орлович. – Кіровоград: КДТУ, 2004. – 133 с.
3. Плешков П.Г., Орлович А.Ю., Котиш А.І. Електропостачання промислових підприємств: Навчальний посібник для курсового та дипломного проектування. – Кіровоград: РВЛ КНТУ, 2007.
4. 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.
5. Електричне обладнання підстанцій систем електропостачання / [Орлович А.Ю., Плешков П.Г., Козловський О.А., Співак О.В., Котиш А.І., Величко Т.В.]; М-во освіти і науки України, Центральноукр. нац. техн. ун-т. – Кропивницький : Видавець Лисенко В.Ф., 2019. – 272 с
6. Методичні вказівки “Енергозберігаючі режими електропостачання” для студентів спеціальності 8.090603 усіх форм навчання. Частина 2. /Укладачі: Ю.І. Казанцев, П.Г. Плешков. Кіровоград, КДТУ, 2003. – 122 с.
7. Плешков П.Г., Казанцев Ю.І., Орлович А.Ю. Основи енергозбереження та енергозберігаючі режими в система з електропостачання промислових підприємств. Навчальний посібник. – Кіровоград: РВЛ КНТУ, 2007. – 230 с.
8. Енергоефективні системи освітлення для промислових та комунально-побутових споживачів : навч. посіб. / П. Г. Плешков, А. Ю. Орлович, С. В. Серебренніков [та ін.] ; ред. П. Г. Плешков. - Кропивницький : ЦНТУ, 2018. – 246 с.
9. Кваліфікаційна робота бакалавра : метод. рекомендації до структури та оформлення випускної кваліфікаційної роб. для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня зі спец. 141 - Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / [уклад. : П. Г. Плешков, Н. Ю. Гарасьова, А. І. Котиш та ін.] ; М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. – Кропивницький : ЦНТУ, 2023. – 80 с.