

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

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

“ ____ ” _____ 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ

на тему:

**«Проектування системи електропостачання підприємства
харчової промисловості з дослідженням шляхів підвищення
енергоефективності виробництва**

**Design of a power supply system for a food industry enterprise,
including an investigation into ways of improving production energy
efficiency»**

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

_____Ігор ШВЕЦЬ
« ____ » _____ 2026 р.

Керівник роботи
к.т.н., професор
_____Петро ПЛЕСШКОВ

« ____ » _____ 2026 р.

Рецензент

Міністерство освіти і науки України
Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет ЦЗДО

Кафедра електротехнічних систем та енергетичного менеджменту

Освітній ступінь бакалавр

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітньо-професійна програма Електротехнічні системи електроспоживання

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

_____ *Петро ПЛЕСХОВ*

«_____» _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

_____ *Швець Ігор Юрійович*

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи (проекту) **Проектування системи електропостачання підприємства харчової промисловості з дослідженням шляхів підвищення енергоефективності виробництва**

Design of a power supply system for a food industry enterprise, including an investigation into ways of improving production energy efficiency

2. Керівник роботи (проекту) *Плешков Петро Григорович, к.т.н., професор*

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

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

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

Вступ; Визначення електричних навантажень підприємства харчової промисловості; Розрахунок картограми навантажень та центру електричних навантажень; Техніко-економічне порівняння варіантів електропостачання; Режими реактивної потужності системи електропостачання; Визначення потужності та місця встановлення цехових трансформаторних підстанцій; Розрахунок струмів короткого замикання, вибір електричного обладнання та кабельних мереж; Шляхи підвищення енергоефективності підприємства харчової промисловості; Висновки.

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	2.05.26	
2	Визначення електричних навантажень підприємства харчової промисловості	6.05.26	
3	Розрахунок картограми навантажень та центру електричних навантажень	9.05.26	
4	Техніко-економічне порівняння варіантів електропостачання	15.05.26	
5	Режими реактивної потужності системи електропостачання	19. 05.26	
6	Визначення потужності та місця встановлення цехових трансформаторних підстанцій	22.05.26	
7	Розрахунок струмів короткого замикання, вибір електричного обладнання та кабельних мереж	25. 05.26	
8	Шляхи підвищення енергоефективності підприємства харчової промисловості	27. 05.26	
9	Висновки	30. 05.26	
10	Оформлення пояснювальної записки ВКР	03.06.26	
11	Оформлення презентаційної частини ВКР	04.06.26	

Дата видачі завдання

« ____ » _____ 2026 р.

Підпис керівника _____

Завдання прийнято до виконання

« ____ » _____ 2026 р.

Підпис здобувача _____

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: 82 с.; 18 рис.; 31 табл.; 9 джерел.

Швець І. Ю. Проектування системи електропостачання підприємства харчової промисловості з дослідженням шляхів підвищення енергоефективності виробництва – Рукопис.

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

В кваліфікаційній роботі виконано проектування системи електропостачання підприємства харчової промисловості та досліджено шляхи підвищення енергоефективності виробництва. Проведено розрахунок силових і освітлювальних навантажень, побудовано картограму навантажень, визначено центр електричних навантажень підприємства, обрано схему електропостачання, трансформаторні підстанції та основне електротехнічне обладнання. Виконано розрахунок струмів короткого замикання, техніко-економічне порівняння варіантів електропостачання та розрахунок компенсуючих пристроїв.

Запропоновано заходи щодо підвищення енергоефективності виробництва шляхом компенсації реактивної потужності, застосування енергоефективного обладнання та сучасних систем моніторингу енергоспоживання.

Ключові слова: система електропостачання, харчова промисловість, електричне навантаження, трансформаторна підстанція, струм короткого замикання, компенсація реактивної потужності, енергоефективність, електрообладнання.

ABSTRACT

Qualification work: 82 p.; 18 fig.; 31 tables; 9 sources.

Shvets I. Yu. Design of the power supply system of a food industry enterprise with a study of ways to increase the energy efficiency of production – Manuscript.

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

In the qualification work, the design of the power supply system of a food industry enterprise was carried out and ways to increase the energy efficiency of production were studied. The calculation of power and lighting loads was carried out, a load map was constructed, the center of the electrical loads of the enterprise was determined, a power supply scheme, transformer substations and basic electrical equipment were selected. The calculation of short-circuit currents, the feasibility comparison of power supply options and the calculation of compensating devices were performed.

Measures were proposed to increase the energy efficiency of production by compensating reactive power, using energy-efficient equipment and modern energy consumption monitoring systems.

Keywords: power supply system, food industry, electrical load, transformer substation, short-circuit current, reactive power compensation, energy efficiency, electrical equipment.

ЗМІСТ

	ВСТУП.....	7
1	ВИЗНАЧЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ПІДПРИЄМСТВА ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ.....	9
1.1	Визначення навантажень підприємства до 1000 В.....	9
1.2	Визначення освітлювальних навантажень підприємства.....	10
1.3	Визначення навантажень понад 1000 В.....	10
1.4	Аналіз режимів електроспоживання за добовими та річними графіками навантаження.....	20
2	РОЗРАХУНОК КАРТОГРАМИ НАВАНТАЖЕНЬ ТА ЦЕНТРУ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ.....	24
3	ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ПОРІВНЯННЯ ВАРІАНТІВ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ.....	26
3.1	Розрахунок перерізів кабельних ліній.....	28
3.2	Розрахунок втрат електроенергії.....	28
3.3	Розрахунок капітальних вкладень та експлуатаційних витрат..	29
3.4	Порівняння приведених витрат.....	30
4	РЕЖИМИ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ.....	31
4.1	Розрахунок балансу реактивної потужності.....	31
4.2	Визначення мінімальної кількості трансформаторів.....	32
4.3	Розрахунок втрат активної потужності та приведених витрат..	33
4.4	Вибір місця та потужності БСК	34
5	ВИЗНАЧЕННЯ ПОТУЖНОСТІ ТА МІСЦЯ ВСТАНОВЛЕННЯ ЦЕХОВИХ ТРАНСФОРМАТОРНИХ ПІДСТАНЦІЙ.....	36
6	РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ, ВИБІР ЕЛЕКТРИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ТА КАБЕЛЬНИХ МЕРЕЖ.....	39

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА				
Розроб	Швець І.Ю.				Проектування системи електропостачання підприємства харчової промисловості з дослідженням шляхів підвищення енергоефективності виробництва	Літ.	Аркуш	Аркушів	
Перевірів	Плешков П.Г								
						ЦНТУ, зр.ЕЕ-22з			
Н.контр.									
Затв.	Плешков П.Г								

6.1	Розрахунок струмів короткого замикання.....	39
6.2	Вибір кабельних ліній 10 кВ.....	42
6.3	Вибір електричних апаратів високої напруги.....	43
6.4	Вибір обладнання та кабелів на стороні 0,4 кВ.....	45
6.5	Вибір трансформаторів власних потреб.....	45
7	ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ПІДПРИЄМСТВА ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ.....	47
7.1	Енергоспоживання підприємств харчової промисловості та передумови підвищення енергоефективності виробництва.....	47
7.2	Аналіз вихідного рівня електроспоживання підприємства харчової промисловості.....	50
7.3	Сучасні технології підвищення енергоефективності виробництва харчових підприємств.....	57
	ВИСНОВКИ.....	79
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	81

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Зростання вартості енергетичних ресурсів, підвищення вимог до якості електричної енергії, необхідність скорочення експлуатаційних витрат та впровадження принципів сталого розвитку обумовлюють актуальність удосконалення систем електропостачання промислових об'єктів. Особливо важливими ці питання є для підприємств харчової промисловості, які характеризуються значною концентрацією електричних навантажень, безперервністю технологічних процесів та високими вимогами до надійності роботи електрообладнання.

Харчова промисловість належить до стратегічно важливих галузей економіки України, оскільки забезпечує населення продукцією повсякденного споживання та формує вагомую частку промислового виробництва держави. Сучасні підприємства цієї галузі оснащуються великою кількістю технологічного обладнання, електроприводів, насосних агрегатів, вентиляційних систем, компресорних установок, холодильних комплексів та освітлювальних мереж, що обумовлює значні обсяги споживання електричної енергії. За таких умов ефективність функціонування системи електропостачання безпосередньо впливає на собівартість продукції, конкурентоспроможність підприємства та рівень його енергетичної безпеки.

Важливим напрямом розвитку сучасних систем електропостачання є впровадження енергоощадних технологій, які дозволяють зменшити втрати електричної енергії, підвищити коефіцієнт потужності, покращити режими роботи електрообладнання та забезпечити раціональне використання енергетичних ресурсів. До найбільш ефективних заходів належать компенсація реактивної потужності, використання частотного регулювання електроприводів, модернізація освітлювальних систем із застосуванням світлодіодних джерел світла, впровадження автоматизованих систем енергомоніторингу та цифрових технологій управління енергоспоживанням.

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

Під час виконання роботи використано методи електротехнічних розрахунків, методи аналізу електричних навантажень, теорію електричних кіл, нормативні методики проектування систем електропостачання, методи техніко-економічного аналізу та сучасні підходи до оцінювання енергоефективності промислових підприємств.

Практичне значення роботи полягає у розробленні технічних рішень щодо побудови ефективної системи електропостачання підприємства харчової промисловості, які забезпечують необхідний рівень надійності електропостачання, зменшення втрат електричної енергії, підвищення коефіцієнта потужності та скорочення експлуатаційних витрат. Запропоновані заходи з енергозбереження можуть бути використані під час модернізації діючих підприємств харчової промисловості та при проектуванні нових виробничих об'єктів.

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

1 ВИЗНАЧЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ПІДПРИЄМСТВА ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

1.1 Визначення навантажень підприємства до 1000 В

Як приклад розглянемо борошняно-силосний комплекс з таблиці 1.1.

Середня активна потужність цеху визначається як сума середніх активних навантажень окремих груп електроприймачів:

$$P_{\text{ср,ц}} = \sum P_{\text{ср,і}} = 51,38 \text{ кВт.}$$

Середня реактивна потужність цеху дорівнює сумі реактивних навантажень відповідних груп електроприймачів:

$$Q_{\text{ср,ц}} = \sum Q_{\text{ср,і}} = 41,01 \text{ кВАр.}$$

Коефіцієнт використання для цеху можна перевірити за відношенням середньої активної потужності до встановленої потужності:

$$K_{\text{в,ц}} = \frac{P_{\text{ср,ц}}}{P_{\text{вст,ц}}} = \frac{51,38}{91,66} = 0,56.$$

Показник співвідношення потужностей електроприймачів у групі визначається за найбільшою та найменшою одиничною потужністю:

$$m_{\text{ц}} = \frac{P_{\text{од.мах}}}{P_{\text{од.мін}}} = \frac{15,36}{1,13} = 13,59.$$

За прийнятими значеннями $K_{\text{в,ц}} = 0,56$ та $n_e = 22$ для підрозділу прийнято коефіцієнт максимуму:

$$K_{\text{м}} = 1,09.$$

Розрахункова активна потужність цеху визначається множенням середньої активної потужності на коефіцієнт максимуму:

$$P_{\text{р,ц}} = K_{\text{м}} \cdot P_{\text{ср,ц}} = 1,09 \cdot 51,38 = 56,19 \text{ кВт.}$$

Розрахункова реактивна потужність для даного рядка приймається рівною середній реактивній потужності:

$$Q_{\text{р,ц}} = Q_{\text{ср,ц}} = 41,01 \text{ кВАр.}$$

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

Повна розрахункова потужність визначається за активною та реактивною складовими:

$$S_{p,ц} = \sqrt{P_{p,ц}^2 + Q_{p,ц}^2}$$

Після підстановки числових значень отримаємо:

$$S_{p,ц} = \sqrt{56,19^2 + 41,01^2} = 69,57 \text{ кВА.}$$

Отже, для борошняно-сілосного комплексу розрахункові навантаження становлять:

$$P_{p,ц} = 56,19 \text{ кВт}; \quad Q_{p,ц} = 41,01 \text{ кВАр}; \quad S_{p,ц} = 69,57 \text{ кВА.}$$

Розрахунок інших підрозділів виконується аналогічно та вноситься в табл.1.1.

