

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:

**«Розробка системи електропостачання та
електрозбереження комбікормового заводу
Design of the power supply and energy conservation
system for a feed mill»**

Виконав здобувач вищої освіти
IV курсу, групи ЕЕ-22з
ОПП «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
_____ В. Бабенко
« ____ » _____ 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
ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Бабенко Владислава Олександровича

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи *Розробка системи електропостачання та електрозбереження комбікормового заводу*

Design of the power supply and energy conservation system for a feed mill

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: розробка системи електропостачання та електрозбереження комбікормового заводу.*

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. Заключення. 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>Заключення</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

_____ Бабенко В.О.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: 74 с.; 9 рис.; 33 табл.; 9 джерел

Бабенко В.О. Розробка системи електропостачання та електрозбереження комбікормового заводу. – Рукопис.

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

Метою кваліфікаційної роботи є розробка надійної та економічно ефективної системи електропостачання комбікормового заводу, а також впровадження заходів щодо підвищення енергоефективності та зниження втрат електричної енергії.

В роботі проведено розрахунок електричних навантажень підприємства, побудовано графіки навантаження, здійснено вибір схеми електропостачання, силових трансформаторів, кабельних ліній електропередачі, комутаційної апаратури та іншого електротехнічного обладнання. Виконано перевірку вибраного обладнання за нормальними та аварійними режимами роботи.

В спеціальному розділі розглянуто питання електрозбереження на підприємстві. Проаналізовано технічні, технологічні, економічні та організаційні заходи зниження споживання електричної енергії. Особливу увагу приділено зменшенню втрат електроенергії в кабельних і повітряних лініях електропередачі, підвищенню енергоефективності електродвигунів, вентиляційних установок, освітлювальних систем і силових трансформаторів.

Запропоновані технічні рішення забезпечують надійне та економічно ефективне електропостачання комбікормового заводу, сприяють зниженню втрат електричної енергії, підвищенню енергоефективності виробництва.

Ключові слова: електропостачання, комбікормовий завод, електричне навантаження, трансформаторна підстанція, кабельна лінія, електрозбереження, енергоефективність

ABSTRACT

Qualification work: 74 p.; 9 Fig.; 33 tables; 9 sources

Babenko V. O. Design of the power supply and energy conservation system for a feed mill. - 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 purpose of the qualification work is to develop a reliable and cost-effective power supply system for a feed mill, as well as to implement measures to increase energy efficiency and reduce electricity losses.

The work includes a calculation of the electrical loads of the enterprise, load schedules, a selection of the power supply scheme, power transformers, cable power lines, switching equipment and other electrical equipment. The selected equipment was checked in normal and emergency operating modes.

A special section considers the issue of electricity conservation at the enterprise. Technical, technological, economic and organizational measures to reduce electricity consumption are analyzed. Particular attention is paid to reducing electricity losses in cable and overhead power lines, increasing the energy efficiency of electric motors, ventilation units, lighting systems and power transformers.

The proposed technical solutions ensure reliable and cost-effective power supply to the feed mill, contribute to reducing electrical energy losses, and increase the energy efficiency of production.

Key words: power supply, feed mill, electrical load, transformer substation, cable line, electricity saving, energy efficiency

ЗМІСТ

1. Вступ. Коротка характеристика технологічного процесу комбікормового заводу.....	7
2. Розрахунок електричних навантажень комбікормового заводу.....	12
2.1. Розрахунок електричних навантажень комбікормового заводу в мережах до 1000 В	12
2.2. Розрахунок освітлювальних навантажень комбікормового заводу	12
2.3. Розрахунок електричних навантажень комбікормового заводу в силових мережах вище 1000 В.....	12
3. Побудова графіків електричних навантажень комбікормового заводу.	22
4. Побудова картограм електричних навантажень комбікормового заводу та вибір місця розташування головної понижувальної підстанції або центрального розподільного пристрою.....	27
5. Техніко-економічне обґрунтування схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання комбікормового заводу	30
5.1 Техніко-економічне обґрунтування схем зовнішнього електропостачання підприємства	30
5.2 Техніко-економічне обґрунтування схем внутрішнього електропостачання комбікормового заводу.	36
6. Режими реактивної потужності системи електропостачання комбікормового заводу.....	38
6.1 Розрахунок балансу реактивної потужності та вибір компенсуючих пристроїв комбікормового заводу	38
6.2 Вибір кількості та місць розташування компенсуючих пристроїв комбікормового заводу.....	42
7. Вибір кількості, потужності трансформаторів підстанцій комбікормового заводу.....	44
8. Розрахунок струмів коротких замкнень та вибір високовольного обладнання і мереж комбікормового заводу	45
9. Спеціальний розділ. Розробка системи електрозбереження комбікормового заводу.....	51
10. Заключення.	73
11. Література	74

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата				
Розроб.		Бабенко В.О.						
Перевір.		Сіріков О.І.						
Н. Контр.		Сіріков О.І.						
Затв.		Плешков П.Г.						
					Літ.			Аркушів
								74
					ЦНТУ гр. ЕЕ-22з			

1. Вступ.

Коротка характеристика технологічного процесу комбікормового заводу.

Система електропостачання промислового підприємства являє собою сукупність електричних мереж напругою до 1000 В і вище, трансформаторних та перетворювальних підстанцій. Її основним призначенням є забезпечення безперервного та надійного виробничого процесу шляхом передачі електричної енергії від джерела живлення до електроприймачів у необхідному обсязі та з відповідними показниками якості. Електроенергія може подаватися у вигляді однофазного або трифазного змінного струму різної напруги та частоти, а також постійного струму.

Проектування системи електропостачання підприємства здійснюється відповідно до чинних нормативних вимог і передбачає виконання комплексу розрахунків. До них належать визначення силових та освітлювальних навантажень, побудова графіків активної і реактивної потужностей, техніко-економічне обґрунтування варіантів зовнішнього та внутрішнього електропостачання. Крім того, проводиться розрахунок компенсації реактивної потужності з вибором оптимальної кількості цехових трансформаторних підстанцій, визначення способу регулювання компенсації для забезпечення заданого коефіцієнта потужності та встановлення його фактичного значення.

Важливим етапом є також вибір високовольного обладнання, зокрема вимикачів, трансформаторів струму і напруги, трансформаторів власних потреб, роз'єднувачів та обмежувачів перенапруг. Вибір кабельних ліній і електрообладнання здійснюється на основі розрахунків струмів короткого замикання.

Комбікормовий завод є підприємством агропромислового комплексу, на якому працює близько 150 осіб. Основним напрямком його діяльності є виробництво комбікормів шляхом переробки зернових культур, що надходять від сільськогосподарських підприємств, для забезпечення кормами птиці та свиней. Крім основної продукції, підприємство виготовляє трав'яне борошно та екструдовані кормові продукти, а також має власне підсобне господарство.

						Арк.
						7

Для забезпечення виробничих потреб і доставки готової продукції завод використовує автопарк, який налічує близько десяти одиниць транспортних засобів. Автотранспорт здійснює перевезення комбікормів до господарств-споживачів.

На сьогодні підприємство значною мірою спеціалізується на прийманні, доробці та зберіганні зерна. Зернова сировина надходить на завод із різних регіонів країни. Після доставки зерно проходить процедуру зважування та лабораторного контролю, під час якого визначаються його якісні показники.

У разі підвищеної вологості зерно направляється на сушильний комплекс, де проходить процес сушіння за встановленими технологічними режимами. Після досягнення необхідних параметрів вологості зерно надходить до приймального бункера, а далі за допомогою норії транспортується до силосних сховищ для тривалого зберігання.

За необхідності зернова маса підлягає очищенню від сторонніх домішок. Для цього її подають до зерноочисного комплексу, де за допомогою системи решіт здійснюється відокремлення сміттєвих та інших небажаних включень. Після очищення зерно знову транспортується норією до галереї, розташованої в складському приміщенні. Галерея призначена для розподілу та переміщення зерна до різних зон складу.

Під час відвантаження зерна зі складу відкриваються приймальні люки, розміщені в підлозі сховища. Через них зерно потрапляє на нижню транспортну галерею, звідки подається до норії та завантажується в транспортні засоби для подальшого перевезення.

Крім стаціонарних сховищ, на підприємстві застосовується технологія зберігання зерна у спеціальних полімерних рукавах, розташованих на відкритих майданчиках. Довжина таких рукавів становить близько 100 метрів, а місткість може досягати 250 тонн зерна, що дозволяє суттєво збільшити загальний обсяг одночасного зберігання продукції.

Дані про електроприймачі по підрозділам підприємства наведені в табл. 1.

						Арк.
						8

Таблиця 1. Вихідні дані для розрахунку електричних навантажень комбікормового заводу

№ п/п	Найменування обладнання	Площа	п	Рн, кВт	
				Одного	Сумарна
1	2	3	4	5	6
1	Склад №1	2400			
	Галерея		4	7,5-11	37
	Норія		4	5,5-7,5	26
	Транспортер		2	22	44
	Вентилятор		4	11	44
	Електротельфер		2	2	4
2	Склад №2	2400			
	Галерея		4	7,5-11	37
	Норія		4	5,5-7,5	26
	Транспортер		2	22	44
	Вентилятор		4	11	44
	Електротельфер		2	2	4
3	Склад №3	2880			
	Галерея		6	7,5-15	67
	Норія		8	4,0-15	64
	Транспортер		4	22	88
	Вентилятор		4	22	88
	Електротельфер		4	4	16
	Сушилка		2	33	66
4	Склад №4	2880			
	Галерея		6	7,5-15	67
	Норія		8	4,0-15	64
	Транспортер		4	22	88
	Вентилятор		4	22	88
	Електротельфер		4	4	16
	Сушилка		2	33	66
5	Водоймище	360			
	Насос сирої води		4	11	44
	Електромеханічний клапан		6	1–3	16
	Електромагнітний фільтр		8	2–4	24
6	Яма для приймання зерна	36			
	Транспортер		4	22	88
	Вентилятор		4	10	40
7	Склад №5	1440			
	Галерея		6	5,5-7,5	39
	Норія		6	4,0-7,5	38,5
	Транспортер		2	22	44

1	2	3	4	5	6
	Вентилятор		4	15	60
	Електротельфер		2	2	4
	Сушилка		1	33	33
8	Склад для зберігання зернових залишок	1232			
	Галерея		6	5,5-7,5	39
	Норія		6	4,0-7,5	38,5
	Транспортер		2	22	44
	Вентилятор		4	15	60
9	Силосні ями	2720			
10	Цех виготовлення комбікормів	1820			
	Гранулятори		10	10-200	670
	Лінія первинної обробки		4	20	80
	Лінія автоматичного сортування		2	30	60
	Лінія вторинної обробки		6	5,0-30	90
	Цех дріжжування		2	50	100
	Лінія завантаження		2	5	10
	Лінія розвантаження готової продукції		2	10	20
	Насоси		5	10,0-50	185
	Вентилятори сировинні		8	5,0-30	170
	Вентилятори		10	5	50
11	Газовий РП	112			
12	Їдальня	480			
	Жарочна шафа		4	3-10	25
	Електрична плита		8	2,0-6,0	30
	Вентилятор		4	5,0	20
	Тістомішалка		3	3	9
	Електрична м'ясорубка		2	3	6
	Холодильник		4	6	24
	Посудомийна машина		1	4	4
	Бойлер		2	4	8
13	Електроцех, токарка	1200			
	Вертикально-фрезерувальний		7	7,5-13	76,5
	Токарно-гвинторізний		15	10-23,6	317,05
	Подовжньо-стругальний		3	40	120
	Зубофрезерний		3	6,2-12	30,2
	Шліцефрезерувальний		2	22	44
	Універсально фрезерувальний		1	9	9
	Зубодовбальний		1	3,4	3,4

1	2	3	4	5	6
	Зубостругальний		1	2,8	2,8
	Усередині шліфувальний		1	10	10
	Круглошліфувальний		2	10-18,5	28,5
	Плоскошліфувальний		3	4,0-16	28
	Свердлильний верстат		2	4	8
	Гідростенд		1	40	40
	Точильно-шліфувальний		3	2,1-2,8	7,7
	Вентилятор		4	20	80
	Кран-балка		3	3,0-6	12
14	Автогараж	560			
	Вентилятори		5	1,0-4,0	8
	Компресори		2	10	20
	Зварювальна ділянка		5	2,5-5,5	15,5
	Точильні станки		2	2,5	5
15	Приміщення служби охорони	80			
16	Вагова, Лабораторія	208			
	Компютер		3	0,35	1,05
	Електричні ваги		2	0,55	1,1
	Електрична піч		2	15,0	30
	Лабораторне обладнання		15	0,15-3,0	10
17	Котельня	1800			
	Димосос		6	45-50	290
	Вентилятор		6	30-45	210
	Насос ПЕН 40-65		2	30	60
	Насос ПЕН 65-200		2	100	200
	Насос СВ		2	11	22
	Насос води		2	25	50
	Насос ГВС		2	18	36
18	Адміністративний корпус	1200			
	Компютер		10	0,35	3,5
	Оргтехніка		6	0,15-3	7,8
	Електронагрівач		4	2	8
	Кондиціонер		4	1,5-3	9

2. Розрахунок електричних навантажень комбікормового заводу

2.1. Розрахунок електричних навантажень комбікормового заводу в мережах до 1000 В

Розрахунок електричних навантажень комбікормового заводу в електричних мережах напругою до 1000 В виконано відповідно до типової табличної форми згідно з методиками, наведеними в джерелах [1–4]. Отримані результати розрахунків систематизовано та подано в табл. 2.1.

2.2. Розрахунок освітлювальних навантажень комбікормового заводу

Розрахунок освітлювальних навантажень комбікормового заводу виконано відповідно до типової табличної форми згідно з методичними рекомендаціями, наведеними в джерелах [1–4]. Результати проведених розрахунків наведено в табл.2.2.

2.3. Розрахунок електричних навантажень комбікормового заводу в силових мережах вище 1000 В

Визначення електричних навантажень комбікормового заводу для електричних мереж напругою вище 1000 В здійснювалося згідно з нормативною методикою розрахунку, що використовується при проєктуванні систем електропостачання промислових об'єктів. Оскільки методика детально викладена в джерелах [1–4], її опис у даній роботі не наводиться. Результати розрахунків разом із вихідними параметрами подано в табл. 2.3.

						Арк.
						12

Таблиця 2.1. Розрахунок електричних навантажень комбікормового заводу в мережі до 1000 В.

№ п/п	Найменування обладнання	n	P _н , кВт		Ки	Cos	tg	Середнє		η _э	K _м	Розрахункове		
			Одного	Сумарна				P _{ср} , кВт	Q _{ср} , кВар			P _р , кВт	Q _р , кВар	S _р , кВА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	Склад №1													
1	Галерея	4	7,5-11	37	0,7	0,85	0,62	25,9	16,1					
2	Норія	4	5,5-7,5	26	0,8	0,8	0,75	20,8	15,6					
3	Транспортер	2	22	44	0,5	0,8	0,75	22	16,5					
4	Вентилятор	4	11	44	0,8	0,85	0,62	35,2	21,8					
5	Електротельфер	2	2	4	0,05	0,65	1,17	0,2	0,2					
	Всього по складу №1	16	2,0-22,0	155	0,67	0,83	0,67	104,1	70,20	14	1,15	119,7	70,20	138,78
	Склад №2													
6	Галерея	4	7,5-11	37	0,7	0,85	0,62	25,9	16,05					
7	Норія	4	5,5-7,5	26	0,8	0,8	0,75	20,8	15,60					
8	Транспортер	2	22	44	0,5	0,8	0,75	22	16,50					
9	Вентилятор	4	11	44	0,8	0,85	0,62	35,2	21,82					
10	Електротельфер	2	2	4	0,05	0,65	1,17	0,2	0,23					
	Всього по складу №2	16	2,0-22,0	155	0,67	0,83	0,67	104,1	70,20	14	1,15	119,7	70,20	138,78
	Склад №3													
11	Галерея	6	7,5-15	67	0,7	0,85	0,62	46,90	29,07					
12	Норія	8	4,0-15	64	0,8	0,8	0,75	51,20	38,40					
13	Транспортер	4	22	88	0,5	0,8	0,75	44,00	33,00					
14	Вентилятор	4	22	88	0,8	0,85	0,62	70,40	43,63					
15	Електротельфер	4	4	16	0,05	0,65	1,17	0,80	0,94					
16	Сушилка	2	33	66	0,9	1	0,00	59,40	0,00					
	Всього по складу №3	28	4,0-33	389	0,70	0,88	0,53	272,70	145,03	24	1,1	300,0	145,03	333,19
	Склад №4													
17	Галерея	6	7,5-15	67	0,7	0,85	0,62	46,9	29,07					
18	Норія	8	4,0-15	64	0,8	0,8	0,75	51,2	38,40					
19	Транспортер	4	22	88	0,5	0,8	0,75	44	33,00					
20	Вентилятор	4	22	88	0,8	0,85	0,62	70,4	43,63					
21	Електротельфер	4	4	16	0,05	0,65	1,17	0,8	0,94					
22	Сушилка	2	33	66	0,9	1	0,00	59,4	0,00					
	Всього по складу №4	28	4,0-33	389	0,70	0,88	0,53	272,70	145,03	24	1,1	300,0	145,03	333,2
	Водоймище													
23	Насос сирої води	4	11	44	0,8	0,85	0,62	35,2	21,82					