1.2 Визначення освітлювальних навантажень підприємства

Для прикладу наведемо розрахунок освітлювального навантаження для «Приймально-вагова дільниця сировини».

Встановлена потужність освітлення визначається за виразом:

$$P_{y,осв} = F \cdot p_0 / 1000 = 420 \cdot 12 / 1000 = 5,04 \text{ кВт}$$

Розрахункова активна потужність освітлення з урахуванням коефіцієнтів попиту та запасу:

$$P_{p,осв} = P_{y,осв} \cdot K_c \cdot K_1 = 5,04 \cdot 0,90 \cdot 1,10 = 4,99 \text{ кВт}$$

Реактивна потужність освітлювального навантаження визначається через тангенс кута зсуву фаз:

$$Q_{p,осв} = P_{p,осв} \cdot \operatorname{tg} \varphi = 4,99 \cdot 0,329 = 1,64 \text{ кВАр}$$

Повна розрахункова потужність освітлення:

$$S_{p,осв} = \sqrt{(P_{p,осв})^2 + (Q_{p,осв})^2} = \sqrt{(4,99)^2 + (1,64)^2} = 5,25 \text{ кВА}$$

Розрахунок решти цехів наведено в табл. 1.2.

1.3 Визначення навантажень понад 1000 В

Розрахунок виконується для ТП №1 таблиці 1.3. До складу навантаження трансформаторної підстанції входять силові та освітлювальні споживачі, приєднані до цієї ТП. Компенсація реактивної потужності на цьому

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

етапі не враховується, тому сумарна реактивна потужність визначається як сума реактивних складових силового та освітлювального навантаження.

Сумарна активна потужність на стороні 0,4 кВ визначається додаванням активних складових силового та освітлювального навантаження:

$$P_{p,ТП1} = P_{p,сил} + P_{p,осв}=295,50+15,25=310,75 \text{ кВт}$$

Аналогічно визначається сумарна реактивна потужність ТП №1:

$$Q_{p,ТП1} = Q_{p,сил} + Q_{p,осв}=135,51+5,01=140,52 \text{ кВАр}$$

Повна розрахункова потужність до врахування втрат у трансформаторі визначається за активною та реактивною складовими:

$$S_{p,ТП1} = \sqrt{P_{p,ТП1}^2 + Q_{p,ТП1}^2} = \sqrt{310,75^2 + 140,52^2} = 341,04 \text{ кВА}$$

Для перевірки завантаження трансформатора визначається коефіцієнт завантаження за повною потужністю:

$$K_{з,ТП1} = \frac{S_{p,ТП1}}{S_{н,тр}} = \frac{341,04}{400} = 0,85$$

Оскільки отримане значення менше одиниці, трансформатор 1×400 кВА за умовами нормального режиму роботи не перевантажується.

Втрати активної та реактивної потужності у трансформаторі приймаються орієнтовно відповідно до прийнятої методики:

$$\Delta P_{тр} = 0,01 \cdot S_{p,ТП1} = 0,01 \cdot 341,04 = 3,41 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_{тр} = 0,055 \cdot S_{p,ТП1} = 0,055 \cdot 341,04 = 18,76 \text{ кВАр}$$

З урахуванням втрат у трансформаторі навантаження на шинах 10 кВ ТП №1 становить:

$$P_{10кВ,ТП1} = P_{p,ТП1} + \Delta P_{тр} = 310,75 + 3,41 = 314,16 \text{ кВт}$$

$$Q_{10кВ,ТП1} = Q_{p,ТП1} + \Delta Q_{тр} = 140,52 + 18,76 = 159,28 \text{ кВАр}$$

$$S_{10кВ,ТП1} = \sqrt{P_{10кВ,ТП1}^2 + Q_{10кВ,ТП1}^2} = \sqrt{314,16^2 + 159,28^2} = 352,23 \text{ кВА}$$

Розрахунок інших ТП виконується аналогічно та вноситься в табл.1.3.

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

Таблиця 1.1 – Електричні навантаження до 1000 В

№	Назва вузлів навантаження та груп електроприймачів	Кількість n	Род мін, кВт	Род тах, кВт	Рвст, кВт	m	Кв	cosφ	tgφ	Рср, кВт	Qср, кВАр	ne	Км	Рр, кВт	Qр, кВАр	Sp, кВА
1	Приймально-заготівельне відділення сировини															
	Вагові конвеєри та приймальні столи	4	1,54	3,08	9,24	2	0,55	0,82	0,70	5,08	3,55	4				
	Норії подачі сировини	3	3,07	7,67	16,11	2	0,50	0,78	0,80	8,06	6,46	3				
	Шнекові транспортери	5	2,25	4,50	16,88	2	0,55	0,80	0,75	9,28	6,96	5				
	Аспіраційні вентилятори	4	1,13	3,39	9,04	3	0,60	0,82	0,70	5,42	3,79	4				
	Всього по підрозділу: Приймально-вагова дільниця сировини	16	1,13	7,67	51,27	7	0,54	0,81	0,75	27,84	20,76	16	1,11	31,02	20,76	37,33
2	Борошняно-силосний комплекс															
	Силосні аератори	8	1,13	1,69	11,28	1	0,35	0,70	1,02	3,95	4,03	8				
	Шлюзові живильники	6	1,54	3,08	13,86	2	0,45	0,75	0,88	6,24	5,50	6				
	Пневмотранспорт борошна	4	7,68	15,36	46,08	2	0,65	0,80	0,75	29,95	22,46	4				
	Просіювачі борошна	4	4,09	6,13	20,44	1	0,55	0,78	0,80	11,24	9,02	4				
	Всього по підрозділу: Борошняно-силосний комплекс	22	1,13	15,36	91,66	14	0,56	0,76	0,80	51,38	41,01	22	1,09	56,19	41,01	69,57
3	Дільниця дозування компонентів															
	Автоматичні дозатори борошна	5	2,25	4,50	16,88	2	0,50	0,82	0,70	8,44	5,89	5				
	Дозатори рідких компонентів	4	1,13	2,82	7,90	2	0,55	0,80	0,75	4,35	3,26	4				
	Насоси сиропів і олії	4	1,54	3,08	9,24	2	0,65	0,78	0,80	6,01	4,82	4				
	Міксери попереднього змішування	3	3,07	6,14	13,82	2	0,60	0,80	0,75	8,29	6,22	3				
	Всього по підрозділу: Дільниця дозування компонентів	16	1,13	6,14	47,83	5	0,57	0,80	0,75	27,08	20,18	16	1,11	30,01	20,18	36,17
4	Тістоприготувальний цех															
	Промислові тістоміси	8	5,63	16,89	90,08	3	0,55	0,82	0,70	49,54	34,58	8				
	Підйомники діж	5	2,25	5,62	19,68	2	0,40	0,75	0,88	7,87	6,94	5				
	Насоси опари	3	3,07	6,14	13,82	2	0,60	0,80	0,75	8,29	6,22	3				
	Вентиляція тістомісильної зони	4	1,54	4,62	12,32	3	0,65	0,82	0,70	8,01	5,59	4				
	Всього по підрозділу: Тістоприготувальний цех	20	1,54	16,89	135,89	11	0,54	0,80	0,72	73,71	53,33	20	1,10	81,25	53,33	97,19
5	Дільниця бродіння та вистоювання															
	Камери ферментації	6	3,07	9,21	36,84	3	0,55	0,88	0,54	20,26	10,94	6				

Продовження 1.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	Шафи вистоювання	8	2,25	9,00	45,00	4	0,50	0,86	0,59	22,50	13,35	8				
	Циркуляційні вентилятори	6	1,54	3,85	16,17	3	0,70	0,80	0,75	11,32	8,49	6				
	Зволожувачі повітря	4	1,13	2,26	6,78	2	0,60	0,85	0,62	4,07	2,52	4				
	Всього по підрозділу: Дільниця ферментації та вистоювання	27	1,13	9,21	110,79	8	0,62	2,48	0,68	69,15	47,30	37	1,06	73,42	47,30	87,34
6	Формувально-дозувальна лінія															
	Тістоділильні автомати	5	3,07	7,67	26,85	2	0,55	0,80	0,75	14,77	11,08	5				
	Округлювачі заготовок	4	2,25	4,50	13,50	2	0,50	0,78	0,80	6,75	5,42	4				
	Формувальні машини	5	3,07	6,14	23,03	2	0,55	0,80	0,75	12,66	9,50	5				
	Стрічкові транспортери	8	1,13	3,39	18,08	3	0,45	0,75	0,88	8,14	7,18	8				
	Всього по підрозділу: Формувально-розділювальна лінія	22	1,13	7,67	81,46	7	0,52	0,78	0,78	42,32	33,16	22	1,10	46,65	33,16	57,24
7	Випікальний цех															
	Ротаційні печі	4	30,71	61,42	184,26	2	0,65	0,92	0,43	119,77	51,02	4				
	Тунельні печі	2	46,06	69,09	115,15	2	0,70	0,92	0,43	80,61	34,34	2				
	Приводи подових стрічок	6	2,25	6,75	27,00	3	0,50	0,82	0,70	13,50	9,42	6				
	Рециркуляційні вентилятори печей	8	3,07	7,67	42,96	2	0,75	0,85	0,62	32,22	19,97	8				
	Всього по підрозділу: Випікальний цех	20	2,25	69,09	369,37	31	0,67	0,88	0,47	246,09	114,75	20	1,07	264,46	114,75	288,28
8	Цех охолодження та пакування продукції															
	Охолоджувальні транспортери	6	1,54	4,62	18,48	3	0,55	0,78	0,80	10,16	8,15	6				
	Пакувальні автомати	5	4,09	8,18	30,68	2	0,60	0,82	0,70	18,41	12,85	5				
	Кліпсатори та маркувальні модулі	4	1,13	2,82	7,90	2	0,50	0,80	0,75	3,95	2,96	4				
	Витяжні вентилятори	4	1,54	3,08	9,24	2	0,65	0,80	0,75	6,01	4,50	4				
	Всього по підрозділу: Охолодження та пакування продукції	19	1,13	8,18	66,30	7	0,58	0,80	0,74	38,53	28,47	19	1,10	42,23	28,47	50,93
9	Кондитерський цех															
	Планетарні міксери	5	3,07	9,21	30,70	3	0,55	0,80	0,75	16,89	12,66	5				
	Електропечі кондитерські	4	12,28	36,84	98,24	3	0,65	0,92	0,43	63,86	27,20	4				
	Темперувальні машини	3	5,63	11,26	25,34	2	0,60	0,88	0,54	15,20	8,20	3				
	Декорувальні лінії	4	2,25	6,75	18,00	3	0,50	0,80	0,75	9,00	6,75	4				
	Всього по підрозділу: Кондитерський цех	16	2,25	36,84	172,28	16	0,61	0,85	0,52	104,94	54,82	16	1,10	115,20	54,82	127,58