Продовження табл. 2.1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
24	Електромеханічний клапан	6	1–3	16	0,8	0,95	0,33	12,8	4,21					
25	Електромагнітний фільтр	8	2–4	24	0,7	0,8	0,75	16,8	12,60					
	Всього по водоймищу	18	1,0-11	84	0,77	0,86	0,60	64,8	38,62	15	1,1	71,3	38,62	81,1
	Яма для приймання зерна													
26	Транспортер	4	22	88	0,5	0,8	0,75	44	33					
27	Вентилятор	4	10	40	0,8	0,9	0,62	32	19,8					
	Всього по ямі для приймання зерна	8	10,0-22,0	128	0,59	0,82	0,70	76,00	52,8	8	1,3	98,8	58,12	114,6
	Склад №5													
28	Галерея	6	5,5-7,5	39	0,7	0,85	0,62	27,3	16,92					
29	Норія	6	4,0-7,5	38,5	0,8	0,8	0,75	30,8	23,10					
30	Транспортер	2	22	44	0,5	0,8	0,75	22	16,50					
31	Вентилятор	4	15	60	0,8	0,85	0,62	48	29,75					
32	Електротельфер	2	2	4	0,05	0,65	1,17	0,2	0,23					
33	Сушилка	1	33	33	0,9	1	0,00	29,7	0,00					
	Всього по складу №5	21	2,0-33	218,5	0,72	0,88	0,55	158,00	86,50	13	1,15	181,7	86,50	201,2
	Склад для зберігання зернових залишок													
34	Галерея	6	5,5-7,5	39	0,7	0,85	0,62	27,3	16,92					
35	Норія	6	4,0-7,5	38,5	0,8	0,8	0,75	30,8	23,10					
36	Транспортер	2	22	44	0,5	0,8	0,75	22	16,50					
37	Вентилятор	4	15	60	0,8	0,85	0,62	48	29,75					
	Всього по складу	18	4,0-22	181,5	0,71	0,83	0,67	128,10	86,27	17	1,11	142,2	86,27	166,3
	Цех виготовлення комбікормів													
38	Гранулятори	10	10-200	670	0,8	0,8	0,75	536	402,0					
39	Лінія первинної обробки	4	20	80	0,65	0,75	0,88	52	45,9					
40	Лінія автоматичного сортування	2	30	60	0,5	0,7	1,02	30	30,6					
41	Лінія вторинної обробки	6	5,0-30	90	0,7	0,8	0,75	63	47,3					
42	Цех дріжжування	2	50	100	0,65	0,8	0,75	65	48,8					
43	Лінія завантаження	2	5	10	0,6	0,8	0,75	6	4,5					
44	Лінія розвантаження готової продукції	2	10	20	0,6	0,8	0,75	12	9,0					
45	Насоси	5	10,0-50	185	0,7	0,85	0,62	129,5	80,3					
46	Вентилятори сировинні	8	5,0-30	170	0,7	0,8	0,75	119	89,3					
47	Вентилятори	10	5	50	0,8	0,85	0,62	40	24,8					
	Всього по цеху комбікормів	51	5,0-200	1435	0,73	0,8	0,74	1052,50	782,26	14	1,1	1157,8	782,26	1397,3

Продовження табл. 2.1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	Їдальня													
48	Жарочна шафа	4	3-10	25	0,3	0,75	0,88	7,5	6,61					
49	Електрична плита	8	2,0-6,0	30	0,3	1	0,00	9	0,00					
50	Вентилятор	4	5	20	0,6	0,85	0,62	12	7,44					
51	Тістомішалка	3	3	9	0,2	0,6	1,33	1,8	2,40					
52	Електрична м'ясорубка	2	3	6	0,2	0,6	1,33	1,2	1,60					
53	Холодильник	4	6	24	0,4	0,7	1,02	9,6	9,79					
54	Посудомийна машина	1	4	4	0,2	0,7	1,02	0,8	0,82					
55	Бойлер	2	4	8	0,3	1	0,00	2,4	0,00					
	Всього по їдальні	28	2,0-10,0	126	0,35	0,84	0,65	44,30	28,66	25	1,24	54,9	28,66	62,0
	Електроцех, токарка													
56	Вертикально-фрезерувальний	7	7,5-13	76,5	0,17	0,5	1,73	13,0	22,53					
57	Токарно-гвинторізний	15	10-23,6	317,05	0,14	0,4	2,29	44,4	101,70					
58	Подовжньо-стругальний	3	40	120	0,14	0,5	1,73	16,8	29,10					
59	Зубофрезерний	3	6,2-12	30,2	0,12	0,4	2,29	3,6	8,30					
60	Шліцефрезерувальний	2	22	44	0,17	0,5	1,73	7,5	12,96					
61	Універсально фрезерувальний	1	9	9	0,14	0,5	1,73	1,3	2,18					
62	Зубодовбальний	1	3,4	3,4	0,17	0,5	1,73	0,6	1,00					
63	Зубостругальний	1	2,8	2,8	0,17	0,5	1,73	0,5	0,82					
64	Усередині шліфувальний	1	10	10	0,15	0,4	2,29	1,5	3,44					
65	Круглошліфувальний	2	10-18,5	28,5	0,16	0,5	1,73	4,6	7,90					
66	Плоскошліфувальний	3	4,0-16	28	0,16	0,5	1,73	4,5	7,76					
67	Свердлильний верстат	2	4	8	0,12	0,5	1,73	1,0	1,66					
68	Гідростенд	1	40	40	0,65	0,8	0,75	26,0	19,50					
69	Точильно-шліфувальний	3	2,1-2,8	7,7	0,12	0,5	1,73	0,9	1,60					
70	Вентилятор	4	20	80	0,8	0,8	0,75	64,0	48,00					
71	Кран-балка	3	3,0-6	12	0,1	0,5	1,73	1,2	2,08					
	Всього по електроцеху, токарні	52	2,1-40,0	817,15	0,23	0,58	1,41	191,23	270,53	41	1,25	239,0	270,53	361,0
	Автогараж													
72	Вентилятори	5	1,0-4,0	8	0,7	0,8	0,75	5,6	4,20					
73	Компресори	2	10	20	0,65	0,8	0,75	13	9,75					
74	Зварювальна ділянка	5	2,5-5,5	15,5	0,3	0,4	2,29	4,65	10,65					
75	Точильні станки	2	2,5	5	0,12	0,5	1,73	0,6	1,04					
	Всього по автогаражу	14	1,0-10	48,5	0,49	0,68	1,08	23,85	25,64	10	1,35	32,2	25,64	41,2

Продовження табл. 2.1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	Вагова, Лабораторія													
76	Компютер	3	0,35	1,05	0,6	0,7	1,02	0,63	0,64					
77	Електричні ваги	2	0,55	1,1	0,2	0,8	0,75	0,22	0,17					
78	Електрична піч	2	15	30	0,5	0,9	0,48	15	7,26					
79	Лабораторне обладнання	15	0,15-3,0	10	0,15	0,4	2,29	1,5	3,44					
	Всього по ваговій, лабораторії	22	0,15-15	42,15	0,41	0,83	0,66	17,35	11,51	6	1,64	28,5	12,66	31,1
	Котельня													
80	Димосос	6	45-50	290	0,7	0,8	0,75	203	152,25					
81	Вентилятор	6	30-45	210	0,7	0,8	0,75	147	110,25					
82	Насос ПЕН 40-65	2	30	60	0,3	0,8	0,75	60	45					
83	Насос ПЕН 65-200	2	100	200	0,17	0,6	1,33	200	266,7					
84	Насос СВ	2	11	22	0,8	0,8	0,75	22	16,5					
85	Насос води	2	25	50	0,6	0,7	1,02	50	51,0					
86	Насос ГВС	2	18	36	0,6	0,8	0,75	36	27					
	Всього по котельні	22	11-100	868	0,83	0,73	0,93	718,00	668,7	17	1,07	768,3	668,68	1018,5
	Адміністративний корпус													
87	Компютер	10	0,35	3,5	0,6	0,7	1,02	2,1	2,1					
88	Оргтехніка	6	0,15-3	7,8	0,15	0,4	2,29	1,17	2,7					
89	Електронагрівач	4	2	8	0,2	0,8	0,75	1,6	1,2					
90	Кондиціонер	4	1,5-3	9	0,6	0,8	0,75	5,4	4,05					
	Всього по адміністративному корпусу	24	0,15-2	28,3	0,36	0,71	0,98	10,27	10,07	19	1,29	13,2	10,07	16,6
	Всього по комбикормовому заводу	366	0,15-200	5065,1	0,64	0,79	0,77	3238	2492,0	51	1,09	3529,4	2492,04	4320,5

Таблиця 2.2. Розрахунок освітлювального навантаження комбикормового заводу.

№ п/п	Найменування підрозділу	F, м ²	P ₀ , Вт/м ²	P _y , кВт	tg	Q _y , кВт	K _c	P _p , кВт	Q _p , кВт	S _p , кВА
1	Склад №1	2400	8	19,20	1,73	33,22	0,6	11,52	19,93	23,0
2	Склад №2	2400	8	19,20	1,73	33,22	0,6	11,52	19,93	23,0
3	Склад №3	2880	8	23,04	1,73	39,86	0,6	13,82	23,92	27,6
4	Склад №4	2880	8	23,04	1,73	39,86	0,6	13,82	23,92	27,6
5	Водоймище	360	6	2,16	1,73	3,74	0,75	1,62	2,80	3,2
6	Яма для приймання зерна	36	12	0,43	1,73	0,75	0,75	0,32	0,56	0,6
7	Склад №5	1440	8	11,52	1,73	19,93	0,6	6,91	11,96	13,8
8	Склад для зберігання зернових залишок	1232	8	9,86	1,73	17,05	0,6	5,91	10,23	11,8
9	Силосні ями	2720	6	16,32	1,73	28,23	0,6	9,79	16,94	19,6
10	Цех виготовлення комбикормів	1820	16	29,12	1,73	50,38	0,75	21,84	37,78	43,6
11	Газовий РП	112	12	1,34	0	0,00	0,8	1,08	0,00	1,1
12	Їдальня	480	18	8,64	0,48	4,15	0,95	8,21	3,94	9,1
13	Електроцех, токарка	1200	16	19,20	1,73	33,22	0,75	14,40	24,91	28,8
14	Автогараж	560	14	7,84	1,73	13,56	0,75	5,88	10,17	11,7
15	Приміщення служби охорони	80	18	1,44	0,48	0,69	0,95	1,37	0,66	1,5
16	Вагова, Лабораторія	208	18	3,74	0,48	1,80	0,95	3,56	1,71	3,9
17	Котельня	1800	16	28,80	1,73	49,82	0,8	23,04	39,86	46,0
18	Адміністративний корпус	1200	18	21,60	0,48	10,37	0,95	20,52	9,85	22,8
19	Освітлення території заводу	104192	0,1	10,42	1,73	18,03	1	10,42	18,03	20,8
Всього по заводу		128000		256,92		397,86		185,6	277,1	333,5

Таблиця 2.3. Розрахунок електричних навантажень комбікормового заводу в мережі вище 1000 В.

№ п/п	Найменування обладнання	n	Рн, кВт		Ки	Cos	tg	Середнє		n _э	K _м	Розрахункове		
			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
	ТП-1													
	Склад №1													
	Силова	16	2,0-22,0	155	0,67	0,83	0,7	104,1	70,2	14	1,15	119,7	70,2	138,8
	Освітлення							19,20	33,22			11,52	19,93	23,02
	Всього по складу №1											131,24	90,13	159,2
	Склад №2													
	Силова	16	2,0-22,0	155	0,67	0,83	0,7	104,1	70,2	14	1,15	119,7	70,2	138,8
	Освітлення							19,20	33,22			11,52	19,93	23,02
	Всього по складу №2											131,24	90,13	159,2
	Склад №3													
	Силова	28	4,0-33	389	0,7	0,88	0,5	272,7	145,0	24	1,1	300,0	145,0	333,2
	Освітлення							23,04	39,86			13,82	23,92	27,62
	Всього по складу №3											313,79	168,95	356,4
	Склад №4													
	Силова	28	4,0-33	389	0,7	0,88	0,5	272,7	145,0	24	1,1	300,0	145,0	333,2
	Освітлення							23,04	39,86			13,82	23,92	27,62
	Всього по складу №4											313,79	168,95	356,4
	Всього по ТП-1													
	Силова	88	2,0-33	1088	0,69	0,87	0,57	753,6	430,46	66	1,07	806,35	430,46	914,06
	Освітлення							84,48	146,15			50,69	87,69	101,29
	Всього по ТП-1											857,04	518,15	1001,5
	КП 0,4 кВ												332	
	Всього по ТП-1 з КП											857,04	186,15	877,0
	Втрати в тр-рах ТП-1 2×630											11,90	58,77	
	Всього на шинах 10 кВ ТП-1											868,94	244,93	902,8
	ТП-2													
	Яма для приймання зерна													
	Силова	8	10,0-22,0	128	0,59	0,82	0,7	76	52,83	8	1,3	98,8	58,12	114,62
	Освітлення							0,43	0,75			0,32	0,56	0,65
	Всього по ямі для приймання зерна											99,12	58,68	115,2
	Котельня													
	Силова	22	11–100	868	0,83	0,73	0,9	718	668,7	17	1,07	768,3	668,7	1018,5
	Освітлення							28,80	49,82			23,04	39,86	46,04
	Всього по котельні											791,30	708,54	1062,2

Продовження табл. 2.3.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	Всього по ТП-2													
	Силова	30	10,0-100	996	0,80	0,74	0,91	794,0	721,5	20	1,06	841,6	721,5	1108,57
	Освітлення							29,2	50,6			23,4	40,4	46,69
	Всього по ТП-2											865,00	761,93	1152,7
	КП 0,4 кВ												600	
	Всього по ТП-2 з КП											865,00	161,93	880,0
	Втрати в тр-рах ТП-2 2×630											11,95	59,01	
	Всього на шинах 10 кВ ТП-2											876,96	220,93	904,4
	ТП-3													
	Водоймище													
	Силова	18	1,0-11	84	0,77	0,86	0,6	64,8	38,6	15	1,1	71,3	38,6	81,1
	Освітлення							2,16	3,74			1,62	2,80	3,24
	Всього по водоймищу											72,90	41,42	83,8
	Склад №5													
	Силова	21	2,0-33	218,5	0,72	0,88	0,5	158	86,5	13	1,15	181,7	86,5	201,2
	Освітлення							11,52	19,93			6,91	11,96	13,81
	Всього по складу №5											188,61	98,46	212,8
	Склад для зберігання зернових залишок													
	Силова	18	4,0-22	181,5	0,71	0,83	0,7	128,1	86,27	17	1,11	142,19	86,27	166,31
	Освітлення							9,86	17,05			5,91	10,23	11,82
	Всього по складу зернових залишок											148,10	96,50	176,8
	Адміністративний корпус													
	Силова	24	0,15–2	28,3	0,36	0,71	1	10,27	10,07	19	1,29	13,25	10,07	16,64
	Освітлення							21,60	10,37			20,52	9,85	22,76
	Всього по складу №4											33,77	19,92	39,2
	Всього по ТП-3													
	Силова	81	0,15-33	512,3	0,70	0,85	0,61	361,17	221,46	31	1,07	386,45	221,46	445,41
	Освітлення							45,14	51,09			34,97	34,84	49,36
	Всього по ТП-3											421,42	256,30	493,2
	КП 0,4 кВ												133	
	Всього по ТП-3 з КП											421,42	123,30	439,1
	Втрати в тр-рах ТП-3 1×630											5,96	29,43	
	Всього на шинах 10 кВ ТП-3											427,38	152,73	453,9

Продовження табл. 2.3.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	ТП-4,5													
	Силосні ями													
	Освітлення							16,32	28,23			9,79	16,94	19,57
	Всього по силосних ямах											9,79	16,94	19,6
	Цех виготовлення комбікормів													
	Силова	51	5,0-200	1435	0,73	0,8	0,7	1052,5	782,26	14	1,1	1157,8	782,3	1397,3
	Освітлення							29,12	50,38			21,84	37,78	43,64
	Всього по складу №2											1179,59	820,05	1436,6
	Газовий РП													
	Освітлення							1,34	0,00			1,08	0,00	1,08
	Всього по газовому РП											1,08	0,00	1,1
	Їдальня													
	Силова	28	2,0-10,0	126	0,35	0,84	0,6	44,3	28,7	25	1,24	54,9	28,7	62,0
	Освітлення							8,64	4,15			8,21	3,94	9,10
	Всього по їдальні											63,14	32,60	71,1
	Електроцех, токарка													
	Силова	52	2,1-40,0	817,15	0,23	0,58	1,4	191,2	270,5	41	1,25	239,0	270,5	361,01
	Освітлення							19,20	33,22			14,40	24,91	28,77
	Всього по електроцеху, токарні											253,44	295,44	389,3
	Автогараж													
	Силова	14	1,0-10	48,5	0,49	0,68	1,1	23,9	25,6	10	1,35	32,2	25,6	41,2
	Освітлення							7,84	13,56			5,88	10,17	11,75
	Всього по автогаражу											38,08	35,82	52,3
	Приміщення служби охорони													
	Освітлення							1,44	0,69			1,37	0,66	1,52
	Всього по приміщенню											1,37	0,66	1,5
	Вагова, Лабораторія													
	Силова	22	0,15-15	42,15	0,41	0,83	0,7	17,35	11,51	6	1,64	28,5	12,7	31,1
	Освітлення							3,74	1,80			3,56	1,71	3,95
	Всього по ваговій, лабораторії											32,01	14,37	35,1
	Освітлення території заводу							10,42	18,03			10,42	18,03	20,82
	Всього по ТП-4,5													
	Силова	167	0,15-200	2468,8	0,54	0,77	0,84	1329,2	1118,6	25	1,16	1541,91	1118,61	1904,93
	Освітлення							98,07	150,05			76,54	114,14	137,42

Продовження табл. 2.3.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	Всього по ТП-4,5											1618,45	1232,74	2034,5
	КП 0,4 кВ												532	
	Всього по ТП-4,5 з КП											1618,45	700,74	1763,6
	Втрати в тр-рах ТП-4,5 4×630											23,97	118,29	
	Всього на шинах 10 кВ ТП-4,5											1642,42	819,03	1835,3
	Всього по заводу на шинах 10 кВ													
	Силова	366	0,15–200	5065,1	0,64	0,79	0,77	3238,0	2492,0	51	1,09	3529,4	2492,0	4320,5
	Освітлення							256,92	397,86			185,6	277,1	
	Всього по ТП з урахуванням освітлення							3494,92	2890			3715,0	2769,1	4633,5
	КП 0,4 кВ												1597	
	Всього по ТП з КП											3714,98	1172,13	3895,51
	Втрати в тр-рах ТП 9×630											53,79	265,50	
	Всього по заводу на шинах ТП 10 кВ											3768,77	1437,63	4033,66
	КП 10 кВ												900,00	
	Всього на шинах 10 кВ заводу											3768,77	537,63	3806,9

3. Побудова графіків електричних навантажень комбікормового заводу.

Методика визначення параметрів графіків електричних навантажень та порядок їх побудови детально висвітлені в літературних джерелах [1–4], тому в даній роботі вони не розглядаються. Для виконання розрахунків і побудови графіків використано програму Mathcad, яка забезпечує високу точність математичних обчислень, зручність обробки результатів та їх наочне графічне представлення. Результати розрахунків і відповідні графічні залежності наведено нижче у вигляді скріншотів.

1. Активне розрахункове навантаження:

$$P_{\max} := 3768.77 \text{ кВт}$$

2. Реактивне розрахункове навантаження:

$$Q_{\max} := 3034.63 \text{ квар}$$

$$T_{\text{лето_р}} := 105 \quad T_{\text{лето_в}} := 48 \quad T_{\text{зима_р}} := 147 \quad T_{\text{зима_в}} := 65$$

$$T_{\Gamma} = 365$$

3. Графік навантаження (у %) кожної ступені графіка активної потужності, - 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	100
9	90	100
10	100	95
11	90	95
12	80	90
13	80	95
14	90	95
15	95	100
16	100	95
17	90	95
18	75	85
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

1. Робочий день літній
2. Робочий день зимовий
3. Вихідний день літній
4. Вихідний день зимовий

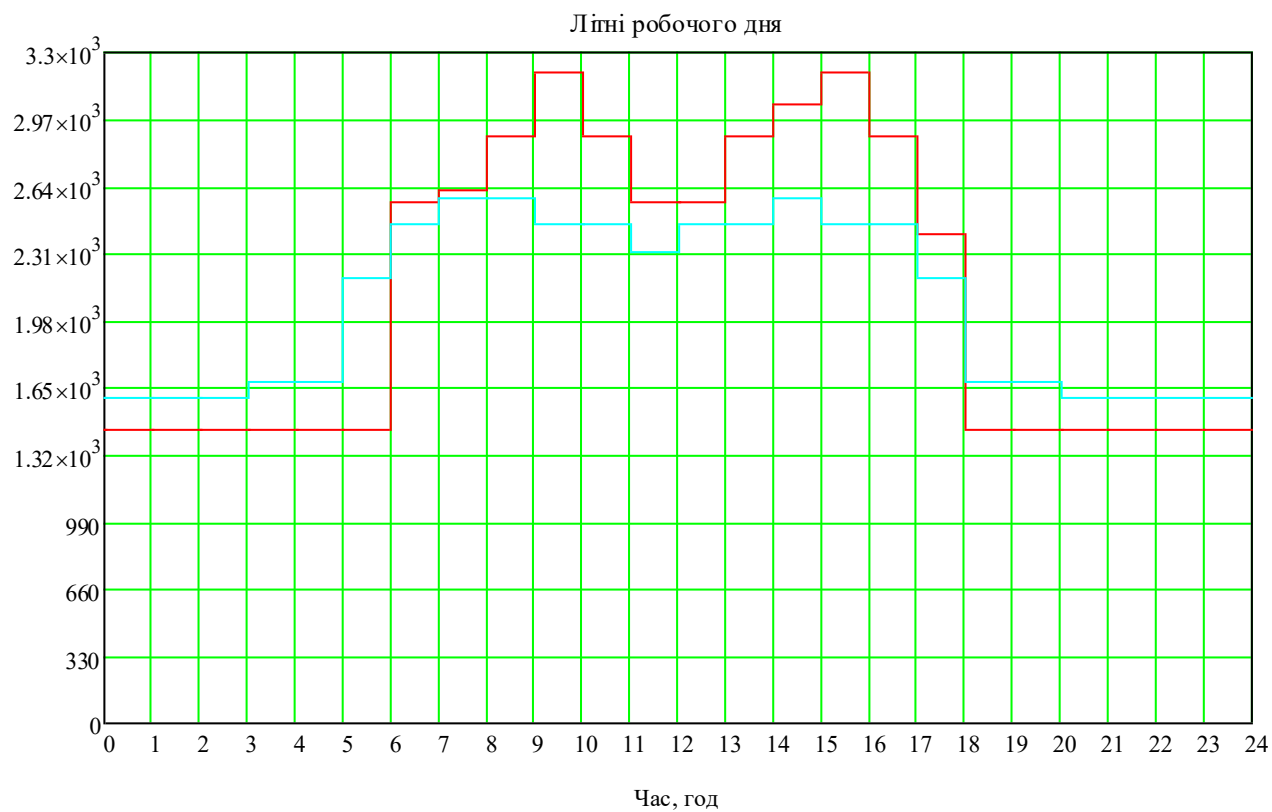
	1	2	3
1	1442	1599	2153
2	1442	1599	2153
3	1442	1599	2153
4	1442	1677	221
5	1442	1677	2211
6	1442	2193	2624
7	2563	2450	3546
8	2627	2579	3682
9	2883	2579	3869
10	3203	2450	4033
11	2883	2450	3784
12	2563	2321	3458
13	2563	2450	3546
14	2883	2450	3784
15	3043	2579	3989
16	3203	2450	4033
17	2883	2450	3784
18	2403	2193	3253
19	1442	1677	2211
20	1442	1677	2211
21	1442	1599	2153
22	1442	1599	2153
23	1442	1599	2153
24	1442	1599	...

	1	2	3
1	1696	1881	2533
2	1696	1881	2533
3	1696	1881	2533
4	1696	1973	260
5	1696	1973	2601
6	1696	2579	3087
7	3015	2883	4172
8	3090	3035	4331
9	3392	3035	4551
10	3769	2883	4745
11	3392	2883	4452
12	3015	2731	4068
13	3015	2883	4172
14	3392	2883	4452
15	3580	3035	4693
16	3769	2883	4745
17	3392	2883	4452
18	2827	2579	3827
19	1696	1973	2601
20	1696	1973	2601
21	1696	1881	2533
22	1696	1881	2533
23	1696	1881	2533
24	1696	1881	...

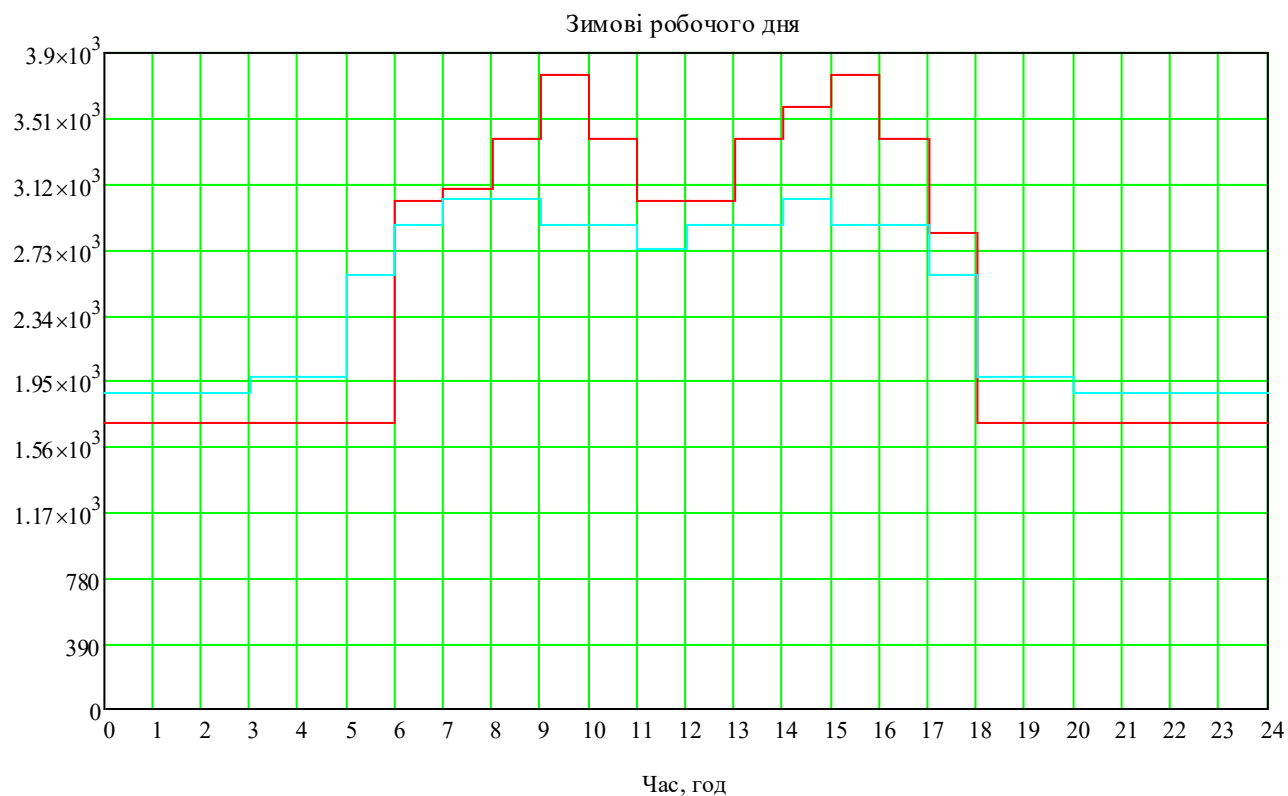
	1	2	3
1	641	645	909
2	641	645	909
3	641	645	909
4	641	645	909
5	641	645	909
6	641	645	909
7	641	645	909
8	641	645	909
9	481	516	705
10	481	516	705
11	481	516	705
12	481	516	705
13	481	516	705
14	481	516	705
15	481	516	705
16	481	516	705
17	481	516	705
18	641	645	909
19	641	645	909
20	641	645	909
21	641	645	909
22	641	645	909
23	641	645	909
24	641	645	...

	1	2	3
1	754	759	1069
2	754	759	1069
3	754	759	1069
4	754	759	1069
5	754	759	1069
6	754	759	1069
7	754	759	1069
8	754	759	1069
9	565	607	829
10	565	607	829
11	565	607	829
12	565	607	829
13	565	607	829
14	565	607	829
15	565	607	829
16	565	607	829
17	565	607	829
18	754	759	1069
19	754	759	1069
20	754	759	1069
21	754	759	1069
22	754	759	1069
23	754	759	1069
24	754	759	...

- 1 - активна потужність
2 - реактивна потужність
3 - повна потужність



┐ P
┐ Q

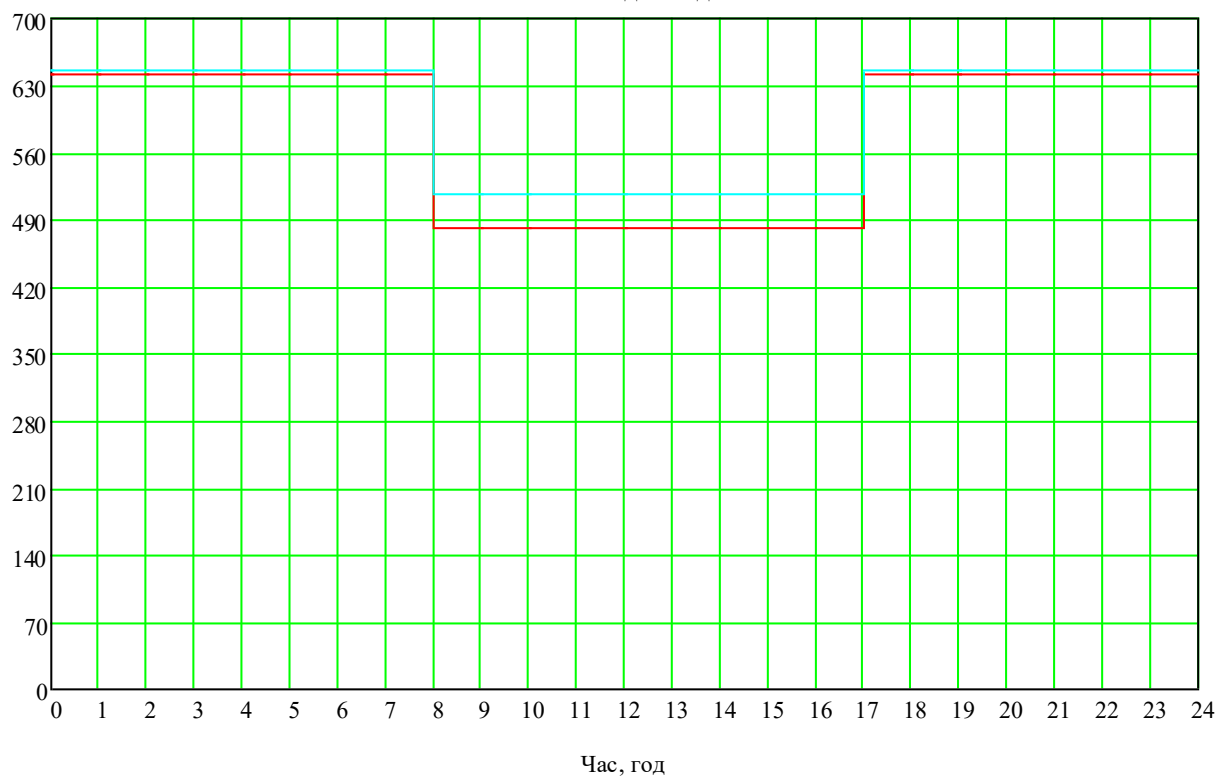


┐ P
┐ Q

Арк.

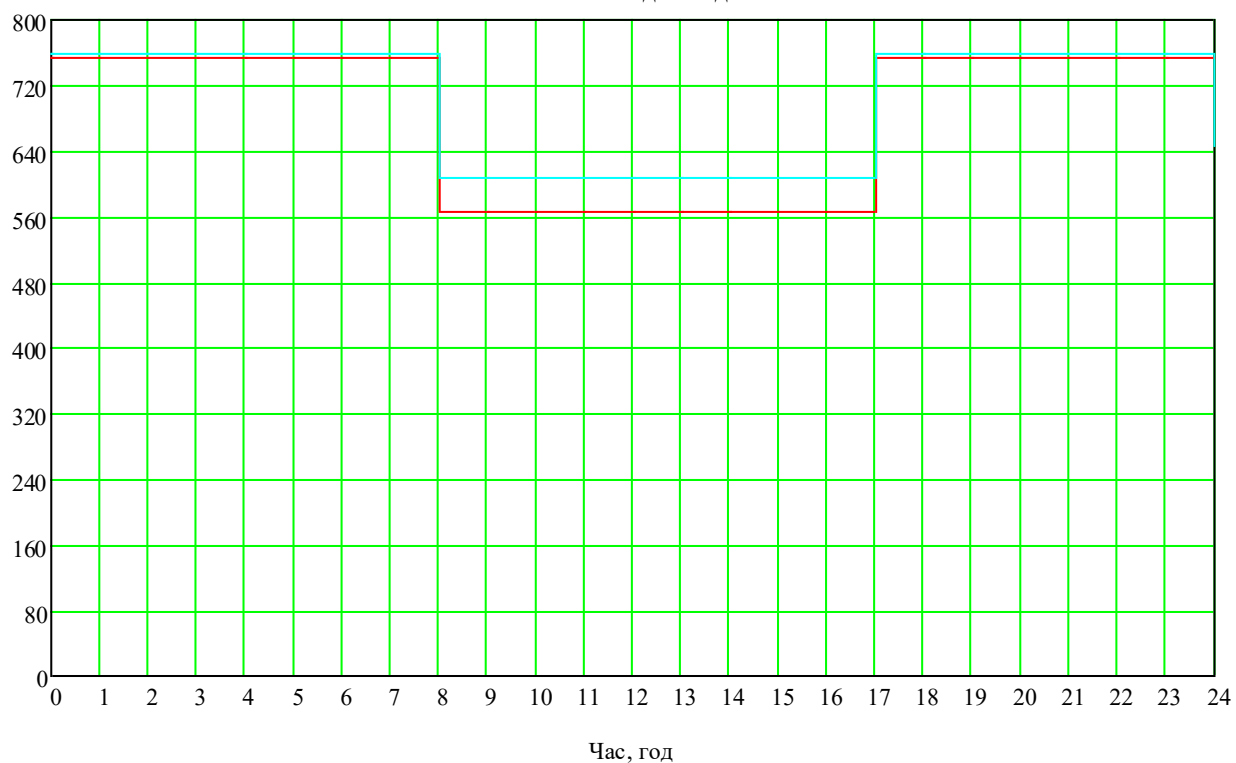
24

Ліпні вихідного дня

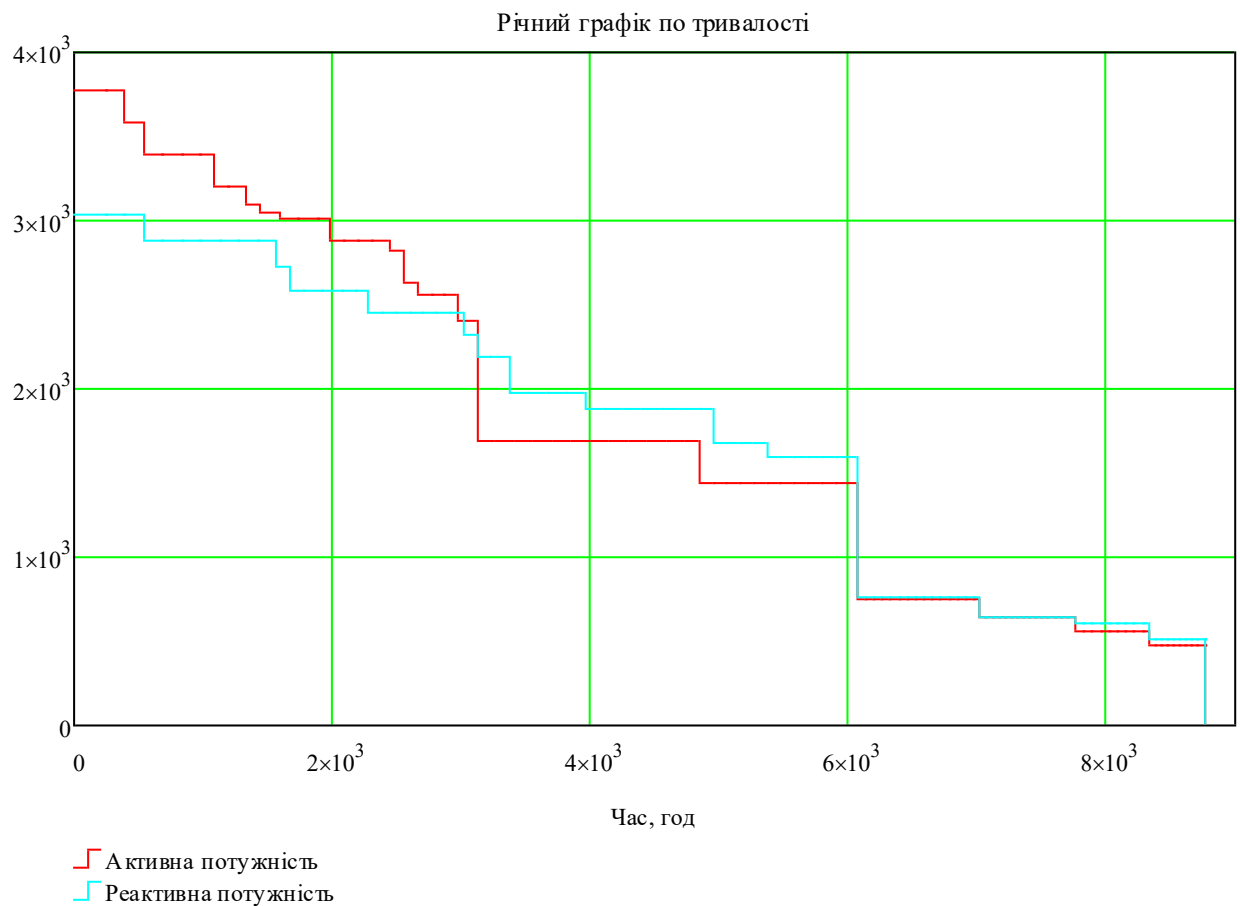


└┐ P
└┐ Q

Зимові вихідного дня



└┐ P
└┐ Q



Споживання активної енергії за літню вихідну добу; $\text{кВт}\cdot\text{год}$

$$W_{\text{лето_в}} = 13935$$

Споживання активної енергії за літню робочу добу; $\text{кВт}\cdot\text{год}$

$$W_{\text{лето_р}} = 50999$$

Споживання активної енергії за зимову вихідну добу; $\text{кВт}\cdot\text{год}$

$$W_{\text{зима_в}} = 16394$$

Споживання активної енергії за зимову робочу добу; $\text{кВт}\cdot\text{год}$

$$W_{\text{зима_р}} = 59999$$

Споживання реактивної енергії за літню вихідну добу; $\text{квар}\cdot\text{год}$

$$V_{\text{лето_в}} = 14316$$

Споживання реактивної енергії за літню робочу добу; $\text{квар}\cdot\text{год}$

$$V_{\text{лето_р}} = 49499$$

Споживання реактивної енергії за зимову вихідну добу; $\text{квар}\cdot\text{год}$

$$V_{\text{зима_в}} = 16842$$

Споживання реактивної енергії за зимову робочу добу; $\text{квар}\cdot\text{год}$

$$V_{\text{зима_р}} = 58235$$

Річне споживання активної енергії, $\text{кВт}\cdot\text{год}$

$$W_{\Gamma} = 15909222$$

Річне споживання реактивної енергії, $\text{квар}\cdot\text{год}$

$$V_{\Gamma} = 15539817$$

Кількість годин використання максимуму потужності, год:

$$T_{\text{max}} = 4596$$

Річний час максимальних втрат, год:

$$\tau = 3206$$

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

Подальші розрахунки проведено згідно з методикою, викладеною в джерелах [2–4]. Для ілюстрації порядку побудови картограми навантажень розглянемо Склад №1. Масштаб побудови прийнято рівним $m = 0,4 \text{ кВт/мм}^2$:

Радіус кола:

$$R_1 = \sqrt{\frac{P_1}{\pi m}} = \sqrt{\frac{131,24}{\pi \cdot 0,4}} = 10 \text{ мм},$$

Сектор, що відповідає освітлювальному навантаженню Складу №1:

$$\alpha_i = \frac{P_{i.осв} \cdot 360}{P_1} = \frac{11,52 \cdot 360}{131,24} = 32^\circ$$

Розрахунок радіусів кіл та секторів для інших будівель і виробничих приміщень комбікормового заводу виконується аналогічно. Отримані результати розрахунків наведено в табл. 4.