Продовження 1.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
10	Кремowo-начинкова дільниця															
	Кремоварочні котли	4	7,68	15,36	46,08	2	0,60	0,90	0,48	27,65	13,39	4				
	Гомогенізатори	3	3,07	7,67	16,11	2	0,55	0,82	0,70	8,86	6,18	3				
	Насоси начинки	4	1,54	3,08	9,24	2	0,65	0,78	0,80	6,01	4,82	4				
	Холодильні шафи сировини	4	2,25	4,50	13,50	2	0,70	0,85	0,62	9,45	5,86	4				
	Всього по підрозділу: Кремowo-начинкова дільниця	15	1,54	15,36	84,93	10	0,61	0,84	0,58	51,96	30,25	15	1,10	57,17	30,25	64,68
11	Макаронно-екструзійне відділення															
	Макаронні преси-екструдери	4	15,35	30,70	92,10	2	0,60	0,86	0,59	55,26	32,79	4				
	Сушильні шафи	5	5,63	14,07	49,25	2	0,65	0,90	0,48	32,01	15,50	5				
	Вентилятори сушильних камер	6	2,25	6,75	27,00	3	0,70	0,82	0,70	18,90	13,19	6				
	Транспортери лінії	5	1,54	3,08	11,55	2	0,55	0,78	0,80	6,35	5,10	5				
	Всього по підрозділу: Макаронно-екструзійне відділення	20	1,54	30,70	179,90	20	0,63	0,84	0,59	112,53	66,58	20	1,08	121,95	66,58	138,94
12	Цех миття та санітарної обробки															
	Мийні машини тари	4	5,63	11,26	33,78	2	0,60	0,82	0,70	20,27	14,15	4				
	Насоси СІР-мийки	5	3,07	7,67	26,85	2	0,65	0,80	0,75	17,45	13,09	5				
	Вентиляційні установки	4	2,25	6,75	18,00	3	0,70	0,80	0,75	12,60	9,45	4				
	Станції дозування мийних розчинів	3	1,13	2,26	5,09	2	0,55	0,78	0,80	2,80	2,24	3				
	Всього по підрозділу: Цех миття та санітарної обробки	16	1,13	11,26	83,72	10	0,63	0,80	0,73	53,12	38,93	16	1,09	57,97	38,93	69,83
13	Холодильна та компресорна станція															
	Гвинтові компресори	4	30,71	61,42	184,26	2	0,75	0,86	0,59	138,20	82,00	4				
	Насоси холодоносія	5	5,63	16,89	56,30	3	0,70	0,82	0,70	39,41	27,51	5				
	Вентилятори конденсаторів	8	2,25	5,62	31,48	2	0,75	0,80	0,75	23,61	17,71	8				
	Щити автоматики холодильних камер	3	1,54	3,08	6,93	2	0,55	0,85	0,62	3,81	2,36	3				
	Всього по підрозділу: Холодильна та компресорна станція	20	1,54	61,42	278,97	40	0,73	0,83	0,63	205,03	129,58	20	1,06	217,18	129,58	252,90
14	Насосна станція та водопідготовка															
	Насоси технічної води	5	7,68	15,36	57,60	2	0,70	0,82	0,70	40,32	28,14	5				

Продовження 1.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	Станції фільтрації	4	3,07	9,21	24,56	3	0,60	0,80	0,75	14,74	11,05	4				
	Дозуючі насоси реагентів	4	1,13	2,26	6,78	2	0,55	0,78	0,80	3,73	2,99	4				
	Насоси оборотного водопостачання	4	5,63	14,07	39,40	2	0,70	0,82	0,70	27,58	19,25	4				
	Всього по підрозділу: Насосна станція та водопідготовка	20	1,13	15,36	134,34	14	0,72	2,44	0,75	97,37	73,44	30	1,05	102,26	73,44	125,90
15	Котельня та тепловий пункт															
	Живильні насоси котлів	4	7,68	15,36	46,08	2	0,70	0,82	0,70	32,26	22,51	4				
	Димососи та вентилятори пальників	4	5,63	16,89	45,04	3	0,70	0,80	0,75	31,53	23,65	4				
	Циркуляційні насоси опалення	5	3,07	6,14	23,03	2	0,65	0,82	0,70	14,97	10,45	5				
	Автоматика теплопункту	3	1,54	3,08	6,93	2	0,45	0,85	0,62	3,12	1,93	3				
	Всього по підрозділу: Котельня та тепловий пункт	16	1,54	16,89	121,08	11	0,68	0,82	0,72	81,87	58,54	16	1,08	88,50	58,54	106,11
16	Ремонтно-механічна майстерня															
	Токарні верстати	4	4,09	12,27	32,72	3	0,35	0,75	0,88	11,45	10,10	4				
	Фрезерні верстати	3	5,63	11,26	25,34	2	0,35	0,75	0,88	8,87	7,82	3				
	Зварювальні пости	4	3,07	9,21	24,56	3	0,40	0,65	1,17	9,82	11,49	4				
	Витяжна вентиляція майстерні	3	1,54	3,08	6,93	2	0,65	0,80	0,75	4,50	3,38	3				
	Всього по підрозділу: Ремонтно-механічна майстерня	14	1,54	12,27	89,55	8	0,39	0,74	0,95	34,65	32,78	14	1,16	40,32	32,78	51,97
17	Електротехнічна та КВПіА дільниця															
	Випробувальні стенди	3	2,25	6,75	13,50	3	0,35	0,75	0,88	4,73	4,17	3				
	Зарядні пристрої АКБ	3	1,54	3,08	6,93	2	0,45	0,80	0,75	3,12	2,34	3				
	Робочі місця КВПіА	5	0,82	1,64	6,15	2	0,55	0,90	0,48	3,38	1,64	5				
	Вентиляція електромайстерні	2	1,13	2,26	3,39	2	0,60	0,82	0,70	2,03	1,42	2				
	Всього по підрозділу: Електротехнічна та КВПіА дільниця	13	0,82	6,75	29,97	8	0,44	0,82	0,72	13,26	9,56	13	1,15	15,31	9,56	18,05
18	Адміністративно-побутовий корпус і лабораторія															
	Лабораторні сушильні шафи	3	2,25	6,75	13,50	3	0,50	0,90	0,48	6,75	3,27	3				
	Системи вентиляції та кондиціювання	6	3,07	7,67	32,22	2	0,70	0,82	0,70	22,55	15,74	6				
	Освітлення та офісне обладнання	40	0,20	0,60	16,00	3	0,65	0,95	0,33	10,40	3,42	40				
	Побутові електроприймачі	8	1,02	2,04	12,24	2	0,45	0,90	0,48	5,51	2,67	8				
	Всього по підрозділу: Адміністративно-побутовий корпус і лабораторія	57	0,20	7,67	73,96	38	0,61	0,89	0,56	45,21	25,10	57	1,05	47,54	25,10	53,76
	Всього на шинах 0,4 кВ	369	0,20	69,09	2203,24	345	0,62	1,12	0,64	1376,02	878,55	389	1,05	1488,64	878,55	1728,55

Таблиця 1.2 – Освітлювальні навантаження підприємства харчової промисловості

№	Найменування	F, м ²	p ₀ , Вт/м ²	P _y осв., кВт	K _c	K ₁	cosφ	tgφ	P _p осв., кВт	Q _p осв., кВАр	S _p осв., кВА
1	Приймально-вагова дільниця сировини	420	12	5,04	0,90	1,10	0,95	0,33	4,99	1,64	5,25
2	Борошняно-силосний комплекс	310	10	3,10	0,85	1,10	0,95	0,33	2,90	0,95	3,05
3	Дільниця дозування компонентів	280	16	4,48	0,90	1,10	0,95	0,33	4,44	1,46	4,67
4	Тістоприготувальний цех	520	18	9,36	0,90	1,10	0,95	0,33	9,27	3,05	9,75
5	Дільниця ферментації та вистоювання	680	14	9,52	0,85	1,10	0,95	0,33	8,90	2,93	9,37
6	Формувально-розділювальна лінія	460	16	7,36	0,90	1,10	0,95	0,33	7,29	2,39	7,67
7	Випікальний цех	740	14	10,36	0,90	1,10	0,95	0,33	10,26	3,37	10,80
8	Охолодження та пакування продукції	620	16	9,92	0,90	1,10	0,95	0,33	9,82	3,23	10,34
9	Кондитерський цех	520	18	9,36	0,90	1,10	0,95	0,33	9,27	3,05	9,75
10	Кремowo-начинкова дільниця	360	20	7,20	0,90	1,10	0,95	0,33	7,13	2,34	7,50
11	Макаронно-екструзійне відділення	520	15	7,80	0,85	1,10	0,95	0,33	7,29	2,40	7,68
12	Цех миття та санітарної обробки	260	14	3,64	0,85	1,10	0,95	0,33	3,40	1,12	3,58
13	Холодильна та компресорна станція	300	12	3,60	0,85	1,10	0,95	0,33	3,37	1,11	3,54
14	Насосна станція та водопідготовка	180	10	1,80	0,85	1,10	0,95	0,33	1,68	0,55	1,77
15	Котельня та тепловий пункт	220	12	2,64	0,85	1,10	0,95	0,33	2,47	0,81	2,60
16	Ремонтно-механічна майстерня	240	18	4,32	0,90	1,10	0,95	0,33	4,28	1,41	4,50
17	Електротехнічна та КВПіА дільниця	120	16	1,92	0,90	1,10	0,95	0,33	1,90	0,62	2,00
18	Адміністративно-побутовий корпус і лабораторія	650	14	9,10	0,85	1,10	0,95	0,33	8,51	2,80	8,96
	Територія підприємства	252000	0	47,88	1,00	1,10	0,95	0,33	52,67	17,31	55,44
	Всього по підприємству	259400	-	158,40	-	-	-	-	159,82	52,53	168,23

Таблиця 1.3 - Електричні навантаження вище 1000 В

№	Назва вузлів навантаження та груп електроприймачів	Кількість ел. споживачів	Род мін, кВт	Род max, кВт	Рвст, кВт	т	Кв	cosφ	tgφ	Рср, кВт	Qср, кВАр	пс	Км	Рр, кВт	Qр, кВАр	Sp, кВА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	ТП №1 (1×400 кВА)															
7	Випікальний цех															
	силова	20,00	2,25	69,09	369,37	30,71	0,67	0,88	0,47	246,09	114,75	20,00	1,07	264,46	114,75	288,28
	освітлювальна													10,26	3,37	10,80
1	Приймально-вагова дільниця сировини															
	силова	16,00	1,13	7,67	51,27	6,79	0,54	0,81	0,75	27,84	20,76	16,00	1,12	31,04	20,76	37,34
	освітлювальна													4,99	1,64	5,25
	Всього по ТП №1	36,00	1,13	69,09	420,64	61,14	0,65	0,90	0,49	273,93	135,51	36,00	1,08	295,50	135,51	325,09
	освітлювальна													15,25	5,01	16,05
	Всього													310,75	140,52	341,04
	Компенсація реактивної потужності														-150,00	
	З урахуванням компенсації													310,75	-9,48	310,89
	Втрати в трансформаторі Sn.тр=	400,00											1,00	3,41	18,76	19,07
	Всього на шинах 10 кВ ТП №1													314,16	9,28	314,29
	ТП №2 (1×400 кВА)															
13	Холодильна та компресорна станція															
	силова	20,00	1,54	61,42	278,97	39,88	0,73	0,83	0,63	205,03	129,58	20,00	1,06	217,18	129,58	252,90
	освітлювальна													3,37	1,11	3,54
6	Формувально-розділювальна лінія															
	силова	22,00	1,13	7,67	81,45	6,79	0,52	0,78	0,78	42,32	33,16	22,00	1,10	46,65	33,16	57,24
	освітлювальна													7,29	2,39	7,67
3	Дільниця дозування компонентів															
	силова	16,00	1,13	6,14	47,83	5,43	0,57	0,80	0,75	27,08	20,18	16,00	1,11	30,01	20,18	36,17
	освітлювальна													4,44	1,46	4,67
	Всього по ТП №2	58,00	1,13	61,42	408,25	54,35	0,67	0,83	0,67	274,43	182,92	58,00	1,07	293,84	182,92	346,12
	освітлювальна													15,09	4,96	15,88
	Всього													308,93	187,88	361,57
	Компенсація реактивної потужності														-150,00	
	З урахуванням компенсації													308,93	37,88	311,24
	Втрати в трансформаторі Sn.тр=	400,00											1,00	3,62	19,89	20,22
	Всього на шинах 10 кВ ТП №2													312,55	57,77	317,84
	ТП №3 (1×400 кВА)															
11	Макаронно-екструзійне відділення															
	силова	20,00	1,54	30,70	179,90	19,94	0,63	0,84	0,59	112,53	66,58	20,00	1,08	121,95	66,58	138,94
	освітлювальна													7,29	2,40	7,68