Після побудови картограми навантажень визначаємо координати центру електричних навантажень (ЦЕН) комбікормового заводу. При розрахунку центра навантаження було розраховано, що він знаходиться в координатах

$$X = 225 \text{ м},$$

$$Y = 88 \text{ м}.$$

Генплан комбікормового заводу з нанесенням ЦЕН показано на рис. 4.

Таблиця 4. Розрахунок картограми електричних навантажень комбікормового заводу.

№	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	Склад №1	119,7	11,52	131,24	10	32	156	38	20472,66	4987
2	Склад №2	119,7	11,52	131,24	10	32	156	88	20472,66	11549
3	Склад №3	300,0	13,82	313,79	16	16	244	40	76565,74	12552
4	Склад №4	300,0	13,82	313,79	16	16	244	90	76565,74	28241
5	Водоймище	71,3	1,62	72,90	8	8	190	130	13851,00	9477
6	Яма для приймання зерна	98,8	0,32	99,12	9	1	126	134	12489,62	13283
7	Склад №5	181,7	6,91	188,61	12	13	154	288	29046,25	54320
8	Склад для зберігання зернових залишок	142,2	5,91	148,10	11	14	300	284	44431,38	42062
9	Силосні ями	0,0	9,79	9,79	3	360	296	178	2898,43	1743
10	Цех виготовлення комбікормів	1157,8	21,84	1179,59	31	7	330	70	389264,70	82571
11	Газовий РП	0,0	1,08	1,08	1	360	302	8	324,71	9
12	Їдальня	54,9	8,21	63,14	7	47	270	10	17047,80	631
13	Електроцех, токарка	239,0	14,40	253,44	14	20	366	68	92759,96	17234
14	Автогараж	32,2	5,88	38,08	6	56	394	60	15002,54	2285
15	Приміщення служби охорони	0,0	1,37	1,37	1	360	380	120	519,84	164
16	Вагова, Лабораторія	28,5	3,56	32,01	5	40	376	142	12036,06	4546
17	Котельня	768,3	23,04	791,30	25	10	36	48	28486,80	37982
18	Адміністративний корпус	13,2	20,52	33,77	5	219	58	292	1958,56	9860
	Всього			3802,36					854194,44	333496
				X= 225	м					
				Y= 88	м					

Експлікація споруд

1. Склад №1
2. Склад №2
3. Склад №3
4. Склад №4
5. Водоймище
6. Яма для приймання зерна
7. Склад №5
8. Склад для зберігання зернових залишок
9. Силосні ями
10. Цех виготовлення комбікормів
11. Газовий РП
12. їдальня
13. Електроцех, токарка
14. Автогараж
15. Приміщення для служби охорони
16. Вагова, лабораторія
17. Котельня
18. Адміністративний корпус

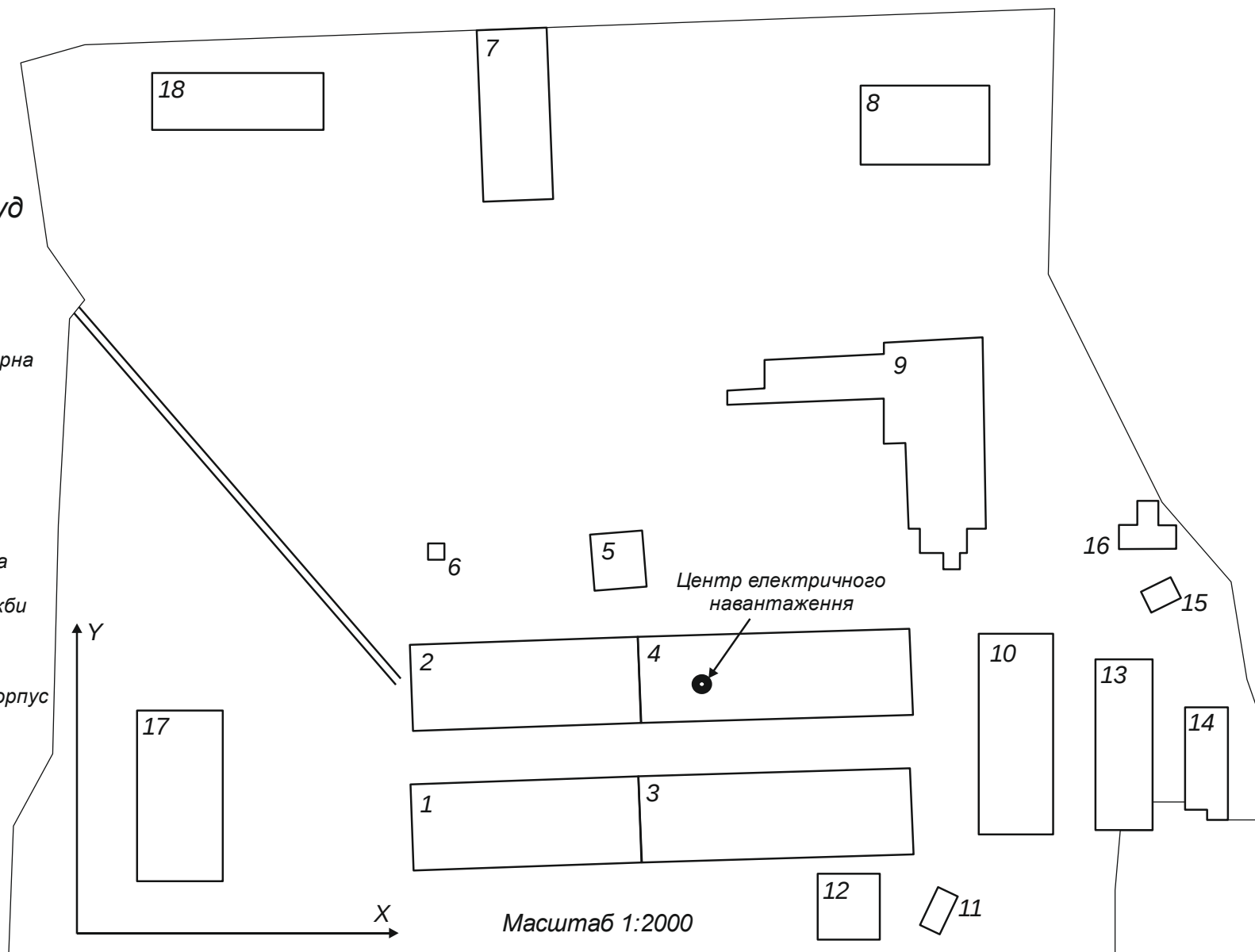


Рис. 4. Генплан комбікормового заводу з нанесенням ЦЕН.

5. Техніко-економічне обґрунтування схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання комбикормового заводу

Вибір раціонального рівня напруги та розроблення схеми електропостачання комбикормового заводу проведено відповідно до вимог чинних нормативних документів і методичних рекомендацій, наведених у джерелах [1–4]. При цьому враховано характер та величину електричних навантажень, вимоги до надійності електропостачання, а також техніко-економічні показники проєктованої системи.

5.1 Техніко-економічне обґрунтування схем зовнішнього електропостачання підприємства

Як джерело живлення комбикормового заводу можуть бути використані мережі енергосистеми напругою 10, 35 або 150 кВ. Проте приєднання підприємства до мережі 150 кВ є недоцільним через відносно невелику величину електричних навантажень, що не забезпечує економічної ефективності застосування даного класу напруги. Тому подальший вибір раціональної схеми зовнішнього електропостачання здійснюється шляхом порівняння двох можливих варіантів – із живленням від мереж напругою 10 кВ та 35 кВ. Розглянуті варіанти наведено на рис. 5.1.

Варіант №1. Живлення виконується напругою 10 кВ (рис 5.1.а).

Розрахунковий струм в лінії:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3}U_H} = \frac{3806,9}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 209,3 \text{ А.}$$

Площа перерізу кабельної лінії:

$$F_{\text{ж}} = \frac{I_p}{j_{\text{ж}}} = \frac{209,3}{1,4} = 149,6 \text{ мм}^2,$$

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

						Арк.
						30

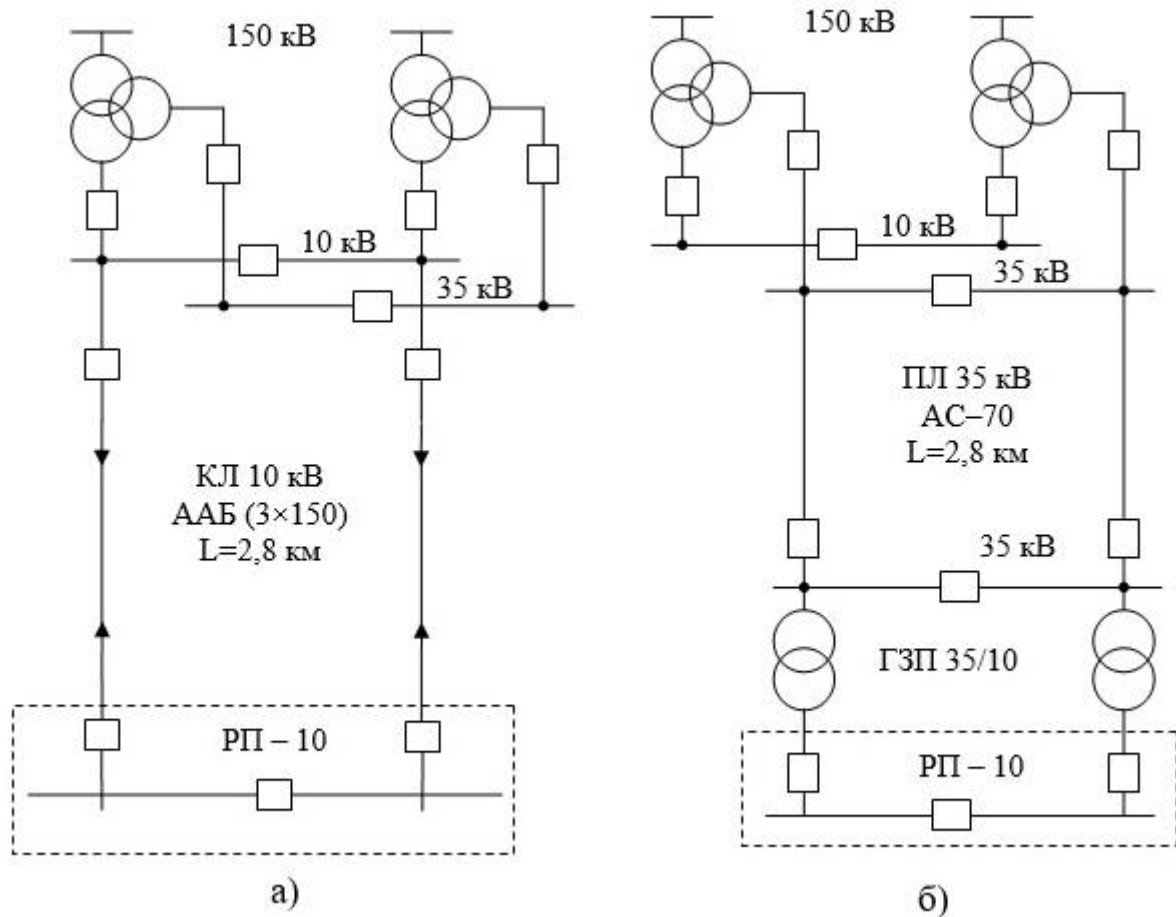


Рис. 5.1. Схеми зовнішнього електропостачання комбикормового заводу.

Для передачі електричної енергії приймаємо до прокладання дві кабельні лінії з площею перерізу жил 150 мм² кожна. Як кабельну продукцію обрано кабель марки ААБ (3×150), який характеризується допустимим тривалим струмовим навантаженням $I_d = 275\text{А}$, втратами потужності на 1 км лінії $\Delta P_{\text{1км}} = 56\text{ кВт}$ та вартістю 1 км кабелю $K_0 = 3,83 \cdot 12 = 45,96\text{ тис.грн}$. Перевірку правильності вибору кабельних ліній виконуємо за умовою допустимого струмового навантаження. Завантаження кабелю в нормальному режимі роботи визначається за таким виразом:

$$K_3 = \frac{I_p}{2I_d} = \frac{209,3}{2 \cdot 275} = 0,381.$$

В разі виходу з ладу однієї з кабельних ліній живлення навантаження забезпечується другою лінією, яка допускає роботу в режимі аварійного перевантаження. При цьому допустимий струм лінії становить:

$$I = I_d \cdot K_{\text{АП}} \cdot K_{\text{пр}} \cdot N = 275 \cdot 1,3 \cdot 0,9 \cdot 1 = 321,75 \text{ А},$$

де $K_{\text{ав}}$ – коефіцієнт допустимого аварійного перевантаження, а $K_{\text{пр}}$ – коефіцієнт умов прокладання кабелю.

Проведена перевірка показала, що в після аварійному режимі струмове навантаження не перевищує допустимого значення, тому надійність електропостачання підприємства забезпечується навіть при відключенні однієї з ліній.

Після вибору кабельної лінії визначаємо втрати активної потужності ΔP та втрати електричної енергії ΔW в лінії електропередачі:

$$\Delta P_{\text{л}} = \Delta P_{\text{ІКМ}} I_{\Sigma}^2 K_3^2 = 56 \cdot 5,6 \cdot 0,381^2 = 45,52 \text{ кВт},$$

де I_{Σ} – сумарна довжина кабелю. ($I_{\Sigma} = 2l = 2 \cdot 2,8 = 5,6$ км, де $l = 2,8$ км – відстань від п/ст до підприємства).

$$\Delta W = \Delta P_{\text{л}} \tau = 45,52 \cdot 3206 = 145945 \text{ кВт} \cdot \text{год},$$

де τ – час використання максимального навантаження (визначено в розділі 3 даного проекту).

Вартість втрат енергії:

$$C_{\text{втр}} = \Delta W C_0 = 145945 \cdot 10 = 1459,45 \text{ тис. грн.}$$

Варіант №2. Живлення здійснюється напругою 35 кВ (рис 5.1.6).

Розрахунковий струм в лінії:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} U_H} = \frac{3806,9}{\sqrt{3} \cdot 35} = 62,8 \text{ А}.$$

Площа перерізу проводів повітряної лінії:

$$F_{\text{л}} = \frac{I_p}{j_{\text{л}}} = \frac{62,8}{1,1} = 57 \text{ мм}^2.$$

Для зовнішнього електропостачання підприємства приймається дволанцюгова повітряна лінія електропередачі з проводами марки АС перерізом 70 мм². Основні технічні параметри одного ланцюга лінії становлять: питомі втрати потужності $\Delta P_{\text{ІКМ}} = 125$ кВт/км, допустимий тривалий струм $I_d = 265$ А, вартість спорудження $K_0 = 10,7 \cdot 12 = 128,4$ тис. грн/км.

						Арк.
						32

Завантаження лінії в нормальному режимі:

$$K_3 = \frac{I_p}{2I_d} = \frac{62,8}{2 \cdot 265} = 0,118.$$

На головній знижувальній підстанції передбачається встановлення двох силових трансформаторів типу ТМН номінальною потужністю $S_H = 4000$ кВА кожний, з номінальною напругою 35/10 кВ. Перевірку правильності вибору потужності трансформаторів виконуємо шляхом визначення коефіцієнта їх завантаження в нормальному режимі роботи. За умови паралельної роботи двох трансформаторів навантаження кожного з них становить:

$$K_3 = \frac{S_p}{2S_H} = \frac{3806,9}{2 \cdot 4000} = 0,476.$$

В разі аварійного відключення одного з трансформаторів живлення споживачів забезпечується другим трансформатором, який працює в режимі допустимого аварійного перевантаження. При цьому потужність трансформатора, що залишається в роботі, є достатньою для передачі розрахункового навантаження підприємства без порушення вимог щодо надійності електропостачання:

$$S = 1,4S_H = 1,4 \cdot 4000 = 5600 \text{ кВА} > 3806,9 \text{ кВА}.$$

Втрати потужності і енергії в лінії:

$$\Delta P_{\text{Л}} = \Delta P_{\text{ІКМ}} I_{\Sigma}^2 K_3^2 = 125 \cdot 5,6 \cdot 0,118^2 = 9,75 \text{ кВт},$$

$$\Delta W_{\text{Л}} = \Delta P_{\text{Л}} \tau = 9,75 \cdot 3206 = 31248 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Втрати енергії в трансформаторі:

$$\Delta W_{\text{ТР}} = 2(\Delta P_X t_{\text{вкл}} + \Delta P_K K_3^2 \tau) = 2(5,6 \cdot 8760 + 33,5 \cdot 3206 \cdot 0,476^2) = 146781 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Сумарні втрати:

$$\Delta W = \Delta W_{\text{Л}} + \Delta W_{\text{ТР}} = 31248 + 146781 = 178029 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Вартість втрат:

$$C_{\text{ВТР}} = \Delta W C_O = 178029 \cdot 8,5 = 1513,25 \text{ тис. грн.}$$

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

						Арк.
						33

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	5,6	45,96	257,4
	Траншея	км	2,8	23,64	66,2
Всього					383,6
II	ЛЕП 35 кВ на З/Б опорах	км	2,8	128,4	359,52
	КТБП 35/10 кВ	Комплект	1	1901,28	1901,28
Всього					2260,8

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	323,6	5	16,18	2	6,5	22,68
	Шафи КРУ з вимикачами	60	15	9	3	1,8	10,8
Всього							33,48
II	ЛЕП 35 кВ	359,52	5	17,98	0,14	0,5	18,48
	КТБП 35/10 кВ	1901,28	15	285,19	3	57,04	342,23
Всього							360,71

Оцінювання ймовірних економічних збитків підприємства внаслідок порушення безперервності електропостачання.

ВАРІАНТ №1.

Розрахункова схема одного ланцюга живлення містить вимикач 10 кВ і кабельну лінію довжиною 2,8 км

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i = 0,01 + 2,8 \cdot 0,08 = 0,234 \frac{1}{\text{рік}}.$$

Середній час відновлення одного ланцюга

$$T_B = \frac{\sum \lambda_i \cdot T_{B_i}}{\lambda} = \frac{0,01 \cdot 1,1 \cdot 10^{-3} + 0,224 \cdot 7 \cdot 10^{-3}}{0,234} = 6,75 \cdot 10^{-3} \frac{\text{год}}{\text{рік}}.$$

Коефіцієнт планового простою одного ланцюга

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

Коефіцієнт аварійного простою одного ланцюга

						Арк.
						34

$$K_a = \lambda \cdot T_B = 0,224 \cdot 6,75 \cdot 10^{-3} = 1,512 \cdot 10^{-3}.$$

Коефіцієнт аварійного простою визначається для режиму, за якого один із ланцюгів електричної мережі перебуває в плановому ремонті, а другий виходить з ладу через пошкодження, що призводить до повного припинення електропостачання споживачів.

$$K_{ап} = 0,5 \cdot \lambda \cdot K_{п}^2 = 0,5 \cdot 0,234 \cdot (2,4 \cdot 10^{-3})^2 = 0,67 \cdot 10^{-6}.$$

Коефіцієнт аварійного простою двох ліній

$$K_a^{(2)} = K_a^2 + 2 \cdot K_{ап} = (1,512 \cdot 10^{-3})^2 + 2 \cdot 0,67 \cdot 10^{-6} = 3,63 \cdot 10^{-6}.$$

Середньорічний час аварійного простою

$$T_a = K_a^{(2)} \cdot 8760 = 3,63 \cdot 10^{-6} \cdot 8760 = 0,032 \text{ год.}$$

Середньорічне активне навантаження підприємства

$$P_{cp} = \frac{3806,9 \cdot 4596}{8760} = 1997 \text{ кВт.}$$

Збиток від аварійного недовипуску 1 кВт·год електроенергії при $Y_o = 7,49$ грн. становить

$$Y = Y_o \cdot P_{cp} \cdot T_a = 7,49 \cdot 1997 \cdot 0,032 = 0,479 \text{ тис.грн.}$$

ВАРІАНТ №2.

Розрахункова схема одного ланцюга живлення містить повітряну лінію 35 кВ довжиною 2,8 км, вимикач 35 кВ і трансформатор 35/10 кВ.

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i = 0,011 \cdot 2,8 + 0,01 + 0,01 = 0,0508 \frac{1}{\text{рік}}.$$

Середній час відновлення одного ланцюга

$$T_B = \frac{\sum \lambda_i \cdot T_{B_i}}{\lambda} = \frac{0,0308 \cdot 0,8 \cdot 10^{-3} + 0,01 \cdot 1,3 \cdot 10^{-3} + 0,01 \cdot 45 \cdot 10^{-3}}{0,0508} = 9,6 \cdot 10^{-3} \frac{\text{год}}{\text{рік}}.$$

Коефіцієнт планового простою одного ланцюга

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

Коефіцієнт аварійного простою одного ланцюга

$$K_a = \lambda \cdot T_B = 0,0508 \cdot 9,6 \cdot 10^{-3} = 0,49 \cdot 10^{-3}.$$

Коефіцієнт аварійного простою

$$K_{ап} = 0,5 \cdot \lambda \cdot K_{п}^2 = 0,5 \cdot 0,0508 \cdot (7,2 \cdot 10^{-3})^2 = 1,316 \cdot 10^{-6}.$$

						Арк.
						35

Коефіцієнт аварійного простою двох ліній

$$K^{(2)}_a = K^2_a + 2 \cdot K_{ап} = (0,49 \cdot 10^{-3})^2 + 2 \cdot 1,316 \cdot 10^{-6} = 2,87 \cdot 10^{-6}.$$

Середньорічний час аварійного простою

$$T_a = K^{(2)}_a \cdot 8760 = 2,87 \cdot 10^{-6} \cdot 8760 = 0,0252 \text{ год.}$$

Збиток від аварійного недовипуску 1 кВт·год електроенергії становить

$$Y = Y_o \cdot P_{cp} \cdot T_a = 7,49 \cdot 1997 \cdot 0,0252 = 0,377 \text{ тис. грн.}$$

Таблиця 5.1.3. Техніко-економічні показники по варіантам.

№ п/п	Показники	Варіант схеми	
		1	2
1	Капітальні вкладення, тис.грн.	383,6	2260,8
2	Поточні витрати, тис.грн.	33,48	360,71
3	Вартість втрат електроенергії, тис.грн.	1459,45	1513,25
4	Збиток, тис.грн.	0,479	0,377
	Зведені витрати, тис.грн.	1539,44	2145,63

Проведені розрахунки техніко-економічного аналізу показали перевагу варіанта I за основними економічними критеріями. Тому саме цей варіант зовнішнього електропостачання приймається як найбільш раціональний для даного підприємства та використовується в подальших розрахунках.

5.2 Техніко-економічне обґрунтування схем внутрішнього електропостачання комбикормового заводу.

У внутрішній системі електропостачання комбикормового заводу для розподілу електроенергії між трансформаторними підстанціями приймається напруга 10 кВ.

Живлення силових електроприймачів та освітлювальних установок здійснюється від трифазної мережі напругою 380/220 В, яка є найбільш поширеною для промислових підприємств. Застосування цього рівня напруги забезпечує ефективне електропостачання як технологічного обладнання значної потужності, так і систем робочого та аварійного освітлення.

Розподіл електричної енергії на території комбикормового заводу може здійснюватися за радіальними, магістральними або комбінованими схемами. Вибір конкретної схеми визначається планувальними особливостями підприємства, характером і величиною електричних навантажень, вимогами до надійності електропостачання, а також техніко-економічними показниками проєктованої системи. Залежно від структури мережі живлення може бути організоване за одно- або двоступеневою схемою.

Радіальні схеми електропостачання доцільно застосовувати для живлення окремих потужних електроприймачів або груп споживачів, розташованих на значній відстані один від одного. До переваг таких схем належать простота виконання, зручність експлуатації та висока надійність роботи завдяки незалежному живленню кожного споживача.

Магістральні схеми найбільш ефективні у випадках, коли електроприймачі розміщені послідовно вздовж виробничої лінії або об'єднані єдиним технологічним процесом. Їх використання дозволяє скоротити довжину кабельних ліній, зменшити капітальні витрати на електрообладнання та спростити монтаж і подальшу експлуатацію мережі.

На промислових підприємствах зі складною структурою електричних навантажень найчастіше застосовують комбіновані схеми електропостачання, які поєднують переваги радіальних і магістральних мереж. Такі схеми забезпечують необхідний рівень надійності, можливість резервування окремих ділянок мережі та створюють умови для подальшого розвитку й модернізації виробничих потужностей підприємства.

6. Режими реактивної потужності системи електропостачання комбикормового заводу

6.1 Розрахунок балансу реактивної потужності та вибір компенсуючих пристроїв комбикормового заводу

Визначення балансу реактивної потужності комбикормового заводу здійснюється за методикою розрахунку, викладеною в літературних джерелах [1–4]. У зв'язку з тим, що зазначена методика є загальновідомою та детально описаною в спеціалізованій літературі, у даному розділі наводяться лише основні результати розрахунків.

Підсумкове навантаження на шинах 10 кВ складається з навантаження 0,4 кВ та втрат в трансформаторах ТП:

$$P_p = P_n + \Delta P_{тр} + P_v = 3715 + 53,79 + 0 = 3768,8 \text{ кВт},$$

$$Q_p = Q_n + \Delta Q_{тр} + Q_v = 2769,1 + 265,5 + 0 = 3034,6 \text{ квар.}$$

Величина економічно обґрунтованої реактивної потужності, що допускається до передачі споживачам згідно з технічними умовами енергопостачальної організації, розраховується за наступною залежністю:

$$Q_e = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi_e = 3768,8 \cdot 0,15 = 565,3 \text{ квар.}$$

Виходячи з балансу реактивної потужності на межі розмежування електричних мереж споживача та енергосистеми, визначається загальна встановлена потужність компенсуювальних пристроїв, яка повинна забезпечити досягнення нормативного коефіцієнта потужності та зменшення перетоків реактивної потужності з мережі енергосистеми:

$$Q_{кп\Sigma} = Q_p - Q_e = 3034,6 - 565,3 = 2469,3 \text{ квар}$$

Мінімально можлива кількість трансформаторів:

$$N_0 = \frac{P_n}{K_3 \cdot S_{Т.Н}} = \frac{3715}{0,7 \cdot 630} = 8,4 \approx 9.$$

Розглянемо три варіанти компенсації реактивної потужності при кількості трансформаторів: $N = N_0$; $N = N_0 + 1$; $N = N_0 + 2$.

Варіант I $N = N_0 = 9$.

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

$$Q_{\Pi} = \sqrt{(N \cdot K_3 \cdot S_{\text{н.т.}})^2 - P_{\text{н}}^2} = \sqrt{(9 \cdot 0,7 \cdot 630)^2 - 3715^2} = 1397 \text{ квар.}$$

Потужність компенсуючих пристроїв, що встановлюються в мережі до 1000 В визначаємо з умов балансу реактивної потужності на шинах ТП:

$$Q_{\text{кн}} = Q_{\text{н}} - Q_{\Pi} = 2769,1 - 1397 = 1372,1 \text{ квар.}$$

Приймаємо стандартну потужність комплектних конденсаторних батарей $Q_{\text{кн}} = 1597$ квар, згідно з табл. 6.2.

Уточнюємо значення Q_{Π} :

$$Q_{\Pi} = Q_{\text{н}} - Q_{\text{кн}} = 2769,1 - 1597 = 1172,1 \text{ квар.}$$

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

$$Q_{\text{кв}} = Q_{\text{р}} - Q_{\text{кн}} - Q_{\text{е}} = 3034,6 - 1597 - 565,3 = 872,3 \text{ квар.}$$

Приймаємо до встановлення стандартну потужність: $Q_{\text{кв}} = 900$ квар.

Уточнюємо значення $Q_{\text{е}}$:

$$Q_{\text{е}} = Q_{\text{р}} - Q_{\text{кн}} - Q_{\text{кв}} = 3034,6 - 1597 - 900 = 537,6 \text{ квар.}$$

Втрати потужності в низьковольтних та високовольтних батареях конденсаторів:

$$\Delta P_{\text{кн}} = \Delta P_{\text{пит}}^{\text{кн}} \cdot Q_{\text{кн}} = 0,0045 \cdot 1597 = 7,2 \text{ кВт,}$$

$$\Delta P_{\text{кв}} = \Delta P_{\text{пит}}^{\text{кв}} \cdot Q_{\text{кв}} = 0,0025 \cdot 900 = 2,25 \text{ кВт.}$$

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, зумовлені передачею реактивної потужності через силові трансформатори, визначаються за такою залежністю:

$$\Delta P_{\text{тп}} = \frac{Q_{\Pi}^2}{U_{\text{н}}^2} \cdot R'_{\text{ек}} = \frac{1172,1^2}{10^2} \cdot 0,0002128 = 2,92 \text{ кВт,}$$

$$\text{де } R'_{\text{ек}} = \frac{\Delta P_{\text{к}} \cdot U_{\text{н}}^2}{N \cdot S_{\text{т.н}}^2} = \frac{7,6 \cdot 10^2}{9 \cdot 630^2} = 0,0002128 \text{ кОм.}$$

Вартість низьковольтних та високовольтних конденсаторних батарей:

$$K_{KH} = \sum_{i=1}^n N_{KH_i} \cdot K_{KKY0,4i} = 2 \cdot 11741 + 2 \cdot 7612 + 5 \cdot 7022 = 244067 \text{ грн.}$$

де 11741 грн. – вартість комплектної конденсаторної установки 300 квар;

7612 грн. – вартість комплектної конденсаторної установки 166 квар;

7022 грн. – вартість комплектної конденсаторної установки 133 квар.

$$K_{KB} = \sum_{i=1}^n N_{KB_i} \cdot K_{KKY10i} = 2 \cdot 11292 = 22584 \text{ грн.}$$

де 11292 грн. – вартість комплектної конденсаторної установки 450 квар;

N_{KH} ; N_{KB} – кількість комплектних конденсаторних установок.

Вартість КТП:

$$K_{KTP} = N_{KTP-1} \cdot K_{KTP-1} + N_{KTP-2} \cdot K_{KTP-2} = 1 \cdot 157680 + 4 \cdot 305640 = 1380240 \text{ грн.,}$$

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:

$$\begin{aligned} Z &= E_H \cdot (K_{KH} + K_{KB} + K_{KTP}) + (\Delta P_{KH} + \Delta P_{KB} + \Delta P_{KTP}) \cdot C_0 \cdot \tau = \\ &= 0,12 \cdot (244067 + 22584 + 1380240) + (7,2 + 2,25 + 2,92) \cdot 10 \cdot 3206 = 594209 \text{ грн.} \end{aligned}$$

Варіант II $N = N_0 + 1 = 10$

$$Q_{II} = \sqrt{(N \cdot K_3 \cdot S_{H.T.})^2 - P_H^2} = \sqrt{(10 \cdot 0,7 \cdot 630)^2 - 3715^2} = 2376 \text{ квар,}$$

$$Q_{KH} = Q_H - Q_{II} = 2769,1 - 2376 = 393,1 \text{ квар.}$$

Приймаємо стандартну потужність комплектних конденсаторних батарей $Q_{KH} = 997$ квар, згідно з Табл. 6.2.

Уточнюємо значення Q_{II} :

$$Q_{II} = Q_H - Q_{KH} = 2769,1 - 997 = 1772,1 \text{ квар,}$$

$$Q_{KB} = Q_p - Q_{KH} - Q_e = 3034,6 - 997 - 565,3 = 1472,3 \text{ квар.}$$

Приймаємо до встановлення стандартну потужність: $Q_{KB} = 1800$ квар.

$$Q_e = Q_p - Q_{KH} - Q_{KB} = 3034,6 - 997 - 1800 = 237,6 \text{ квар,}$$

$$\Delta P_{KH} = \Delta P_{ПИТ}^{KH} \cdot Q_{KH} = 0,0045 \cdot 997 = 4,49 \text{ кВт,}$$

$$\Delta P_{KB} = \Delta P_{ПИТ}^{KB} \cdot Q_{KB} = 0,0025 \cdot 1800 = 4,5 \text{ кВт,}$$

						Арк.
						40

$$\Delta P_{\text{ТП}} = \frac{Q_{\text{П}}^2}{U_{\text{Н}}^2} \cdot R'_{\text{ЕК}} = \frac{1772,1^2}{10^2} \cdot 0,0001915 = 6,01 \text{ кВт},$$

$$\text{де } R'_{\text{ЕК}} = \frac{\Delta P_{\text{К}} \cdot U_{\text{Н}}^2}{N \cdot S_{\text{Т.Н}}^2} = \frac{7,6 \cdot 10^2}{10 \cdot 630^2} = 0,0001915 \text{ кОм},$$

$$K_{\text{КН}} = \sum_{i=1}^n N_{\text{КН}i} \cdot K_{\text{ККУ}0,4i} = 2 \cdot 7612 + 5 \cdot 7022 = 50334 \text{ грн.},$$

$$K_{\text{КВ}} = \sum_{i=1}^n N_{\text{КВ}i} \cdot K_{\text{ККУ}10i} = 2 \cdot 16849 = 33698 \text{ грн.},$$

де 16849 грн. – вартість комплектної конденсаторної установки 900 квар.

$$K_{\text{КТП}} = N_{\text{КТП-1}} \cdot K_{\text{КТП-1}} + N_{\text{КТП-2}} \cdot K_{\text{КТП-2}} = 2 \cdot 157680 + 4 \cdot 305640 = 1537920 \text{ грн.}$$

$$З = 0,12 \cdot (50334 + 33698 + 1537920) + (4,49 + 4,5 + 6,01) \cdot 10 \cdot 3206 = 675534 \text{ грн.}$$

Варіант III $N = N_0 + 2 = 11$.

$$Q_{\text{П}} = \sqrt{(N \cdot K_3 \cdot S_{\text{Н.Т.}})^2 - P_{\text{Н}}^2} = \sqrt{(11 \cdot 0,7 \cdot 630)^2 - 3715^2} = 3119 \text{ квар},$$

$$Q_{\text{КН}} = Q_{\text{Н}} - Q_{\text{П}} = 2769,1 - 3119 = -349,9 \text{ квар}.$$

Приймаємо стандартну потужність комплектних конденсаторних батарей

$Q_{\text{КН}} = 465 \text{ квар}$, згідно з Табл. 6.2.