Продовження табл.1.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
5	Дільниця ферментації та вистоювання															
	силова	24,00	1,13	9,21	104,79	8,15	0,55	0,85	0,61	58,15	35,30	24,00	1,09	63,43	35,30	72,59
	освітлювальна													8,90	2,93	9,37
2	Борошняно-силосний комплекс															
	силова	22,00	1,13	15,36	91,66	13,59	0,56	0,76	0,80	51,38	41,01	22,00	1,09	56,19	41,01	69,57
	освітлювальна													2,90	0,95	3,05
8	Охолодження та пакування продукції															
	силова	19,00	1,13	8,18	66,30	7,24	0,58	0,80	0,74	38,52	28,47	19,00	1,10	42,23	28,47	50,93
	освітлювальна													9,82	3,23	10,34
	Всього по ТП №3	85,00	1,13	30,70	442,65	27,17	0,59	0,84	0,66	260,58	171,36	85,00	1,09	283,80	171,36	331,52
	освітлювальна													28,91	9,50	30,44
	Всього													312,71	180,86	361,25
	Компенсація реактивної потужності З урахуванням компенсації														-100,00	
	Втрати в трансформаторі Sn.тр=	400,00											1,00	3,61	19,87	20,20
	Всього на шинах 10 кВ ТП №3													316,32	100,73	331,98
	ТП №4 (1×400 кВА)															
9	Кондитерський цех															
	силова	16,00	2,25	36,84	172,28	16,37	0,61	0,85	0,52	104,94	54,82	16,00	1,10	115,20	54,82	127,58
	освітлювальна													9,27	3,05	9,75
4	Тістоприготувальний цех															
	силова	20,00	1,54	16,89	135,89	10,97	0,54	0,80	0,72	73,71	53,33	20,00	1,10	81,25	53,33	97,19
	освітлювальна													9,27	3,05	9,75
10	Кремowo-начинкова дільниця															
	силова	15,00	1,54	15,36	84,93	9,97	0,61	0,84	0,58	51,96	30,25	15,00	1,10	57,17	30,25	64,68
	освітлювальна													7,13	2,34	7,50
16	Ремонтно-механічна майстерня															
	силова	14,00	1,54	12,27	89,55	7,97	0,39	0,74	0,95	34,65	32,78	14,00	1,16	40,32	32,78	51,97
	освітлювальна													4,28	1,41	4,50
	Всього по ТП №4	65,00	1,54	36,84	482,65	23,92	0,55	0,84	0,65	265,26	171,18	65,00	1,11	293,94	171,18	340,15
	освітлювальна													29,94	9,84	31,51
	Всього													323,88	181,02	371,03
	Компенсація реактивної потужності З урахуванням компенсації														-100,00	
	Втрати в трансформаторі Sn.тр=	400,00											1,00	3,71	20,41	20,74
	Всього на шинах 10 кВ ТП №4													327,59	101,43	342,93
	ТП №5 (1×400 кВА)															
14	Насосна станція та водопідготовка															
	силова	17,00	1,13	15,36	128,34	13,59	0,67	0,81	0,71	86,36	61,44	17,00	1,08	93,22	61,44	111,64
	освітлювальна													1,68	0,55	1,77

Продовження табл.1.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
15	Котельня та тепловий пункт															
	силова	16,00	1,54	16,89	121,08	10,97	0,68	0,82	0,72	81,87	58,54	16,00	1,08	88,50	58,54	106,11
	освітлювальна													2,47	0,81	2,60
12	Цех миття та санітарної обробки															
	силова	16,00	1,13	11,26	83,71	9,96	0,63	0,80	0,73	53,12	38,93	16,00	1,09	57,97	38,93	69,83
	освітлювальна													3,40	1,12	3,58
18	Адміністративно-побутовий корпус і лабораторія															
	силова	57,00	0,20	7,67	73,96	38,35	0,61	0,89	0,56	45,21	25,10	57,00	1,05	47,54	25,10	53,76
	освітлювальна													8,51	2,80	8,96
17	Електротехнічна та КВПіА дільниця															
	силова	13,00	0,82	6,75	29,97	8,23	0,44	0,82	0,72	13,26	9,56	13,00	1,15	15,31	9,56	18,05
	освітлювальна													1,90	0,62	2,00
	Всього по ТП №5	119,00	0,20	16,89	437,06	84,45	0,64	0,82	0,69	279,82	193,57	119,00	1,08	302,54	193,57	359,17
	освітлювальна													17,96	5,90	18,91
	Всього													320,50	199,47	377,51
	Компенсація реактивної потужності З урахуванням компенсації														-150,00	
	Втрати в трансформаторі Sn.тр=	400,00												320,50	49,47	324,30
	Всього на шинах 10 кВ ТП №5													3,78	20,76	21,10
	Всього по підприємству													324,28	70,23	331,80
	силова	363,00	0,20	69,09	2191,25	345,45	0,62	0,85	0,63	1354,02	854,54	363,00	1,09	1469,62	854,54	1700,01
	освітлювальна													107,15	35,22	112,79
	Всього													1576,77	889,76	1810,49
	Компенсуючі пристрої														-750,00	
	Всього з урахуванням компенсації													1576,77	139,76	1582,95
	Втрати в трансформаторах	5,00												18,13	99,69	101,33
	Всього на шинах 10 кВ													1594,90	239,45	1612,77

1.4 Аналіз режимів електроспоживання за добовими та річними графіками навантаження

Для дослідження характеру електроспоживання підприємства та оцінювання режимів функціонування системи електропостачання виконують побудову добових і річних графіків електричних навантажень. Такі графіки дають змогу встановити закономірності зміни потужності протягом доби та року, а також врахувати вплив сезонних особливостей виробництва.

Під час формування графіків прийнято таку кількість днів роботи підприємства: - зимові робочі дні - 147; - літні робочі дні - 105; - зимові вихідні дні - 65; - літні вихідні дні - 48.

Розрахунок погодинних навантажень та побудову графіків виконано за допомогою програмного засобу Grafik.exe.

Таблиця 1.4 - Вихідні погодинні значення потужностей для побудови добових і річного графіків електричного навантаження.

№	Зима, робочі дні			Зима, вихідні дні			Літо, робочі дні			Літо, вихідні дні		
	P	Q	S	P	Q	S	P	Q	S	P	Q	S
1	638	108	647	606	144	623	542	92	550	515	122	529
2	638	108	647	606	144	623	542	92	550	515	122	529
3	638	108	647	606	144	623	542	92	550	515	122	529
4	638	108	647	606	144	623	542	92	550	515	122	529
5	638	108	647	606	144	623	542	92	550	515	122	529
6	638	108	647	606	144	623	542	92	550	515	122	529
7	1116	155	1127	606	144	623	949	132	958	515	122	529
8	1595	179	1605	606	144	623	1356	153	1365	515	122	529
9	1595	239	1613	431	120	447	1356	203	1371	366	102	380
10	1595	239	1613	431	120	447	1356	203	1371	366	102	380
11	1435	179	1446	431	120	447	1220	153	1230	366	102	380
12	1276	155	1285	431	120	447	1085	132	1093	366	102	380
13	1435	179	1446	431	120	447	1220	153	1230	366	102	380
14	1435	179	1446	431	120	447	1220	153	1230	366	102	380
15	1595	191	1606	431	120	447	1356	163	1366	366	102	380
16	1595	191	1606	431	120	447	1356	163	1366	366	102	380
17	1435	179	1446	431	120	447	1220	153	1230	366	102	380
18	1276	155	1285	606	144	623	1085	132	1093	515	122	529
19	957	120	964	606	144	623	813	102	819	515	122	529
20	957	120	964	606	144	623	813	102	819	515	122	529
21	797	108	804	606	144	623	678	92	684	515	122	529
22	797	108	804	606	144	623	678	92	684	515	122	529
23	797	108	804	606	144	623	678	92	684	515	122	529
24	638	100	646	606	144	623	542	85	549	515	122	529

Річне споживання активної електроенергії визначається за побудованими графіками навантаження:

$$W_p = 7551000 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Річне споживання реактивної електроенергії становить:

$$V_p = 1177758 \text{ квар} \cdot \text{год}$$

Кількість годин використання максимального навантаження визначається за виразом:

$$T_{max} = \frac{\sqrt{W_p^2 + Q_p^2}}{P_p} = \frac{\sqrt{7551000^2 + 1177758^2}}{1594,9} = 4738,7 \text{ год}$$

Тривалість повних втрат потужності визначається відповідно до нормативної методики:

$$\tau = \left(0,124 + \frac{T_m}{10000}\right)^2 \cdot 8760 = \left(0,124 + \frac{4738,7}{10000}\right)^2 \cdot 8760 = 3131,25 \text{ год}$$

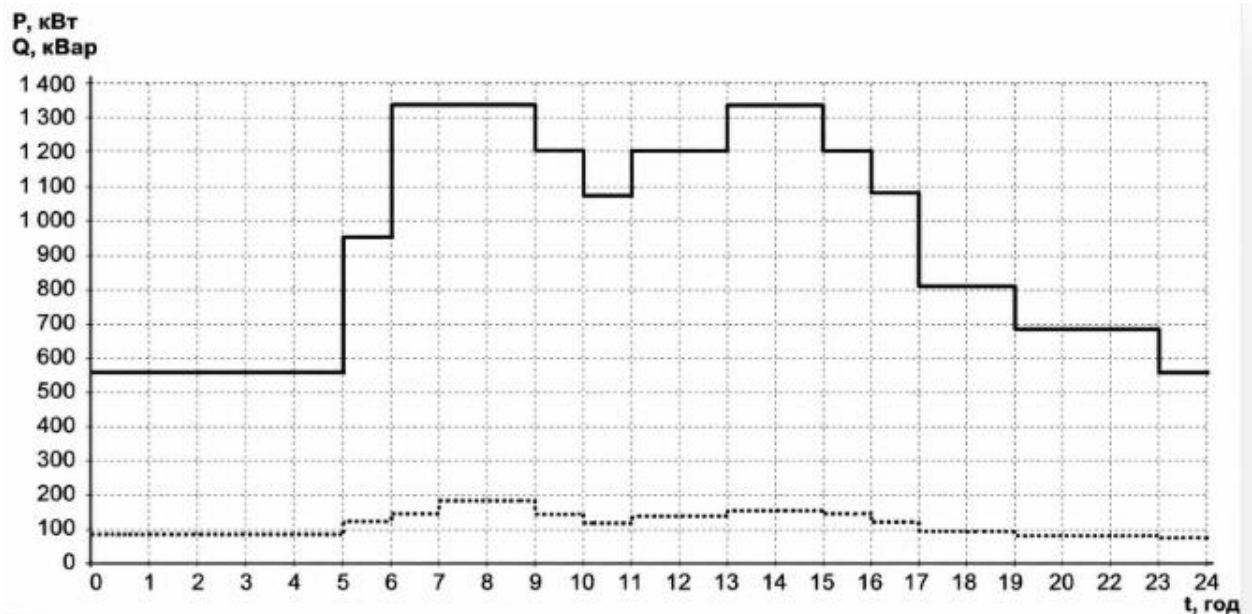


Рисунок 1.1 - Графік зміни активної та реактивної потужності протягом літнього робочого дня