Уточнюємо значення $Q_{\text{П}}$:

$$Q_{\text{П}} = Q_{\text{Н}} - Q_{\text{КН}} = 2769,1 - 465 = 2304,1 \text{ квар},$$

$$Q_{\text{КВ}} = Q_{\text{р}} - Q_{\text{КН}} - Q_{\text{с}} = 3034,6 - 465 - 565,3 = 2004,3 \text{ квар}.$$

Приймаємо до встановлення стандартну потужність: $Q_{\text{КВ}} = 2250 \text{ квар}$.

$$Q_{\text{с}} = Q_{\text{р}} - Q_{\text{КН}} - Q_{\text{КВ}} = 3034,6 - 465 - 2250 = 319,6 \text{ квар},$$

$$\Delta P_{\text{КН}} = \Delta P_{\text{ПІТ}}^{\text{КН}} \cdot Q_{\text{КН}} = 0,0045 \cdot 465 = 2,09 \text{ кВт},$$

$$\Delta P_{\text{КВ}} = \Delta P_{\text{ПІТ}}^{\text{КВ}} \cdot Q_{\text{КВ}} = 0,0025 \cdot 2250 = 5,625 \text{ кВт},$$

$$\Delta P_{\text{ТП}} = \frac{Q_{\text{П}}^2}{U_{\text{Н}}^2} \cdot R'_{\text{ЕК}} = \frac{2304,1^2}{10^2} \cdot 0,0001741 = 9,24 \text{ кВт},$$

$$\text{де } R'_{\text{ЕК}} = \frac{\Delta P_{\text{К}} \cdot U_{\text{Н}}^2}{N \cdot S_{\text{Т.Н}}^2} = \frac{7,6 \cdot 10^2}{11 \cdot 630^2} = 0,0001741 \text{ кОм},$$

$$K_{\text{КН}} = \sum_{i=1}^n N_{\text{КН}i} \cdot K_{\text{ККУ}0,4i} = 2 \cdot 7612 + 1 \cdot 7022 = 22246 \text{ грн.}$$

						Арк.
						41

$$K_{KB} = \sum_{i=1}^n N_{KBi} \cdot K_{KBV10i} = 2 \cdot 16849 + 1 \cdot 11292 = 44990 \text{ грн.}$$

$$K_{KTP} = N_{KTP-1} \cdot K_{KTP-1} + N_{KTP-2} \cdot K_{KTP-2} = 3 \cdot 157680 + 4 \cdot 305640 = 1695600 \text{ грн.}$$

$$З = 0,12 \cdot (22246 + 44990 + 1695600) + (2,09 + 5,625 + 9,24) \cdot 10 \cdot 3206 = 755118 \text{ грн.}$$

Розрахунок балансу реактивної потужності по варіантам приведений в Табл. 6.1.

Таблиця 6.1. Баланс реактивної потужності.

№ ТП	Показники	Варіант		
		I	II	III
1	КП до 1000 В, квар	1597	997	465
2	КП 10 кВ, квар	900	1800	2250
3	Реактивна потужність з енергосистеми, квар	537,6	237,6	319,6
4	Всього по балансу, квар	3034,6	3034,6	3034,6

На підставі виконаних техніко-економічних розрахунків визначено, що приведені витрати для кожного з трьох розглянутих варіантів компенсації реактивної потужності становлять відповідно:

$$З_1 = 594209 \text{ грн.}; З_2 = 675534 \text{ грн.}; З_3 = 755118 \text{ грн.}$$

Остаточно приймаємо варіант I.

6.2 Вибір кількості та місць розташування компенсуючих пристроїв комбікормового заводу.

Для варіантів $N = N_0$; $N = N_0 + 1$ та $N = N_0 + 2$ визначаються величини реактивної потужності, що може бути передана через трансформатори трансформаторних підстанцій до мережі 0,4 кВ, а також необхідна потужність компенсувальних пристроїв, які підлягають встановленню на кожній підстанції.

Оскільки ефективність компенсації реактивної потужності залежить від режимів роботи електроприймачів, структури навантажень, параметрів мережі та

						Арк.
						43

7. Вибір кількості, потужності трансформаторів підстанцій комбікормового заводу

Кількість, номінальна потужність і місця встановлення трансформаторів цехових трансформаторних підстанцій визначаються на основі аналізу електричних навантажень підприємства, категорії електроприймачів за надійністю електропостачання, вимог до безперебійної роботи технологічного обладнання та умов компенсації реактивної потужності.

Вибір одиничної потужності трансформаторів здійснюється з урахуванням питомої щільності навантажень, допустимих режимів перевантаження, перспектив розвитку підприємства та необхідності скорочення номенклатури резервного обладнання. Такий підхід сприяє підвищенню експлуатаційної надійності системи електропостачання та зниженню витрат на технічне обслуговування.

В проєкті прийнято до встановлення комплектні трансформаторні підстанції (КТП), оснащені трансформаторами номінальною потужністю 630 кВА. Результати вибору типу підстанцій, їх кількості та місць розташування наведено в табл. 7.1.

Таблиця 7.1. Вибір кількості, потужності трансформаторів комбікормового заводу та їх місця розташування

n/n	Тип ТП	S _p	K _з	K ^{ав} _з	Тип трансформатору	Місце встановлення	Вид розміщення
1	КТП-2×630	877,02	0,70	1,4	ТМ-630	—	Окремо розташована
2	КТП-2×630	880,03	0,70	1,4	ТМ-630	Котельня	Вбудована
3	КТП-1×630	439,09	0,70	—	ТМ-630	Склад №5	Вбудована
4	КТП-2×630	881,82	0,70	1,4	ТМ-630	Цех виготовлення комбікормів	Вбудована
5	КТП-2×630	881,82	0,70	1,4	ТМ-630	Цех виготовлення комбікормів	Вбудована

8. Розрахунок струмів коротких замкнень та вибір високовольтного обладнання і мереж комбікормового заводу

Розрахунок струмів короткого замикання виконується в іменованих одиницях відповідно до методики, наведеної в джерелах [1–3]. Для визначення струмів короткого замикання в системі електропостачання комбикормового заводу попередньо складається розрахункова схема електричної мережі, яка наведена на рис. 8.1. На її основі формується схема заміщення, призначена для виконання подальших розрахунків параметрів аварійних режимів, що наведена на рис. 8.2.

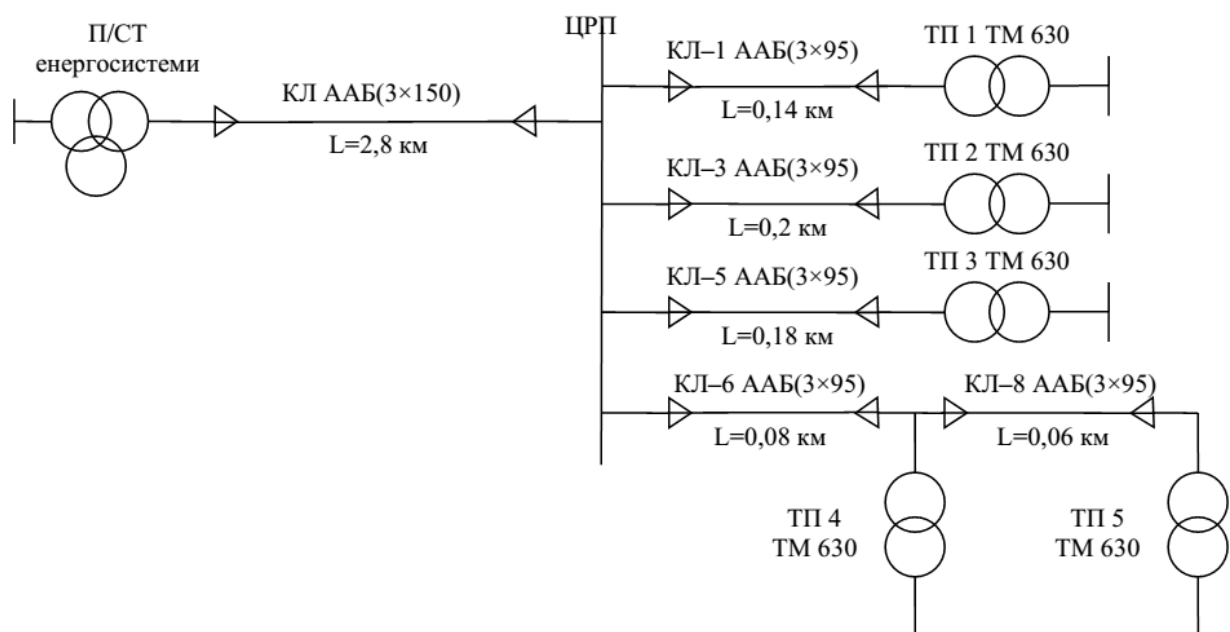


Рис 8.1 Розрахункова схема ЦРП для розрахунку струмів к. з.

Розрахуємо опори елементів схеми заміщення:

– для трансформатора ТМ 630

$$R = \frac{P_{K3} U_H^2}{S_H^2} = \frac{7,6 \cdot 10^2}{630^2} = 1,915 \text{ OM}, \quad Z = \frac{U_K \% U_H^2}{S_H} = \frac{5,5 \cdot 10^2}{630} = 8,73 \text{ OM},$$

$$X = \sqrt{Z^2 - R^2} = \sqrt{8,73^2 - 1,915^2} = 8,517 \text{ OM},$$

– для КЛ від п/ст до ЦРП

$$X = \frac{x_0 l}{n} = \frac{0,079 \cdot 2,8}{1} = 0,221 \text{ O}_M, R = \frac{r_0 l}{n} = \frac{0,206 \cdot 2,8}{1} = 0,577 \text{ O}_M.$$

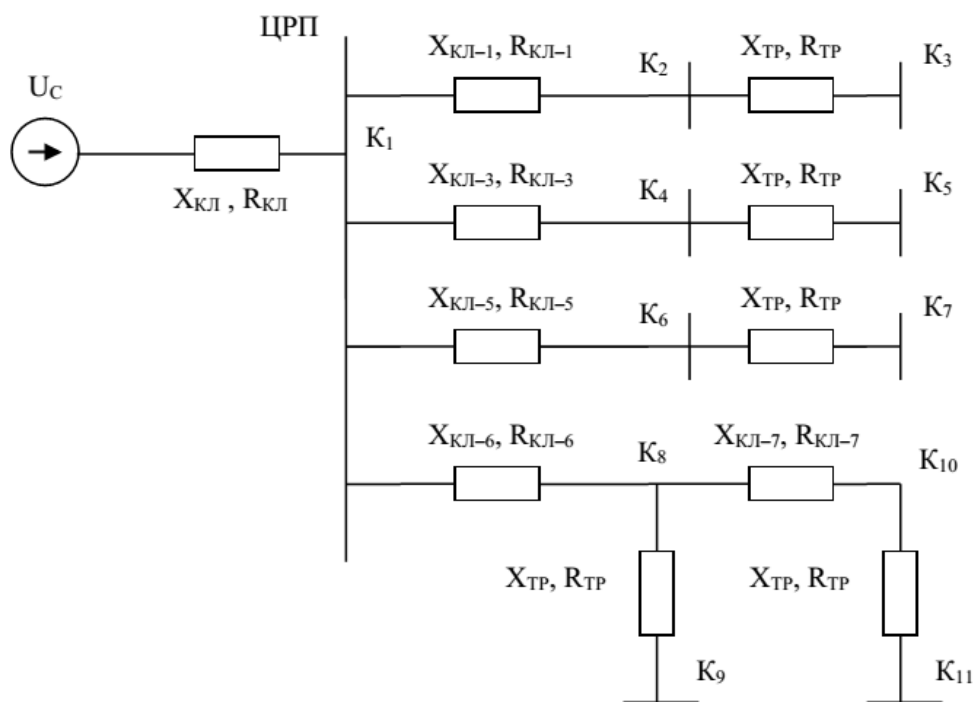


Рис 8.2 Схема заміщення ЦРП для розрахунку струмів к. з.

– для КЛ від ЦРП до ТП 1

$$X = x_0 l = 0,083 \cdot 0,14 = 0,012 \text{ Ом},$$

$$R = r_0 l = 0,326 \cdot 0,14 = 0,046 \text{ Ом}.$$

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	0,14	0,046	0,012
КЛ2	0,14	0,046	0,012
КЛ3	0,2	0,065	0,017
КЛ4	0,2	0,065	0,017
КЛ5	0,18	0,059	0,015
КЛ6	0,08	0,026	0,007
КЛ7	0,08	0,026	0,007
КЛ8	0,06	0,020	0,005
КЛ9	0,06	0,020	0,005

Розрахуємо струм к.з. в т. К1.

$$I'' = \frac{U}{\sqrt{3}z_{\text{рез}}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 0,618} = 9,81 \text{ кА},$$

$$R_{\text{екв}} = R_{\text{КЛ}} = 0,577 \text{ Ом},$$

$$X_{\text{екв}} = X_{\text{КЛ}} = 0,221 \text{ Ом},$$

$$Z_{\text{екв}} = \sqrt{X_{\text{екв}}^2 + R_{\text{екв}}^2} = \sqrt{0,221^2 + 0,577^2} = 0,618 \text{ Ом}.$$

Ударний струм к. з. від системи

$$i_y = \sqrt{2}I''(1 + e^{\frac{-0,01}{T_a}}) = \sqrt{2} \cdot 9,81(1 + e^{\frac{-0,01}{0,00122}}) = 13,88 \text{ кА},$$

$$T_a = \frac{X_{\text{екв}}}{\omega \cdot R_{\text{екв}}} = \frac{0,221}{314 \cdot 0,577} = 0,00122 \text{ 1/с}.$$

Розрахунки струмів короткого замкнення для інших точок подібні результати розрахунку зведені 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	0,221	0,577	9,81	0,00122	13,88
2	0,233	0,623	9,114	0,00119	12,892
3	8,753	2,533	16,632	0,011	33,002
4	0,238	0,642	8,854	0,00118	12,524
5	8,758	2,552	16,614	0,011	32,906
6	0,236	0,636	8,936	0,00118	12,641
7	8,756	2,546	16,62	0,011	32,937
8	0,228	0,603	9,404	0,0012	13,302
9	8,748	2,513	16,651	0,011	33,103
10	0,233	0,623	8,68	0,00119	12,278
11	8,753	2,533	15,84	0,011	31,43

Вибір електричного обладнання

Вибір кабелів напругою 10 кВ для високовольтної мережі комбікормового заводу.

Виберемо кабель для лінії КЛ-1 від ЦРП до ТП №1.

Площа поперечного перерізу кабелю:

$$F_e = \frac{I_p}{J_{\text{ек}}} = \frac{26,1}{1,4} = 19 \text{ мм}^2,$$

$$\text{де } I_p = \frac{S_p}{n\sqrt{3}U_n} = \frac{902,8}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 26,1 \text{ А},$$

					Арк.
					47

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
209,3 А	$I_{роб\ форс} \leq I_{ном}$	1000 А
9,81 кА	$I_K \leq I_{дин}$	52 кА
13,88 кА	$i_y \leq 1,8\sqrt{2}I_{дин}$	132 кА
9,81 кА	$I_{пт} \leq I_{ном\ відкл}$	20 кА
$\sqrt{2} \cdot 9,81 + 0,003 = 13,88\text{кА}$	$\sqrt{2}I_{номт} + i_{ат} \leq \sqrt{2}I_{н\ відкл} (1 + \beta_n)$	$\sqrt{2} \cdot 20 \cdot (1 + 0,5) = 42,426\text{кА}$
$B_K = 9,81^2(1,5 + 0,045) = 149\text{кА}^2\text{с}$	$B_K \leq I_{тер}^2 t_{тер}$	$I_{тер}^2 t_{тер} = 20^2 \cdot 3 = 1200\text{кА}^2\text{с}$

$$i_{ат} = \sqrt{2}I''e^{-\frac{\tau}{T_a}} = \sqrt{2} \cdot 9,81e^{-\frac{0,01}{0,00122}} = 0,003\text{ кА}$$

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

Параметри мережі	Розрахункові формули	Параметри вимикача
10 кВ	$U_{уст} \leq U_{ном}$	10 кВ
53,0 А	$I_{роб\ форс} \leq I_{ном}$	1000 А
9,81 кА	$I_K \leq I_{дин}$	52 кА
13,88 кА	$i_y \leq 1,8\sqrt{2}I_{дин}$	132 кА
9,81 кА	$I_{пт} \leq I_{ном\ відкл}$	20 кА
$\sqrt{2} \cdot 9,81 + 0,003 = 13,88\text{кА}$	$\sqrt{2}I_{номт} + i_{ат} \leq \sqrt{2}I_{н\ відкл} (1 + \beta_n)$	$\sqrt{2} \cdot 20 \cdot (1 + 0,5) = 42,426\text{кА}$
$B_K = 9,81^2(1,5 + 0,045) = 149\text{кА}^2\text{с}$	$B_K \leq I_{тер}^2 t_{тер}$	$I_{тер}^2 t_{тер} = 20^2 \cdot 3 = 1200\text{кА}^2\text{с}$

Вибір вимикачів навантаження.

Вибір вимикачів навантаження здійснюється за номінальною напругою та струмом, а також за граничним струмом відключення в робочих режимах. Перевірка виконується на відповідність умовам термічної та електродинамічної стійкості при проходженні струмів короткого замикання.

Для застосування в проєкті обрано вимикач навантаження типу ВНП–10. Основні розрахункові та перевірочні параметри зведено в табл. 8.6.

						Арк.
						49

Таблиця 8.6. Вибір вимикачів навантаження.

Параметри мережі	Розрахункові формули	Параметри вимикача
10 кВ	$U_{уст} \leq U_{ном}$	10 кВ
50,9 А	$I_{max} \leq I_{ном}$	400 А
50,9 А	$I_{п.о.} \leq I_{пр.с.}$	400 А
9,404 кА	$I_{max} \leq I_{відк.ном}$	10 кА
13,302 кА	$i_{уд} \leq i_{дин}$	25 кА
$B_k = 9,404^2(0,5 + 0,045) = 48,2 \text{ кА}^2 \text{ с}$	$B_k \leq I_{терм}^2 t_{терм}$	$10^2 \cdot 1 = 100 \text{ кА}^2 \text{ с}$

$$I_{max} = 1,4 \frac{S_{номТР}}{\sqrt{3}U_{ном}} = 1,4 \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 10} = 50,9 \text{ А}$$

Вибір трансформаторів власних потреб.

Розрахунок навантаження трансформатора власних потреб проведено в табличному вигляді – табл. 8.7.

Таблиця 8.7. Навантаження власних потреб.

№ п/п	Споживач	Р, кВт	Q, квар
1	Обігрів кіморок КРП 10 кВ.	17×1	0
2	Навантаження яке споживають оперативні кола	2	0
Всього		19	0

Розрахункова потужність споживачів ЦРП:

$$S_{розр} = K_C \sqrt{(P_{встр}^2 + Q_{встр}^2)} = 0,8 \sqrt{19^2 + 0^2} = 15,2 \text{ кВА.}$$

Потужність трансформатора повинна задовольняти умові:

$$S_{тр} \geq \frac{S_{розр}}{1,4} = \frac{15,2}{1,4} = 10,86 \text{ кВА.}$$

Обираємо трансформатор ТМ – 25/10. Коефіцієнт завантаження в нормальному режимі:

$$K_3 = \frac{S_{розр}}{nS_{ном}} = \frac{15,2}{2 \cdot 25} = 0,304.$$

9. Спеціальний розділ.