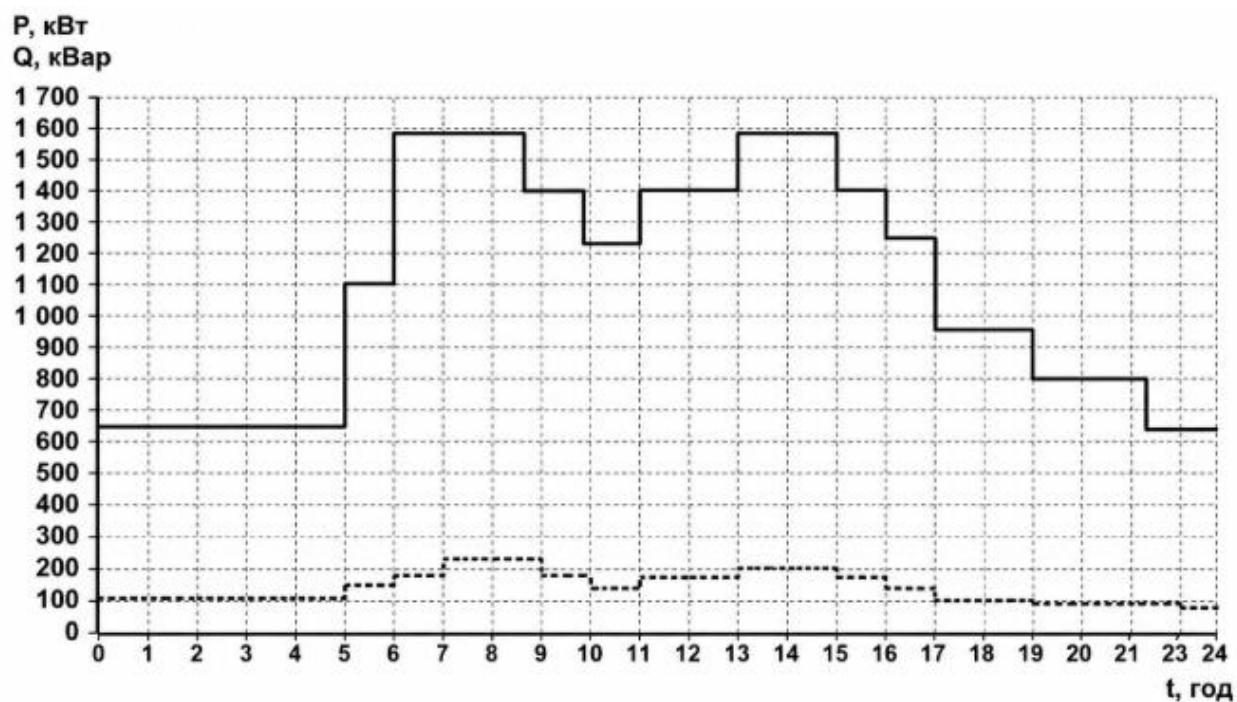


Рисунок 1.2 - Добовий графік активного і реактивного навантаження для зимового робочого дня

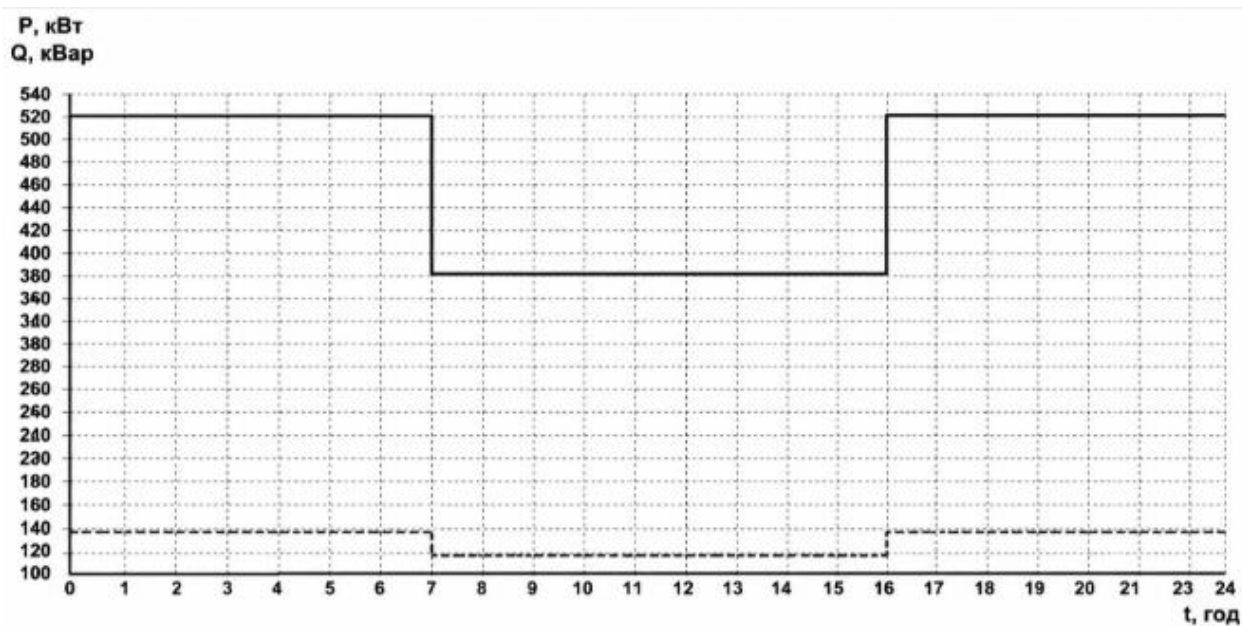


Рисунок 1.3 - Залежність активної та реактивної потужності в літній вихідний день

P, кВт
Q, кВар

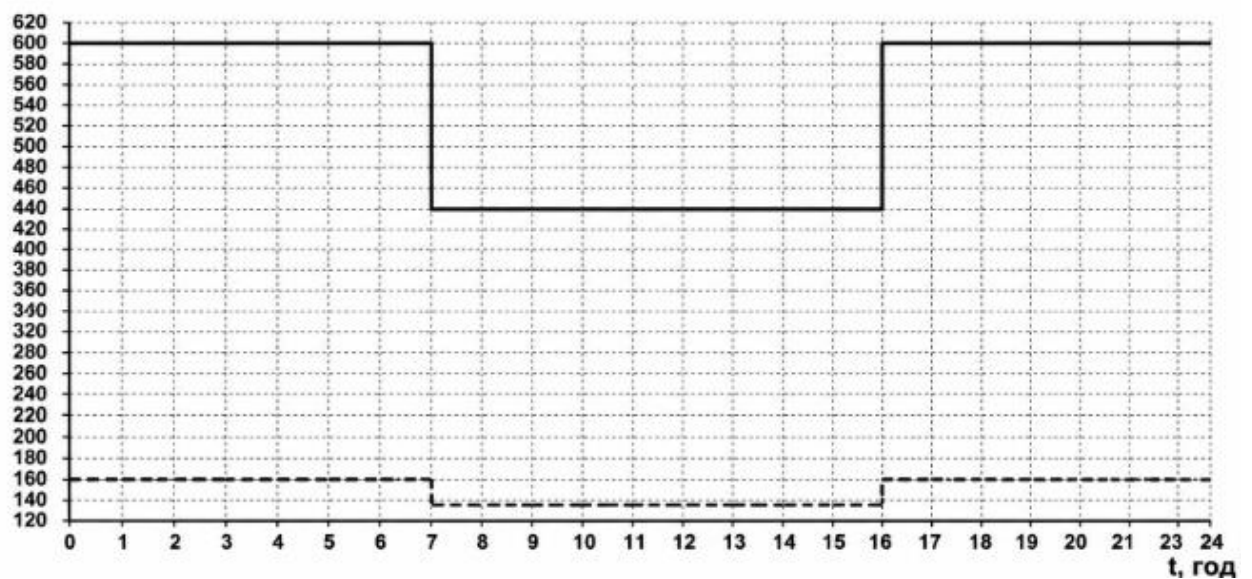


Рисунок 1.4 - Добовий графік електричного навантаження для зимового вихідного дня

P, кВт
Q, кВар

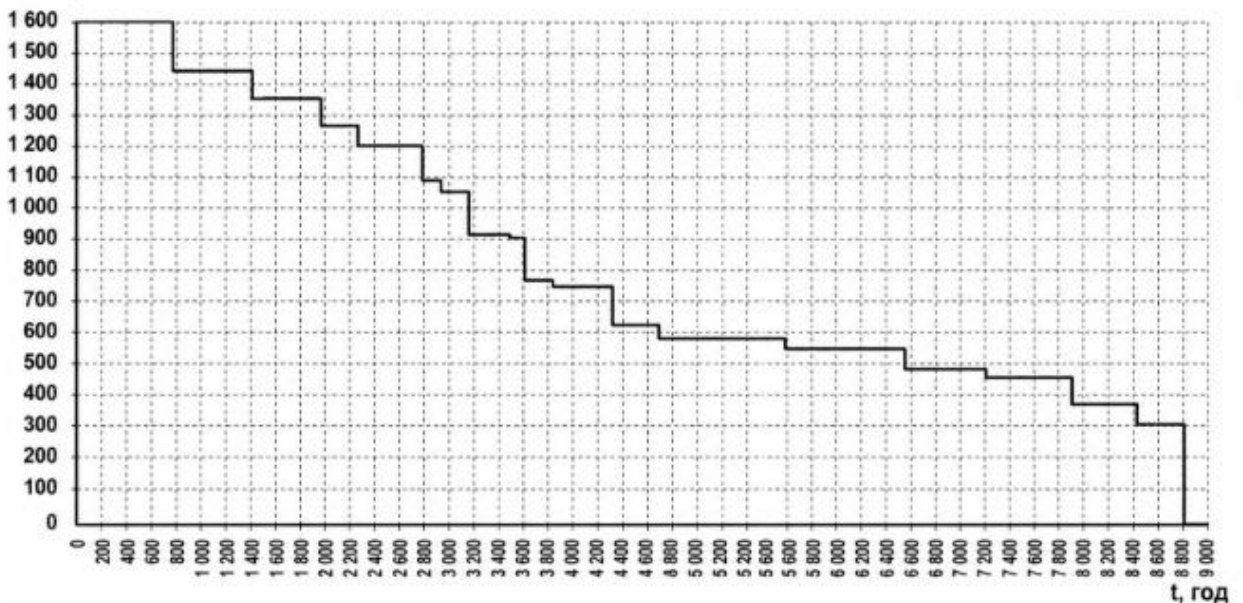


Рисунок 1.5 - Крива тривалості річного повного електричного навантаження

Побудовані графіки використовуються для оцінювання режимів електроспоживання підприємства, аналізу завантаження силових трансформаторів та перевірки працездатності елементів.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Арк.

23

2 РОЗРАХУНОК КАРТОГРАМИ НАВАНТАЖЕНЬ ТА ЦЕНТРУ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Картограма електричних навантажень використовується для наочного відображення розподілу споживаної потужності між окремими підрозділами підприємства. Для кожного цеху на генеральному плані задаються координати центра навантаження, після чого визначаються сумарні активна, реактивна та повна потужності.

Вихідними даними для розрахунку є силові та освітлювальні навантаження підрозділів, а також орієнтовні координати їх розміщення на генплані. Початок координат прийнято в лівому нижньому куті ділянки, вісь X спрямовано праворуч, а вісь Y - вгору.

Сумарні складові навантаження окремого підрозділу визначаються за формулами, за результатами розрахунку отримано:

$$P_{\Sigma i} = P_{\text{сил.}i} + P_{\text{осв.}i} = 1593,45 \text{ кВт}$$

$$Q_{\Sigma i} = Q_{\text{сил.}i} + Q_{\text{осв.}i} = 900,81 \text{ квар}$$

$$S_{\Sigma i} = \sqrt{P_{\Sigma i}^2 + Q_{\Sigma i}^2} = 1830,45 \text{ кВА}$$

Для побудови картограми визначається радіус кола навантаження та кут освітлювального сектора:

$$R_i = \sqrt{\frac{P_{\Sigma i}}{\pi \cdot m}} = \sqrt{\frac{52,69}{3,14 \cdot 0,5}} = 18,3$$

$$\alpha_{\text{осв.}i} = \frac{360 \cdot P_{\text{осв.}i}}{P_{\Sigma i}} = \frac{360 \cdot 4,99}{52,69} = 34,1$$

У розрахунку прийнято масштаб картограми $m = 0,5 \text{ кВт/мм}^2$. За цим масштабом більші за потужністю підрозділи мають більший радіус кола на картограмі.

Координати загального центру електричних навантажень визначаються за активною потужністю:

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

$$X_0 = \frac{\sum(P_{\Sigma i} \cdot x_i)}{\sum P_{\Sigma i}} = \frac{58039,53}{1593,45} = 36,42$$

$$Y_0 = \frac{\sum(P_{\Sigma i} \cdot y_i)}{\sum P_{\Sigma i}} = \frac{61913,21}{1593,45} = 38,85$$

Підсумкові дані розрахунку наведено в таблиці 2.1.

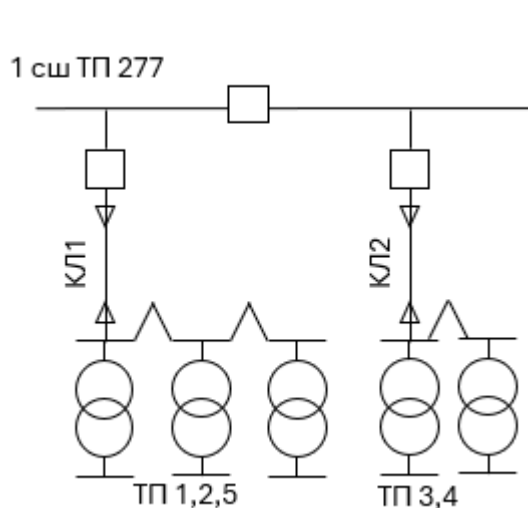
№	Найменування цеху/об'єкта	Рсил, кВт	Qсил, квар	Росв, кВт	Qосв, квар	РΣ, кВт	QΣ, квар	ΣS, кВА	x, ум. од.	y, ум. од.	РΣ·x	РΣ·y	αосв, град	R, мм
1	Приймально-вагова дільниця сировини	47,70	31,80	4,99	1,64	52,69	33,44	62,41	20	20	1053,8	1053,8	34,1	18,3
2	Борошняно-силосний комплекс	56,19	41,01	2,90	0,95	59,09	41,96	72,47	64	2	3781,8	118,2	17,7	19,4
3	Дільниця дозування компонентів	30,01	20,18	4,44	1,46	34,45	21,64	40,68	35	40	1205,8	1378,0	46,4	14,8
4	Тістоприготувальний цех	81,25	53,33	9,27	3,05	90,52	56,38	106,64	27	63	2444,0	5702,8	36,9	24,0
5	Дільниця ферментації та	63,43	35,30	8,90	2,93	72,33	38,23	81,81	56	3	4050,5	217,0	44,3	21,5
6	Формувально-розділювальна	46,65	33,16	7,29	2,39	53,94	35,55	64,60	36	20	1941,8	1078,8	48,7	18,5
7	Випікальний цех	264,46	114,75	10,26	3,37	274,72	118,12	299,04	27	60	7417,4	16483,2	13,4	41,8
8	Охолодження та пакування продукції	42,23	28,47	9,82	3,23	52,05	31,70	60,94	66	2	3435,3	104,1	67,9	18,2
9	Кондитерський цех	115,20	54,82	9,27	3,05	124,47	57,87	137,27	35	49	4356,5	6099,0	26,8	28,1
10	Кремowo-начинкова дільниця	57,17	30,25	7,13	2,34	64,30	32,59	72,09	44	49	2829,2	3150,7	39,9	20,2
11	відділення	121,95	66,58	7,29	2,40	129,24	68,98	146,50	52	28	6720,5	3618,7	20,3	28,7
12	Цех миття та санітарної обробки	57,97	38,93	3,40	1,12	61,37	40,05	73,28	43	32	2638,9	1963,8	19,9	19,8
13	Холодильна та компресорна станція	217,18	129,58	3,37	1,11	220,55	130,69	256,36	58	20	12791,9	4411,0	5,5	37,5
14	водопідготовка	93,22	61,44	1,68	0,55	94,90	61,99	113,35	6	62	569,4	5883,8	6,4	24,6
15	Котельня та тепловий пункт	88,50	58,54	2,47	0,81	90,97	59,35	108,62	8	38	727,8	3456,9	9,8	24,1
16	Ремонтно-механічна майстерня	40,32	32,78	4,28	1,41	44,60	34,19	56,20	30	78	1338,0	3478,8	34,5	16,9
17	Електротехнічна та КВГПА дільниця	15,31	9,56	1,9	0,62	17,21	10,18	20,00	7	53	120,5	912,1	39,7	10,5
18	Адміністративно-побутовий корпус і лабораторія	47,54	25,1	8,51	2,8	56,05	27,9	62,61	11	50	616,6	2802,5	54,7	18,9
Разом		1486,28	865,58	107,17	35,23	1593,5	900,81	1830,45			58039,5	61913,2	24,21	

Отже, центр електричних навантажень підприємства має координати $X_0 = 36,42$ та $Y_0 = 38,85$. Отримана точка враховується під час вибору місця розташування розподільного пункту, оскільки її наближення до центру навантажень дозволяє скоротити довжину кабельних ліній і зменшити втрати електроенергії.

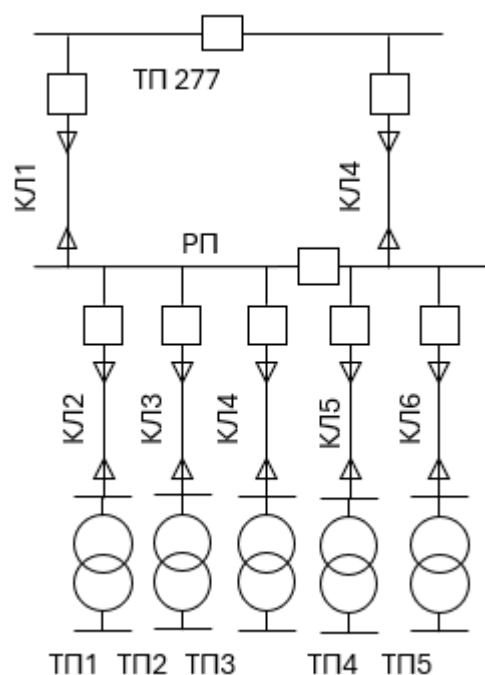
З ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ПОРІВНЯННЯ ВАРІАНТІВ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Для вибору раціональної схеми живлення підприємства харчової промисловості виконано техніко-економічне порівняння двох варіантів внутрішнього електропостачання 10 кВ.

Порівнюються такі варіанти: варіант 1 - живлення п'яти трансформаторних підстанцій магістральними кабельними лініями без РП; варіант 2 - живлення підприємства через розподільний пункт РП-10 кВ. Компенсація реактивної потужності на цьому етапі не враховується.



Варіант 1



Варіант 2

Рисунок 3.1 – Варіанти схем електропостачання

Приведені витрати для і-го варіанта визначаються за формулою:

$$З_i = E_H \cdot K_i + C_i + C_{\text{втр.}i}$$

де K_i - капітальні вкладення, тис. грн; C_i - експлуатаційні витрати, тис. грн/рік; $C_{втр.і}$ - вартість втрат електроенергії, тис. грн/рік; E_n - нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень.

Розрахунковий струм кабельної лінії визначається за виразом:

$$I_p = \frac{S_p}{n \cdot \sqrt{3} \cdot U_n}$$

Економічний переріз кабелю визначається за формулою:

$$F_{ек} = \frac{I_p}{j_{ек}}$$

Втрати потужності та електроенергії у кабельній лінії визначаються за залежностями:

$$\Delta P_{л} = \Delta P_{1км} \cdot l \cdot n \cdot K_3^2$$

$$\Delta W_{л} = \Delta P_{л} \cdot \tau_{max}$$

$$C_{втр.л} = \frac{\Delta W_{л} \cdot C_0}{1000}$$

Виконаємо розрахунок головної кабельної лінії варіанта 2 ТП-277-РП:

$$I_p = \frac{S_p}{n \cdot \sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{1612,74 \text{ кВА}}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10 \text{ кВ}} = 46,56 \text{ А}$$

$$F_{ек} = \frac{I_p}{j_{ек}} = \frac{46,56}{1,4} = 33,25 \text{ мм}^2$$

$$K_3 = \frac{46,56}{205} = 0,23$$

$$\Delta P_{л} = \Delta P_{1км} \cdot l \cdot n \cdot K_3^2 = 3,6 \cdot 0,42 \cdot 2 \cdot 0,23^2 = 0,156 \text{ кВт}$$

$$\Delta W_{л} = \Delta P_{л} \cdot \tau_{max} = 0,156 \cdot 3131,25 = 488,36 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

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

3.1 Розрахунок перерізів кабельних ліній

Таблиця 3.1 - Розрахунок перерізів кабельних ліній для варіанта 1.

№ КЛ	Sp, кВА	n	Ip, А	Ip.ав, А	Fек, мм²	Fст, мм²	Марка кабелю	Idоп, А	Kз
ТП-277-ТП1	1612,74	2	46,56	93,11	33,25	95	ААБл-10 3×95	205	0,23
ТП1-ТП2	1260,51	1	72,78	145,55	51,98	70	ААБл-10 3×70	165	0,44
ТП2-ТП5	885,21	1	51,11	102,22	36,51	70	ААБл-10 3×70	165	0,31
ТП-277-ТП3	759,20	1	43,83	87,66	31,31	70	ААБл-10 3×70	165	0,27
ТП3-ТП4	384,56	1	22,20	44,41	15,86	35	ААБл-10 3×35	115	0,19

Таблиця 3.2 - Розрахунок перерізів кабельних ліній для варіанта 2 з РП-10 кВ.