Розробка системи електрозбереження комбікормового заводу.

Загальні фактори економії електроенергії

Ефективне використання електричної енергії є одним із ключових напрямів підвищення енергоефективності сучасних систем електропостачання. Економія електроенергії досягається за рахунок комплексу технічних, організаційних та експлуатаційних заходів, спрямованих на зниження втрат енергії на всіх етапах її виробництва, передавання, розподілу та споживання.

До основних загальних факторів, що впливають на рівень споживання електроенергії, належать:

1. Раціоналізація режимів роботи електрообладнання.

Оптимізація навантажувальних режимів дозволяє зменшити втрати потужності та підвищити коефіцієнт використання встановленої потужності. Важливим є уникнення роботи обладнання в режимах холостого ходу, а також забезпечення його роботи в діапазоні номінальних навантажень.

2. Підвищення коефіцієнта потужності.

Зменшення реактивної складової потужності шляхом компенсації реактивної енергії (встановлення конденсаторних установок або синхронних компенсаторів) дозволяє знизити струмові навантаження в мережі та відповідно втрати електроенергії в лініях і трансформаторах.

3. Зниження втрат у електричних мережах.

Втрати активної потужності в лініях електропередачі залежать від величини струму та опору провідників. Їх зменшення досягається шляхом:

- вибору оптимальних перерізів кабельних і повітряних ліній;
- скорочення довжини розподільчих мереж;
- застосування матеріалів з низьким питомим опором.

4. Використання енергоефективного обладнання.

Заміна застарілого електрообладнання на сучасні енергоощадні аналоги (двигуни класу IE3–IE4, світлодіодні джерела світла, частотні перетворювачі) дозволяє суттєво знизити питоме споживання електроенергії.

5. Автоматизація систем керування електроспоживанням.

Впровадження автоматизованих систем контролю та керування (АСУ Е) забезпечує оптимізацію графіків навантаження, відключення неактивних споживачів та регулювання режимів роботи обладнання відповідно до реальної потреби.

6. Організаційні заходи.

До них належать контроль за енергоспоживанням, впровадження енергетичного моніторингу, нормування витрат електроенергії, а також підвищення кваліфікації персоналу щодо енергоощадних технологій.

Таким чином, комплексне застосування зазначених факторів дозволяє забезпечити суттєве зниження втрат електроенергії та підвищення загальної ефективності систем електропостачання без погіршення надійності та якості електропостачання споживачів.

Технічні заходи економії електроенергії

Технічні заходи економії електроенергії є основою підвищення енергоефективності сучасних систем електропостачання. Вони спрямовані на зменшення технологічних втрат електричної енергії, підвищення коефіцієнта корисної дії електрообладнання та оптимізацію режимів його роботи. Впровадження таких заходів дозволяє суттєво скоротити витрати на електроенергію без зниження продуктивності виробничих процесів.

Одним із найбільш ефективних технічних заходів є застосування енергоощадного електрообладнання. Сучасні електродвигуни високих класів енергоефективності мають менші втрати в обмотках та магнітопроводах, що забезпечує зниження споживання електроенергії протягом усього терміну експлуатації. Особливо ефективною є заміна застарілих асинхронних двигунів на двигуни класів IE3 та IE4.

Важливим напрямом економії електроенергії є використання частотних перетворювачів для регулювання швидкості обертання електродвигунів. Традиційне регулювання продуктивності насосів, вентиляторів та компресорів за допомогою дроселювання призводить до значних втрат енергії. Частотне

регулювання дозволяє змінювати швидкість обертання двигуна відповідно до реального навантаження, забезпечуючи економію електроенергії до 30–50 %.

Значний ефект дає компенсація реактивної потужності. Реактивна потужність створює додаткові струмові навантаження в електричних мережах, збільшуючи втрати електроенергії в лініях та трансформаторах. Для її компенсації застосовують батареї статичних конденсаторів або автоматизовані конденсаторні установки, які підтримують необхідний коефіцієнт потужності в мережі.

Важливим заходом є модернізація систем освітлення. Заміна ламп розжарювання та люмінесцентних ламп на світлодіодні джерела світла забезпечує зниження споживання електроенергії на освітлення на 50–80 %. Додатковий ефект досягається завдяки використанню датчиків руху, датчиків освітленості та автоматичних систем керування освітленням.

Суттєве значення має зниження втрат електроенергії в електричних мережах. Для цього виконують заміну перевантажених ліній електропередачі, збільшують переріз провідників, оптимізують схеми електропостачання та рівномірно розподіляють навантаження між фазами. Зменшення опору мережі сприяє скороченню втрат активної потужності та підвищенню якості електроенергії.

Ефективним способом економії є впровадження автоматизованих систем контролю та обліку електроенергії. Такі системи забезпечують безперервний моніторинг параметрів електроспоживання, дозволяють своєчасно виявляти перевитрати електроенергії та приймати рішення щодо оптимізації режимів роботи обладнання.

Для трансформаторних підстанцій важливим заходом є правильний вибір кількості та потужності силових трансформаторів. Робота трансформаторів у режимах, близьких до номінальних, забезпечує мінімальні втрати електроенергії. За низького навантаження доцільним є відключення частини трансформаторів з метою зменшення втрат холостого ходу.

Таким чином, основними технічними заходами економії електроенергії є застосування енергоефективного обладнання, використання частотного

						Арк.
						53

регулювання електроприводів, компенсація реактивної потужності, модернізація систем освітлення, зниження втрат у мережах, автоматизація контролю електроспоживання та оптимізація роботи трансформаторних підстанцій. Комплексна реалізація зазначених заходів дозволяє значно підвищити енергоефективність систем електропостачання та скоротити експлуатаційні витрати.

Технологічні заходи економії електроенергії

Технологічні заходи економії електроенергії спрямовані на вдосконалення виробничих процесів, оптимізацію режимів роботи технологічного обладнання та впровадження сучасних енергоефективних технологій. На відміну від технічних заходів, які переважно пов'язані із заміною або модернізацією обладнання, технологічні заходи передбачають зміну способів виконання виробничих операцій з метою зменшення питомих витрат електроенергії на одиницю продукції або виконаної роботи.

Одним із найважливіших напрямів є оптимізація технологічних процесів. Раціональний вибір режимів роботи обладнання дозволяє зменшити тривалість виробничих циклів та скоротити непродуктивні витрати електроенергії. При цьому особлива увага приділяється забезпеченню роботи обладнання в оптимальних режимах навантаження, за яких досягається максимальний коефіцієнт корисної дії.

Суттєвий ефект забезпечує скорочення тривалості холостого ходу технологічного обладнання. Часто виробничі машини, механізми та допоміжні установки залишаються увімкненими навіть за відсутності виробничої потреби. Відключення або переведення такого обладнання в енергозберігаючий режим дозволяє значно знизити загальне електроспоживання підприємства.

Важливим технологічним заходом є впровадження автоматизованих систем керування виробничими процесами. Використання сучасних систем автоматизації забезпечує підтримання оптимальних параметрів технологічного процесу, зменшує вплив людського фактора та сприяє раціональному використанню електроенергії. Автоматичне регулювання продуктивності обладнання дозволяє

уникнути перевитрат електроенергії при зміні виробничих навантажень.

Ефективним способом економії є раціональне планування виробництва. Концентрація енергоємних операцій у певні часові періоди, вирівнювання графіків навантаження та зменшення кількості пусків і зупинок обладнання дозволяють знизити пікові навантаження на систему електропостачання та зменшити втрати електроенергії.

Одним із перспективних напрямів є використання енергозберігаючих технологій виробництва. До таких технологій належать безперервні виробничі процеси, ресурсозберігаючі методи обробки матеріалів, використання високопродуктивного обладнання та впровадження сучасних цифрових технологій керування виробництвом. Їх застосування дозволяє скоротити як прямі витрати електроенергії, так і непродуктивні втрати часу та ресурсів.

Значний потенціал енергозбереження має утилізація вторинних енергетичних ресурсів. Теплова енергія, яка утворюється в процесі роботи технологічного обладнання, може використовуватися для опалення приміщень, підігріву води або інших виробничих потреб. Це дозволяє зменшити загальне споживання енергоресурсів та підвищити ефективність функціонування підприємства.

Важливим фактором є своєчасне технічне обслуговування технологічного обладнання. Забруднення механізмів, зношення рухомих частин, погіршення контактних з'єднань та інші несправності призводять до збільшення споживання електроенергії. Регулярне проведення профілактичних робіт забезпечує підтримання обладнання в технічно справному стані та сприяє його енергоефективній роботі.

Таким чином, технологічні заходи економії електроенергії базуються на вдосконаленні виробничих процесів, оптимізації режимів роботи обладнання, автоматизації керування, впровадженні енергозберігаючих технологій та ефективному використанні вторинних енергетичних ресурсів. Їх комплексне застосування дозволяє суттєво знизити енергоємність виробництва та підвищити загальну ефективність використання електричної енергії.

Економічні заходи економії електроенергії

Економічні заходи економії електроенергії є важливою складовою системи енергозбереження та спрямовані на створення економічної зацікавленості споживачів у раціональному використанні енергетичних ресурсів. На відміну від технічних і технологічних заходів, вони базуються на застосуванні економічних механізмів, які стимулюють зниження споживання електричної енергії та підвищення енергоефективності виробництва.

Одним із основних економічних інструментів є впровадження системи обліку та контролю споживання електроенергії. Точний облік витрат дозволяє визначати найбільш енергоємні ділянки виробництва, оцінювати ефективність роботи обладнання та виявляти необґрунтовані втрати електроенергії. Аналіз отриманих даних створює основу для прийняття управлінських рішень щодо оптимізації енергоспоживання.

Ефективним заходом є розроблення та впровадження системи енергетичного менеджменту. Вона передбачає встановлення нормативів споживання електроенергії для окремих виробничих підрозділів, контроль їх виконання та аналіз причин перевищення встановлених показників. Такий підхід дозволяє підвищити відповідальність персоналу за раціональне використання енергетичних ресурсів.

Суттєвий вплив на рівень електроспоживання має матеріальне стимулювання працівників. Запровадження систем преміювання за досягнення показників енергозбереження сприяє підвищенню зацікавленості персоналу у впровадженні та дотриманні енергоефективних режимів роботи обладнання. Водночас економічна відповідальність за перевищення встановлених норм споживання сприяє зменшенню непродуктивних витрат електроенергії.

Важливим економічним заходом є проведення регулярного енергетичного аудиту. Енергоаудит дозволяє оцінити поточний стан системи електроспоживання, визначити основні джерела втрат електроенергії та розробити рекомендації щодо їх усунення. Результати аудиту використовуються для обґрунтування інвестицій у енергозберігаючі технології та обладнання.

Ефективність заходів енергозбереження значною мірою залежить від правильного економічного обґрунтування інвестицій. Під час вибору енергоефективного обладнання необхідно враховувати не лише його початкову вартість, але й експлуатаційні витрати, термін окупності та очікуваний економічний ефект від зниження споживання електроенергії. Такий підхід забезпечує раціональне використання фінансових ресурсів підприємства.

Перспективним напрямом є залучення інвестицій для реалізації енергозберігаючих проєктів. Вкладення коштів у модернізацію систем електропостачання, впровадження автоматизованих систем керування та використання сучасного енергоефективного обладнання забезпечують довгострокове скорочення витрат на електроенергію та підвищення конкурентоспроможності підприємства.

Таким чином, економічні заходи економії електроенергії базуються на створенні матеріальної зацікавленості в енергозбереженні, удосконаленні систем обліку та контролю електроспоживання, застосуванні економічно обґрунтованих тарифів і впровадженні енергетичного менеджменту. Комплексне використання зазначених заходів забезпечує зниження витрат на електроенергію та підвищення ефективності функціонування підприємства.

Організаційні заходи економії електроенергії

Організаційні заходи економії електроенергії є важливою складовою системи енергозбереження та спрямовані на раціоналізацію управління енергоспоживанням без значних капітальних вкладень. Вони базуються на вдосконаленні організації виробництва, підвищенні відповідальності персоналу за використання енергетичних ресурсів та створенні ефективної системи контролю за споживанням електроенергії.

Одним із найважливіших організаційних заходів є впровадження системи енергетичного менеджменту. Вона передбачає планування, контроль та аналіз енергоспоживання на всіх рівнях підприємства. Енергетичний менеджмент дозволяє своєчасно виявляти нераціональне використання електроенергії, визначати пріоритетні напрями енергозбереження та контролювати виконання

запланованих заходів.

Важливе значення має організація постійного моніторингу електроспоживання. Регулярний контроль показників споживання електроенергії дає можливість оперативно виявляти відхилення від встановлених норм, визначати причини перевитрат та вживати заходів щодо їх усунення. Для цього використовуються автоматизовані системи обліку та диспетчерського контролю.

Ефективним організаційним заходом є розроблення та впровадження норм питомих витрат електроенергії. Нормування дозволяє встановити допустимий рівень енергоспоживання для окремих технологічних процесів, виробничих ділень або видів продукції. Порівняння фактичних показників із нормативними створює умови для постійного вдосконалення системи енергоспоживання.

Важливу роль відіграє підвищення кваліфікації персоналу з питань енергозбереження. Проведення навчання, інструктажів та семінарів сприяє формуванню у працівників навичок раціонального використання електроенергії. Обізнаний персонал здатний своєчасно виявляти випадки неефективної роботи обладнання та вживати заходів щодо їх усунення.

Одним із дієвих організаційних рішень є призначення відповідальних осіб за енергозбереження. Вони здійснюють контроль за дотриманням встановлених режимів роботи обладнання, організовують проведення енергетичних обстежень та координують реалізацію заходів щодо підвищення енергоефективності.

Суттєве значення має оптимізація графіків роботи виробничого обладнання. Раціональний розподіл навантаження протягом доби дозволяє зменшити максимуми електричних навантажень, підвищити рівномірність споживання електроенергії та покращити режими роботи системи електропостачання. Особливо ефективним є перенесення частини енергоємних процесів на періоди мінімального навантаження енергосистеми.

Важливим заходом є своєчасне проведення планово-попереджувальних ремонтів електрообладнання. Підтримання обладнання у справному технічному стані дозволяє уникнути додаткових втрат електроенергії, які виникають через зношення механізмів, погіршення контактних з'єднань та інші несправності.

Додатковим резервом економії є впровадження внутрішньої системи контролю та мотивації персоналу. Заохочення працівників до виконання заходів енергозбереження та оцінка результатів їх діяльності сприяють формуванню відповідального ставлення до використання електричної енергії.

Таким чином, організаційні заходи економії електроенергії охоплюють удосконалення системи управління енергоспоживанням, організацію контролю та моніторингу, нормування витрат електроенергії, підвищення кваліфікації персоналу та оптимізацію виробничих процесів. Їх впровадження не потребує значних матеріальних витрат, але дозволяє отримати суттєвий економічний ефект за рахунок більш раціонального використання електричної енергії.

Економія електроенергії в електричних мережах.

Одним із основних джерел втрат електричної енергії в системах електропостачання є кабельні та повітряні лінії електропередачі. Під час передавання електроенергії частина потужності втрачається на нагрівання провідників внаслідок їх активного опору. Тому зменшення втрат у лініях електропередачі є важливим завданням при розробці систем електрозбереження.

Втрати активної потужності в трифазній лінії визначаються за формулою

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

де: I – струм навантаження, А;

R – активний опір одного фазного провідника, Ом.

Активний опір провідника визначається виразом

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

де: ρ – питомий опір матеріалу провідника, Ом·мм²/м;

l – довжина провідника, м;

S – площа поперечного перерізу провідника, мм².

З останньої формули видно, що зі збільшенням перерізу провідника його опір зменшується, а відповідно зменшуються і втрати електроенергії.

Основними заходами економії електроенергії в кабельних та повітряних лініях є:

- збільшення перерізу проводів та кабелів;
- скорочення довжини ліній електропередачі;
- використання провідників з меншим питомим опором;
- підвищення робочої напруги мережі;
- зменшення реактивних навантажень;
- рівномірний розподіл навантаження між фазами.

При передачі потужності P струм у трифазній мережі визначається за формулою

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

де: U – лінійна напруга мережі, В;

$\cos \varphi$ – коефіцієнт потужності.

Із останньої формули випливає, що підвищення напруги приводить до зменшення струму навантаження, а отже і до зниження втрат потужності в лінії.

Для порівняння впливу перерізу провідників на втрати потужності наведено табл. 9.1.

Таблиця 9.1. Вплив перерізу провідника на його активний опір

Переріз провідника, мм ²	Відносний опір, %
35	100
50	70
70	50
95	37
120	29

З таблиці видно, що збільшення перерізу провідника дозволяє суттєво знизити його активний опір, а відповідно і втрати електроенергії.

Для повітряних ліній додатковим фактором економії електроенергії є використання сучасних сталюалюмінієвих та самонесучих ізольованих проводів (СП), які характеризуються меншими втратами електроенергії та вищою

надійністю експлуатації. Для кабельних ліній ефективним заходом є застосування кабелів з жилами збільшеного перерізу та низьким активним опором.

Економія електроенергії в електродвигунах.

Електродвигуни є основними споживачами електричної енергії на промислових підприємствах. За статистичними даними, на їх частку припадає понад 60–70 % загального споживання електроенергії.

Основними джерелами втрат електроенергії в електродвигунах є втрати в обмотках статора та ротора, втрати в магнітопроводі, механічні втрати на тертя та вентиляцію, а також додаткові втрати, пов'язані з несиметрією режимів роботи та погіршенням якості електроенергії.

Ефективність роботи електродвигуна характеризується коефіцієнтом корисної дії:

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

де: P_1 – електрична потужність, споживана з мережі, кВт;

P_2 – корисна механічна потужність на валу двигуна, кВт.

Чим вищий коефіцієнт корисної дії двигуна, тим меншими є втрати електроенергії під час його роботи.

Важливим фактором економії електроенергії є правильний вибір потужності двигуна. Робота двигуна при малому навантаженні супроводжується зниженням коефіцієнта корисної дії та коефіцієнта потужності, що призводить до перевитрати електроенергії.

Одним із найефективніших заходів економії електроенергії є використання частотних перетворювачів. Регулювання швидкості обертання двигуна зміною частоти живлення дозволяє узгодити продуктивність механізму з реальними потребами технологічного процесу та уникнути втрат енергії при дроселюванні або механічному регулюванні.

Важливим напрямом підвищення енергоефективності є застосування сучасних електродвигунів високих класів енергоефективності.