№ КЛ	Sp, кВА	n	Ip, А	Ip.ав, А	Fек, мм²	Fст, мм²	Марка кабелю	Idоп, А	Kз
ТП-277-РП	1612,74	2	46,56	93,11	33,25	95	ААБл-10 3×95	205	0,23
РП-ТП1	352,23	1	20,34	40,67	14,53	35	ААБл-10 3×35	115	0,18
РП-ТП2	375,30	1	21,67	43,34	15,48	35	ААБл-10 3×35	115	0,19
РП-ТП3	374,64	1	21,63	43,26	15,45	35	ААБл-10 3×35	115	0,19
РП-ТП4	384,56	1	22,20	44,41	15,86	35	ААБл-10 3×35	115	0,19
РП-ТП5	392,00	1	22,63	45,26	16,17	35	ААБл-10 3×35	115	0,20

3.2 Розрахунок втрат електроенергії

Таблиця 3.3 - Втрати електроенергії в кабельних лініях для варіанта 1.

№ КЛ	Sp, кВА	n	Ip, А	Kз	l, км	ΔPл, кВт	ΔWл, кВт·год	C0, грн/кВт·год	Cвтр, тис. грн
ТП-277-ТП1	1612,74	2	46,56	0,23	0,70	0,260	813,93	14,00	11,40
ТП1-ТП2	1260,51	1	72,78	0,44	0,30	0,263	822,35	14,00	11,51
ТП2-ТП5	885,21	1	51,11	0,31	0,22	0,095	297,41	14,00	4,16
ТП-277-ТП3	759,20	1	43,83	0,27	0,64	0,203	636,40	14,00	8,91
ТП3-ТП4	384,56	1	22,20	0,19	0,25	0,075	233,43	14,00	3,27
Всього						0,895	2803,53		39,25

Таблиця 3.4 - Втрати електроенергії в кабельних лініях для варіанта 2 з РП-10 кВ.

№ КЛ	Sp, кВА	n	Ip, А	Kз	l, км	ΔPл, кВт	ΔWл, кВт·год	C0, грн/кВт·год	Cвтр, тис. грн
ТП-277-РП	1612,74	2	46,56	0,23	0,42	0,156	488,36	14,00	6,84
РП-ТП1	352,23	1	20,34	0,18	0,08	0,020	62,67	14,00	0,88
РП-ТП2	375,30	1	21,67	0,19	0,11	0,031	97,82	14,00	1,37
РП-ТП3	374,64	1	21,63	0,19	0,10	0,028	88,62	14,00	1,24
РП-ТП4	384,56	1	22,20	0,19	0,07	0,021	65,36	14,00	0,92
РП-ТП5	392,00	1	22,63	0,20	0,12	0,037	116,42	14,00	1,63
Всього						0,294	919,25		12,87

Втрати електроенергії в трансформаторах однакові для обох варіантів, оскільки кількість і потужність цехових трансформаторів не змінюються.

Розрахунок виконано за формулою:

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

$$\Delta W_{\text{тр}} = \sum (\Delta P_x \cdot t + \Delta P_k \cdot K_{\text{з.тр}}^2 \cdot \tau_{\text{max}})$$

$$\Delta W_{\text{тр}} = 112433,96 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

$$C_{\text{втр.тр}} = \frac{\Delta W_{\text{тр}} \cdot C_0}{1000} = \frac{112433,96 \cdot 14,00}{1000} = 1574,08 \text{ тис. грн}$$

Таблиця 3.5 - Втрати електроенергії по ТП

ТП	СТП, кВА	Стр, кВА	Кз.тр	ΔW _{тр} , кВт·год
ТП1	352,23	400	0,881	20624,85
ТП2	375,30	400	0,938	22431,44
ТП3	374,64	400	0,937	22378,17
ТП4	384,56	400	0,961	23188,81
ТП5	392,00	400	0,980	23810,69
Всього				112433,96

3.3 Розрахунок капітальних вкладень та експлуатаційних витрат

Для розрахунку прийнято актуалізовані орієнтовні вартості обладнання: камера КСО/КРУ 10 кВ - 250 тис. грн/шт; вимикач навантаження - 65 тис. грн/шт; будівельно-монтажна частина РП - 400 тис. грн; траншея - 350 тис. грн/км. Вартість кабельних ліній з урахуванням матеріалів і монтажу: 3×35 - 950 тис. грн/км, 3×70 - 1450 тис. грн/км, 3×95 - 1750 тис. грн/км.

Таблиця 3.6 – Розрахунок капітальних вкладень

Варіант	Елемент схеми	Одиниця	Кількість	Вартість одиниці, тис. грн	Вартість, тис. грн
I	Кабельні лінії	км	за розрахунком	-	4369,50
	Траншеї	км	за розрахунком	350	983,50
	КСО/КРУ 10 кВ	шт	2	250	500,00
	Вимикачі навантаження	шт	6	65	390,00
	Будівельна частина РП	компл.	-	400	0,00
	Всього				6243,00
II	Кабельні лінії	км	за розрахунком	-	1926,00
	Траншеї	км	за розрахунком	350	462,00
	КСО/КРУ 10 кВ	шт	8	250	2000,00
	Вимикачі навантаження	шт	-	65	0,00
	Будівельна частина РП	компл.	1	400	400,00
	Всього				4788,00

Експлуатаційні витрати визначаються як сума амортизаційних відрахувань і витрат на поточне обслуговування:

						Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$C_i = C_{a.i} + C_{e.i}$$

Для кабельних ліній разом із траншеями прийнято 7 % від вартості, для КСО/КРУ та вимикачів навантаження - 13 %, для будівельної частини РП - 7 %.

Таблиця 3.7 – Розрахунок експлуатаційних витрат

Показник	Варіант 1, тис. грн/рік	Варіант 2, тис. грн/рік
Експлуатаційні витрати	490,41	455,16
Втрати у кабельних лініях	39,25	12,87
Втрати у трансформаторах	1574,08	1574,08

3.4 Порівняння приведених витрат

Приведені витрати для першого варіанта становлять:

$$Z_1 = E_n \cdot K_i + C_i + C_{\text{втр}.i} = 0,15 \cdot 6243,00 + 490,41 + 39,25 + 1574,08 \\ = 3040,18 \text{ тис. грн/рік}$$

Приведені витрати для варіанта з РП-10 кВ становлять:

$$Z_2 = E_n \cdot K_i + C_i + C_{\text{втр}.i} = 0,15 \cdot 4788,00 + 455,16 + 12,87 + 1574,08 \\ = 2760,30 \text{ тис. грн/рік}$$

Таблиця 3.8 – Результати розрахунку приведених витрат по варіантам

Показник	Варіант 1 без РП	Варіант 2 з РП
Капітальні вкладення К, тис. грн	6243,00	4788,00
Експлуатаційні витрати С, тис. грн/рік	490,41	455,16
Вартість втрат у КЛ, тис. грн/рік	39,25	12,87
Вартість втрат в трансформаторах, тис. грн/рік	1574,08	1574,08
Приведені витрати З, тис. грн/рік	3040,18	2760,30
Економія варіанта 2, тис. грн/рік	-	279,88
Відносна економія, %	-	9,21

Таким чином, до подальшого проектування приймається варіант 2 - схема електропостачання з РП-10 кВ на території підприємства. Цей варіант має меншу сумарну довжину кабельних трас, нижчі втрати електроенергії в лініях і менші приведені витрати, що забезпечує його техніко-економічну перевагу.

4 РЕЖИМИ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

В цьому розділі виконується уточнений розрахунок компенсуючих пристроїв з урахуванням того, що задані активна та реактивна потужності відносяться до сторони 0,4 кВ цехових трансформаторних підстанцій.

Спочатку визначається баланс реактивної потужності, далі розглядаються варіанти за кількістю трансформаторів, після чого обирається економічно доцільний варіант і уточнюється розміщення батарей статичних конденсаторів.

4.1 Розрахунок балансу реактивної потужності

Активне та реактивне навантаження на стороні 0,4 кВ приймається за вихідними даними:

$$P_{p.nn} = 1576,77 \text{ кВт}$$

$$Q_{p.nn} = 889,76 \text{ квар}$$

Для переходу до балансу на стороні 10 кВ враховуються активні та реактивні втрати у трансформаторах підприємства:

$$\Delta P_{tr} = 18,12 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_{tr} = 99,68 \text{ квар}$$

Розрахункова активна потужність підприємства з урахуванням втрат в трансформаторах:

$$P_{\Sigma} = P_{p.nn} + \Delta P_{tr} = 1576,77 + 18,12 = 1594,89 \text{ кВт} \quad (4.1)$$

Розрахункова реактивна потужність підприємства з урахуванням втрат в трансформаторах:

$$Q_{\Sigma} = Q_{p.nn} + \Delta Q_{tr} = 889,76 + 99,68 = 989,44 \text{ квар} \quad (4.2)$$

Економічно доцільна реактивна потужність, що може бути одержана від енергосистеми, визначається за середньозваженим значенням $\operatorname{tg} \varphi_e = 0,15$:

$$Q_e = P_{\Sigma} \cdot \operatorname{tg} \varphi_e = 1594,89 \cdot 0,15 = 239,23 \text{ квар} \quad (4.3)$$

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	31

Сумарна потужність компенсуючих пристроїв визначається з умови балансу реактивної потужності:

$$Q_{\text{ку}} = Q_{\Sigma} - Q_{\text{е}} = 989,44 - 239,23 = 750,21 \text{ квар} \quad (4.4)$$

Отже, для підприємства необхідно встановити компенсуючі пристрої сумарною потужністю приблизно 750,21 квар. Для подальшого порівняння приймаємо стандартне значення 750 квар.

4.2 Визначення мінімальної кількості трансформаторів

Мінімальна кількість трансформаторів визначається за умовою допустимого завантаження трансформаторів у нормальному режимі:

$$N_0 = \frac{P_{\text{р.нн}}}{K_{\Sigma} \cdot S_{\text{тр}}} = \frac{1576,77}{0,8 \cdot 400} = 4,93 \quad (4.5)$$

Приймаємо мінімально необхідну кількість трансформаторів $N_0 = 5$. Для перевірки економічної доцільності розглядаємо три варіанти: $N = 5$, $N = 6$ та $N = 7$.