Таблиця 9.2. Класи енергоефективності асинхронних двигунів

Клас	Характеристика
IE1	Стандартна ефективність
IE2	Підвищена ефективність
IE3	Висока ефективність
IE4	Надвисока ефективність
IE5	Ультрависока ефективність

Заміна двигунів класу IE1 на двигуни класу IE3 або IE4 дозволяє знизити втрати електроенергії на 10–30 % залежно від режиму роботи.

Для підтримання високої енергоефективності необхідно також виконувати регулярне технічне обслуговування електродвигунів, яке включає:

- контроль стану підшипників;
- перевірку ізоляції обмоток;
- очищення вентиляційних каналів;
- усунення перекосів фазних напруг;
- контроль нагрівання двигуна.

Таблиця 9.3. Основні заходи економії електроенергії в електродвигунах

Захід	Очікуване зниження споживання електроенергії, %
Оптимальний вибір потужності двигуна	5–15
Використання частотного регулювання	20–50
Компенсація реактивної потужності	5–10
Заміна двигунів на IE3–IE4	10–30
Регулярне технічне обслуговування	2–8

Таким чином, економія електроенергії в електродвигунах досягається шляхом правильного вибору потужності двигунів, використання сучасних енергоефективних електроприводів, застосування частотного регулювання

швидкості обертання, компенсації реактивної потужності та підтримання обладнання у справному технічному стані. Реалізація зазначених заходів забезпечує значне зниження витрат електроенергії та підвищення ефективності роботи електроприводів.

Енергозбереження в вентиляційних установках

Вентиляційні установки є одними з найбільших споживачів електричної енергії в системах інженерного забезпечення промислових, адміністративних та громадських будівель. Основна частина електроенергії витрачається на привід вентиляторів, які забезпечують подачу та видалення повітря. Тому підвищення енергоефективності вентиляційних систем є важливим напрямом енергозбереження.

Споживана потужність вентилятора визначається за формулою

$$P = \frac{Q \cdot \Delta p}{\eta \cdot 1000}$$

де: P – потужність електродвигуна вентилятора, кВт;

Q – продуктивність вентилятора, м³/с;

Δp – повний тиск вентилятора, Па;

η – загальний коефіцієнт корисної дії вентиляційної установки.

Із останньої формули видно, що споживана потужність прямо пропорційна продуктивності та тиску вентилятора і обернено пропорційна його ККД.

Одним із найефективніших заходів енергозбереження є застосування частотного регулювання швидкості обертання вентиляторів. В більшості випадків фактична потреба у повітрообміні змінюється протягом доби, тому робота вентилятора на повній потужності є економічно недоцільною.

Для вентиляторів справедливі закони подібності:

$$Q_2 = Q_1 \frac{n_2}{n_1},$$

$$\Delta p_2 = \Delta p_1 \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^2,$$

$$P_2 = P_1 \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^3,$$

де: n_1, n_2 – частота обертання вентилятора до та після регулювання.

Важливим заходом економії електроенергії є зменшення аеродинамічного опору вентиляційної мережі. Забруднення повітропроводів, фільтрів та теплообмінників призводить до збільшення втрат тиску і, відповідно, до зростання споживаної потужності електродвигунів.

Для визначення втрат тиску в повітропроводі використовується формула

$$\Delta p = \lambda \frac{l}{d} \frac{\rho v^2}{2},$$

де: λ – коефіцієнт гідравлічного опору;

l – довжина повітропроводу, м;

d – еквівалентний діаметр повітропроводу, м;

ρ – густина повітря, кг/м³;

v – швидкість руху повітря, м/с.

Зниження втрат тиску досягається за рахунок оптимального проектування повітропроводів, використання плавних поворотів та регулярного очищення вентиляційних каналів.

Значний ефект забезпечує застосування систем автоматичного керування вентиляцією. Датчики температури, вологості, вмісту вуглекислого газу та присутності людей дозволяють автоматично змінювати продуктивність системи відповідно до фактичної потреби у повітрообміні.

Таблиця 9.4. Основні заходи енергозбереження у вентиляційних установках

Захід	Економія електроенергії, %
Частотне регулювання вентиляторів	20–50
Оптимізація повітрообміну	10–25
Автоматизація систем керування	10–20
Очищення повітропроводів і фільтрів	5–15
Застосування енергоефективних вентиляторів	10–30
Використання рекуперації теплоти	до 60*

* Для теплової енергії, що витрачається на підігрів припливного повітря.

Важливе значення має також правильний вибір вентиляційного обладнання. Використання сучасних вентиляторів із високим коефіцієнтом корисної дії та електродвигунів класів енергоефективності IE3–IE4 дозволяє зменшити експлуатаційні витрати та підвищити надійність роботи системи.

Таким чином, основними напрямками енергозбереження у вентиляційних установках є застосування частотного регулювання швидкості вентиляторів, зменшення аеродинамічних втрат у повітропроводах, використання автоматизованих систем керування, впровадження рекуперації теплоти та використання сучасного енергоефективного обладнання. Комплексне впровадження зазначених заходів дозволяє суттєво знизити споживання електричної енергії та підвищити ефективність роботи вентиляційних систем.

Енергозбереження в освітлювальних установках

Освітлювальні установки є важливою складовою систем електроспоживання промислових підприємств, адміністративних будівель та об'єктів соціальної інфраструктури. Частка електроенергії, що витрачається на освітлення, може становити від 10 до 40 % загального електроспоживання залежно від призначення об'єкта. Тому впровадження енергоефективних освітлювальних технологій є одним із важливих напрямів енергозбереження.

Основною характеристикою освітлювальної установки є світловий потік, який вимірюється в люменах (лм). Енергоефективність джерела світла визначається його світловою віддачею:

$$\eta_{\text{св}} = \frac{\Phi}{P},$$

де: $\eta_{\text{св}}$ – світлова віддача, лм/Вт;

Φ – світловий потік лампи, лм;

P – споживана електрична потужність, Вт.

Чим вища світлова віддача джерела світла, тим менше електроенергії необхідно для створення заданого рівня освітленості.

Одним із найбільш ефективних заходів енергозбереження є заміна традиційних ламп розжарювання та люмінесцентних ламп на світлодіодні

джерела світла. Світлодіодні лампи мають значно вищу світлову віддачу, тривалий термін служби та менші експлуатаційні витрати.

Таблиця 9.5. Порівняння світлової віддачі різних джерел світла

Тип лампи	Світлова віддача, лм/Вт
Лампа розжарювання	10–15
Галогенна лампа	15–25
Люмінесцентна лампа	60–90
Світлодіодна лампа (LED)	100–180

З таблиці видно, що світлодіодні лампи забезпечують у 8–10 разів більшу світлову віддачу порівняно з лампами розжарювання.

Важливим напрямом енергозбереження є використання автоматизованих систем керування освітленням. Такі системи забезпечують автоматичне ввімкнення та вимкнення світильників залежно від рівня природного освітлення, присутності людей у приміщенні або встановленого графіка роботи.

Значний ефект забезпечує максимальне використання природного освітлення. Раціональне розміщення робочих місць, застосування світлових ліхтарів, збільшення площі світлових прорізів та використання світловідбивних поверхонь дозволяють зменшити потребу в штучному освітленні.

Важливим заходом є підтримання освітлювальних приладів у належному технічному стані. Забруднення світильників, плафонів та віконних прорізів може знизити освітленість приміщення на 20–30 %, що часто призводить до встановлення додаткових світильників або використання ламп більшої потужності.

Для забезпечення раціонального використання електроенергії рекомендується зональне освітлення, яке передбачає окреме керування групами світильників залежно від виробничої необхідності. Це дозволяє освітлювати лише ті ділянки приміщення, які використовуються в конкретний момент часу.

Таблиця 9.6. Основні заходи енергозбереження в освітлювальних установках

Захід	Орієнтовна економія електроенергії, %
Заміна ламп розжарювання на LED	70–90
Використання датчиків руху	15–40
Автоматичне регулювання освітленості	20–45
Зональне керування освітленням	10–30
Регулярне очищення світильників	5–15
Використання природного освітлення	10–50

Таким чином, енергозбереження в освітлювальних установках досягається шляхом використання високоефективних світлодіодних джерел світла, автоматизації керування освітленням, раціонального використання природного освітлення та підтримання освітлювального обладнання у належному технічному стані. Комплексне впровадження зазначених заходів дозволяє суттєво скоротити споживання електричної енергії та знизити експлуатаційні витрати на освітлення.

Економія електроенергії в трансформаторах

Силові трансформатори є одним із основних елементів систем електропостачання, які забезпечують перетворення рівнів напруги під час передачі та розподілу електричної енергії. В процесі роботи в трансформаторах виникають втрати електроенергії, які поділяються на втрати холостого ходу та втрати короткого замикання. Зниження цих втрат є важливим напрямом підвищення енергоефективності систем електропостачання.

Втрати холостого ходу ΔP_{xx} виникають у магнітопроводі трансформатора внаслідок гістерезису та вихрових струмів і практично не залежать від навантаження. Вони існують протягом усього часу перебування трансформатора під напругою.

Втрати короткого замикання $\Delta P_{\kappa z}$ обумовлені нагріванням обмоток струмом навантаження і залежать від ступеня завантаження трансформатора.

Загальні втрати потужності в трансформаторі визначаються за формулою

$$\Delta P = \Delta P_{xx} + \Delta P_{kз} \beta^2,$$

де: β – коефіцієнт завантаження трансформатора.

Одним із найважливіших заходів економії електроенергії є забезпечення оптимального завантаження трансформаторів. При малому навантаженні значний вплив мають втрати холостого ходу, а при перевантаженні різко зростають втрати в обмотках.

Найбільша ефективність роботи трансформатора досягається при такому навантаженні, за якого втрати холостого ходу приблизно дорівнюють втратам короткого замикання.

Для сучасних силових трансформаторів значення ККД становить 97–99 %, однак навіть незначне зниження втрат забезпечує суттєву економію електроенергії протягом тривалого терміну експлуатації.

Одним із ефективних способів зменшення втрат є використання енергоефективних трансформаторів із магнітопроводами з холоднокатаної електротехнічної сталі або аморфних сплавів. Такі конструкції характеризуються значно меншими втратами холостого ходу порівняно з традиційними трансформаторами.

Важливим заходом є оптимізація режимів роботи трансформаторних підстанцій. При наявності декількох трансформаторів доцільно відключати частину агрегатів у періоди низьких навантажень. Це дозволяє зменшити сумарні втрати холостого ходу та підвищити економічність роботи підстанції.

Значний вплив на економічність роботи трансформатора має компенсація реактивної потужності. Зменшення реактивних струмів призводить до зниження навантаження обмоток і відповідного зменшення втрат короткого замикання.

До організаційно-технічних заходів також належать контроль температурного режиму, перевірка стану контактних з'єднань, своєчасна заміна трансформаторного масла та проведення профілактичних випробувань. Підтримання трансформаторів у справному технічному стані забезпечує мінімальні втрати електроенергії та високу надійність електропостачання.

Таблиця 9.7. Основні заходи економії електроенергії в трансформаторах.

Захід	Орієнтовне зниження втрат, %
Оптимальне завантаження трансформатора	5–15
Відключення резервних трансформаторів при малому навантаженні	5–20
Компенсація реактивної потужності	5–10
Використання енергоефективних трансформаторів	15–40
Заміна застарілих трансформаторів	10–30
Своєчасне технічне обслуговування	2–5

Таким чином, економія електроенергії в трансформаторах досягається шляхом зниження втрат холостого ходу та навантаження, забезпечення оптимального завантаження обладнання, використання сучасних енергоефективних трансформаторів, компенсації реактивної потужності та раціонального керування режимами роботи трансформаторних підстанцій. Реалізація зазначених заходів дозволяє зменшити втрати електричної енергії та підвищити ефективність функціонування систем електропостачання.

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

Визначимо значення приведених активних втрат:

$$\Delta P'_{xx} = \Delta P_{xx} + K_{пп} \cdot \Delta Q_{xx} = 2,27 + 0,15 \cdot 12,6 = 4,16 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q_{xx} = \frac{I_{xx}}{100} S_n = \frac{2}{100} 630 = 12,6 \text{ кВар}, \quad \Delta Q_{кз} = \frac{U_{кз}}{100} S_n = \frac{5,5}{100} 630 = 34,65 \text{ кВар},$$

$$\Delta P'_{кз} = \Delta P_{кз} + K_{пп} \cdot \Delta Q_{кз} = 7,6 + 0,15 \cdot 34,65 = 19,8 \text{ кВт}.$$

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

$$S_A = S_{н.т} \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P'_{xx}}{\Delta P'_{кз}}} = 630 \sqrt{\frac{2 \cdot 4,16}{19,8}} = 408 \text{ кВА}.$$

Розрахунок втрат електроенергії при роботі двох трансформаторів і при роботі з автоматичним регулюванням для ТП1 проведений в табл. 9.8.

Таблиця 9.8. 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	385,7	321,253	299	386,31	12,04	11,60	171,41	129,538	99	174,11	9,08	5,67
2	385,7	321,253	299	386,31	12,04	11,60	171,41	129,538	99	174,11	9,08	5,67
3	385,7	321,253	299	386,31	12,04	11,60	171,41	129,538	99	174,11	9,08	5,67
4	385,7	336,798	332	385,70	12,03	11,58	171,41	129,538	99	174,11	9,08	5,67
5	385,7	336,798	332	385,70	12,03	11,58	171,41	129,538	99	174,11	9,08	5,67
6	385,7	440,428	332	400,62	12,32	12,17	171,41	129,538	99	174,11	9,08	5,67
7	685,6	492,243	332	704,11	20,69	20,69	171,41	129,538	99	174,11	9,08	5,67
8	702,8	518,15	332	727,01	21,50	21,50	171,41	129,538	99	174,11	9,08	5,67
9	771,3	518,15	332	793,48	24,02	24,02	128,56	103,63	99	128,64	8,73	4,99
10	857	492,243	332	871,89	27,28	27,28	128,56	103,63	99	128,64	8,73	4,99
11	771,3	492,243	332	787,81	23,80	23,80	128,56	103,63	99	128,64	8,73	4,99
12	685,6	466,335	332	698,67	20,50	20,50	128,56	103,63	99	128,64	8,73	4,99
13	685,6	492,243	332	704,11	20,69	20,69	128,56	103,63	99	128,64	8,73	4,99
14	771,3	492,243	332	787,81	23,80	23,80	128,56	103,63	99	128,64	8,73	4,99
15	814,2	518,15	332	835,20	25,72	25,72	128,56	103,63	99	128,64	8,73	4,99
16	857	492,243	332	871,89	27,28	27,28	128,56	103,63	99	128,64	8,73	4,99
17	771,3	492,243	332	787,81	23,80	23,80	128,56	103,63	99	128,64	8,73	4,99
18	642,8	440,428	332	651,86	18,92	18,92	171,41	129,538	99	174,11	9,08	5,67
19	385,7	336,798	332	385,70	12,03	11,58	171,41	129,538	99	174,11	9,08	5,67
20	385,7	336,798	332	385,70	12,03	11,58	171,41	129,538	99	174,11	9,08	5,67
21	385,7	321,253	299	386,31	12,04	11,60	171,41	129,538	99	174,11	9,08	5,67
22	385,7	321,253	299	386,31	12,04	11,60	171,41	129,538	99	174,11	9,08	5,67
23	385,7	321,253	299	386,31	12,04	11,60	171,41	129,538	99	174,11	9,08	5,67
24	385,7	321,253	299	386,31	12,04	11,60	171,41	129,538	99	174,11	9,08	5,67
			Всього, кВт·год		422,74	417,73			Всього, кВт·год		214,74	129,95

Розрахуємо річну втрату електроенергії в обох випадках:

$$\Delta W_{2\text{тр}} = \sum_{i=1}^{24} \Delta P_{\text{зр}2\text{тр}} \cdot 147 + \sum_{i=1}^{24} \Delta P_{\text{зв}2\text{тр}} \cdot 65 + \sum_{i=1}^{24} \Delta P_{\text{лр}2\text{тр}} \cdot 105 + \sum_{i=1}^{24} \Delta P_{\text{лв}2\text{тр}} \cdot 48 = 422,74 \cdot 147 +$$

$$+ 214,74 \cdot 65 + 357,36 \cdot 105 + 210,46 \cdot 48 = 123725,6 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

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

$$= 417,73 \cdot 147 + 129,95 \cdot 65 + 339,71 \cdot 105 + 121,4 \cdot 48 = 111349,5 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

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

$$\Delta W = \Delta W_{2\text{тр}} - \Delta W_{\text{авт.рег}} = 123725,6 - 111349,5 = 12376,1 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Вартість зекономленої електроенергії

$$E = \Delta W \cdot C_0 = 12376,1 \cdot 10 = 123761 \text{ грн.}$$

Аналогічним чином розрахована економія електроенергії на ТП2, ТП4 і ТП5. Результати розрахунку наведені в табл. 9.9.

Таблиця 9.9. Результати розрахунку економії електроенергії шляхом переводу роботи двохтрансформаторних підстанцій на оптимальний режим роботи.

№ ТП	ΔW , кВт·год	Е, грн
ТП1	12376,1	123761
ТП2	12190,7	121907
ТП4	12729,7	127297
ТП5	12729,7	127297
Всього	50026,2	500262

10. Висновки.

В даній кваліфікаційній роботі розроблена система електропостачання та електрозбереження комбикормового заводу.

В процесі виконання кваліфікаційної роботи визначено електричні навантаження окремих виробничих цехів і підприємства в цілому, побудовано добові графіки навантаження та розраховано основні параметри системи електропостачання. Розрахункове максимальне активне навантаження підприємства становить 3768,77 кВт, а реактивне навантаження – 3034,63 квар.

На основі виконаних розрахунків обґрунтовано вибір схеми електропостачання, силових трансформаторів, комутаційної апаратури, кабельних і повітряних ліній електропередачі. Обране обладнання забезпечує необхідну надійність електропостачання споживачів та відповідає вимогам щодо допустимих режимів роботи в нормальних і аварійних умовах.

В спеціальному розділі проєкту розглянуто основні напрями електрозбереження на промислових підприємствах. Проаналізовано загальні фактори економії електроенергії та досліджено технічні, технологічні, економічні й організаційні заходи підвищення енергоефективності. Особливу увагу приділено зниженню втрат електроенергії в кабельних і повітряних лініях електропередачі, енергозбереженню в електродвигунах, вентиляційних установках, освітлювальних системах та силових трансформаторах.

Показано, що впровадження сучасних енергоефективних електродвигунів, частотного регулювання електроприводів, світлодіодного освітлення, компенсації реактивної потужності, оптимального завантаження трансформаторів і раціонального вибору перерізів провідників дозволяє суттєво скоротити втрати електроенергії та знизити експлуатаційні витрати підприємства.

Запропоновані технічні рішення забезпечують надійне електропостачання комбикормового заводу, підвищення енергоефективності виробництва, зменшення втрат електричної енергії та покращення техніко-економічних показників роботи підприємства.

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.