Розрахунок варіанта I: $N = 5$

Реактивна потужність, яку можна передати через п'ять трансформаторів із сторони 10 кВ в мережу 0,4 кВ без перевищення допустимого завантаження, становить:

$$Q_{\text{п.5}} = \sqrt{(5 \cdot 400 \cdot 0,8)^2 - 1576,77^2} = 271,65 \text{ квар} \quad (4.6)$$

Для забезпечення допустимого режиму роботи трансформаторів на стороні 0,4 кВ встановлюються низьковольтні БСК сумарною потужністю 650 квар. Тоді реактивна потужність, що залишається для передачі через трансформатори, становить:

$$Q_{\text{зал.5}} = Q_{\text{р.нн}} - Q_{\text{кн.5}} = 889,76 - 650,00 = 239,76 \text{ квар} \quad (4.7)$$

Оскільки $Q_{\text{зал.5}} < Q_{\text{п.5}}$, прийнятий розподіл компенсації не перевантажує трансформатори. На стороні 10 кВ встановлюються дві високовольтні БСК по 50 квар:

$$Q_{\text{кв.5}} = 2 \cdot 50 = 100 \text{ квар}$$

$$Q_{\text{ку.5}} = Q_{\text{кн.5}} + Q_{\text{кв.5}} = 650 + 100 = 750 \text{ квар} \quad (4.8)$$

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

Розрахунок варіанта II: N = 6

$$Q_{п.6} = \sqrt{(6 \cdot 400 \cdot 0,8)^2 - 1576,77^2} = 1095,53 \text{ квар} \quad (4.9)$$

При встановленні шести трансформаторів реактивна потужність, що може передаватися через трансформатори, перевищує розрахункову реактивну потужність на стороні 0,4 кВ. Тому низьковольтні БСК не встановлюються, а компенсація виконується на стороні 10 кВ:

$$Q_{кн.6} = 0 \text{ квар}$$

$$Q_{кв.6} = 750 \text{ квар}$$

Розрахунок варіанта III: N = 7

$$Q_{п.7} = \sqrt{(7 \cdot 400 \cdot 0,8)^2 - 1576,77^2} = 1591,04 \text{ квар} \quad (4.10)$$

У варіанті з сімома трансформаторами реактивна потужність також може передаватися через трансформатори без перевищення допустимого завантаження. Тому приймається компенсація на стороні 10 кВ:

$$Q_{кн.7} = 0 \text{ квар}$$

$$Q_{кв.7} = 750 \text{ квар}$$

4.3 Розрахунок втрат активної потужності та приведених витрат

Втрати активної потужності у батареях статичних конденсаторів визначаються за питомими втратами. Для низьковольтних БСК прийнято $\Delta P_{пит.н} = 0,003 \text{ кВт/квар}$, для високовольтних БСК - $\Delta P_{пит.в} = 0,0045 \text{ кВт/квар}$.

$$\Delta P_{кн} = 0,003 \cdot Q_{кн} \quad (4.11)$$

$$\Delta P_{кв} = 0,0045 \cdot Q_{кв} \quad (4.12)$$

Річні витрати на втрати електроенергії визначаються за тарифом $C_0 = 6,0 \text{ грн/кВт} \cdot \text{год}$ та тривалістю максимальних втрат $\tau = 3131,25 \text{ год}$:

$$C_{втр} = \frac{\Delta P \Sigma \cdot C_0 \cdot \tau}{1000} \quad (4.13)$$

Розрахункові приведені витрати визначаються за формулою:

$$Z = E_n \cdot (K_{кн} + K_{кв} + K_{кп}) + C_{втр} \quad (4.14)$$

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

Таблиця 4.1 – Баланс реактивної потужності за варіантами

N	Q _п , квар	Q _{кн} , квар	Q _{кв} , квар	Q _{ку} , квар	Q _{зал} , квар	БСК 0,4 кВ	БСК 10 кВ
5	271,65	650,00	100,00	750,00	239,76	5×100 + 3×50	2×50
6	1095,53	0,00	750,00	750,00	889,76	-	2×375
7	1591,04	0,00	750,00	750,00	889,76	-	2×375

Таблиця 4.2 – Втрати активної потужності та вартість втрат електроенергії

N	ΔP _{кн} , кВт	ΔP _{кв} , кВт	ΔP _{тп} , кВт	ΔP _Σ , кВт	С _{втр} , тис. грн/рік
5	1,95	0,45	0,26	2,66	49,98
6	0,00	3,37	2,99	6,36	119,56
7	0,00	3,37	2,56	5,94	111,53

Таблиця 4.3 – Порівняння приведених витрат за варіантами

N	К _{кн} , тис. грн	К _{кв} , тис. грн	К _{кп} , тис. грн	К _Σ , тис. грн	З, тис. грн/рік
5	499,09	281,28	590,00	1370,36	214,43
6	0,00	2109,56	708,00	2817,56	457,66
7	0,00	2109,56	826,00	2935,56	463,80

4.4 Вибір місця та потужності БСК

Найменші приведені витрати отримано для варіанта N = 5. У цьому варіанті приймаються п'ять трансформаторів по 400 кВА. Сумарна потужність БСК становить 750 квар, що практично відповідає розрахунковому значенню 750,21 квар. Із цієї потужності 100 квар встановлюється на стороні 10 кВ у вигляді двох високовольтних БСК по 50 квар, а 650 квар розподіляється між шинами 0,4 кВ цехових ТП.

Таблиця 4.4 – Розподіл низьковольтних БСК між цеховими ТП

ТП	N _{тр}	P _p , кВт	Q _p , квар	S _p , кВА	Q _{БСК} , квар	Q' _p , квар	S' _p , кВА	Кз до	Кз після	Тип БСК
ТП №1	1	295,62	166,81	352,23	150,00	16,81	296,10	0,881	0,74	УКРМ-0,4-100 + УКРМ-0,4-50
ТП №2	1	314,98	177,74	375,30	150,00	27,74	316,20	0,938	0,79	УКРМ-0,4-100 + УКРМ-0,4-50
ТП №3	1	314,43	177,43	374,64	100,00	77,43	323,82	0,937	0,81	УКРМ-0,4-100
ТП №4	1	322,75	182,13	384,56	100,00	82,13	333,04	0,961	0,833	УКРМ-0,4-100
ТП №5	1	329,00	185,65	392,00	150,00	35,65	330,92	0,98	0,827	УКРМ-0,4-100 + УКРМ-0,4-50

За результатами техніко-економічного порівняння прийнято варіант з п'ятьма трансформаторами потужністю 400 кВА. Компенсація реактивної потужності виконується комбіновано: частина БСК встановлюється на стороні 10 кВ, а основна частина - у мережі 0,4 кВ безпосередньо біля центрів споживання реактивної потужності. Такий варіант забезпечує необхідну сумарну потужність компенсації, зменшує перетоки реактивної потужності через трансформатори та має найменші приведені витрати серед розглянутих варіантів.

До встановлення приймається: дві високовольтні БСК по 50 квар на стороні 10 кВ та низьковольтні установки сумарною потужністю 650 квар на стороні 0,4 кВ. Загальна встановлена потужність компенсуючих пристроїв становить 750 квар, що відповідає розрахунковій потребі $Q_{ку} \approx 750,21$ квар.

5 ВИЗНАЧЕННЯ ПОТУЖНОСТІ ТА МІСЦЯ ВСТАНОВЛЕННЯ ЦЕХОВИХ ТРАНСФОРМАТОРНИХ ПІДСТАНЦІЙ

Розміщення розподільного пункту, цехових трансформаторних підстанцій та інших вузлів електропостачання приймається з урахуванням величини і характеру навантажень, а також їх розташування на генеральному плані підприємства. Додатково враховують умови прокладання кабельних ліній, вимоги пожежної та електричної безпеки, можливість обслуговування обладнання, вентиляцію приміщень і технологічну структуру виробництва.

Цехові ТП доцільно наближати до центрів електричних навантажень відповідних груп споживачів. Таке рішення дає змогу зменшити довжину мереж 0,4 кВ, знизити втрати напруги та активної потужності, а також підвищити економічність роботи системи внутрішнього електропостачання.

Кількість трансформаторів і їх номінальна потужність визначаються за розрахунковими навантаженнями окремих ТП, категорією надійності електроприймачів та допустимим завантаженням силових трансформаторів. Для даного підприємства приймаються одотрансформаторні комплектні підстанції 10/0,4 кВ із трансформаторами типу ТМ-400/10.

Розрахункова потужність трансформатора для перевірки за аварійним перевантаженням визначається за виразом:

$$S_{\text{тр.р}} = \frac{S_p}{1,4 \cdot (n-1)} \quad (5.1)$$

Для одотрансформаторної цехової підстанції перевірку виконують за фактичним коефіцієнтом завантаження:

$$K_3 = \frac{S_p}{n \cdot S_{\text{ном}}} \quad (5.2)$$

Перевірка трансформатора за умовами систематичного та аварійного перевантаження виконується за нерівностями:

$$S_{\text{ном}} \geq \frac{S_p}{K_1} \quad (5.3)$$

$$S_{\text{ном}} \geq \frac{S_p}{K_2} \quad (5.4)$$

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

Для двозмінного режиму роботи приймається коефіцієнт систематичного перевантаження $K_1 = 1,08$. Коефіцієнт допустимого аварійного перевантаження приймається $K_2 = 1,4$. Номінальна потужність трансформаторів становить $S_{ном} = 400$ кВА.

Приклад розрахунку для ТП-1

Для ТП-1 розрахункова повна потужність після компенсації становить $S_p = 314,29$ кВА. Попередньо приймаємо до встановлення один трансформатор номінальною потужністю 400 кВА.

$$K_{з1} = \frac{314,29}{1 \cdot 400} = 0,79$$

$$\frac{S_{p1}}{K_1} = \frac{314,29}{1,08} = 291,01 \text{ кВА}$$

$$\frac{S_{p1}}{K_2} = \frac{314,29}{1,4} = 224,49 \text{ кВА}$$

Оскільки 400 кВА більше за значення, отримані за умовами систематичного та аварійного перевантаження, трансформатор ТМ-400/10 для ТП-1 приймається остаточно. Аналогічно виконано перевірку для інших цехових підстанцій.

Результати вибору трансформаторів наведені в таблиці 5.1.

№ ТП	S_p , кВА	Кількість та потужність трансформаторів, кВА	Марка трансформатора	K_z	S_p/K_1 , кВА	S_p/K_2 , кВА	Місце розташування ТП
ТП-1	314,29	1×400	ТМ-400/10	0,79	291,01	224,49	Виробничий корпус, зона приймання та підготовки сировини
ТП-2	317,84	1×400	ТМ-400/10	0,79	294,30	227,03	Виробничий корпус, допоміжно-технологічна зона
ТП-3	331,98	1×400	ТМ-400/10	0,83	307,39	237,13	Зона випікання, охолодження та пакування
ТП-4	342,93	1×400	ТМ-400/10	0,86	317,53	244,95	Кондитерсько-макаронне виробництво
ТП-5	331,80	1×400	ТМ-400/10	0,83	307,22	237,00	Енергетичні та ремонтно-допоміжні підрозділи

Для додаткової перевірки прийнятих трансформаторів складаємо зведену таблицю умов допустимого перевантаження.

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

Таблиця 5.2 - Перевірка вибраних трансформаторів за допустимими перевантаженнями

№ ТП	N, шт	Sp _{роз} , кВА	Марка	K _з	S _{ном} > Sp/K1	S _{ном} > Sp/K2	Тип КТП
1	1	314,29	ТМ-400	0,79	400 > 291,01	400 > 224,49	Вбудована / прибудована
2	1	317,84	ТМ-400	0,79	400 > 294,30	400 > 227,03	Вбудована / прибудована
3	1	331,98	ТМ-400	0,83	400 > 307,39	400 > 237,13	Вбудована / прибудована
4	1	342,93	ТМ-400	0,86	400 > 317,53	400 > 244,95	Вбудована / прибудована
5	1	331,80	ТМ-400	0,83	400 > 307,22	400 > 237,00	Вбудована / прибудована

За результатами розрахунку для всіх п'яти цехових підстанцій прийнято трансформатори ТМ-400/10. Коефіцієнти завантаження перебувають у межах 0,79-0,86, що відповідає допустимому режиму роботи для цехових трансформаторних підстанцій. Прийняте рішення забезпечує достатній резерв потужності, узгоджується з розрахунковими навантаженнями підприємства та дозволяє зберегти єдиний типорозмір трансформаторів для всіх ТП.

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

6 РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ, ВИБІР ЕЛЕКТРИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ТА КАБЕЛЬНИХ МЕРЕЖ

6.1. Розрахунок струмів короткого замикання

Розрахунок струмів короткого замикання виконується для перевірки комутаційної апаратури, вибору кабельних ліній, трансформаторів струму, обмежувачів перенапруги та елементів релейного захисту. У розрахунку визначають діюче значення періодичної складової струму КЗ, ударний струм та двофазний струм короткого замикання.

Спочатку складається розрахункова схема та схема заміщення, після цього визначаються еквівалентні опори до характерних точок КЗ, базисні струми, струми короткого замикання, а далі виконується вибір високовольтного обладнання і кабельних ліній.

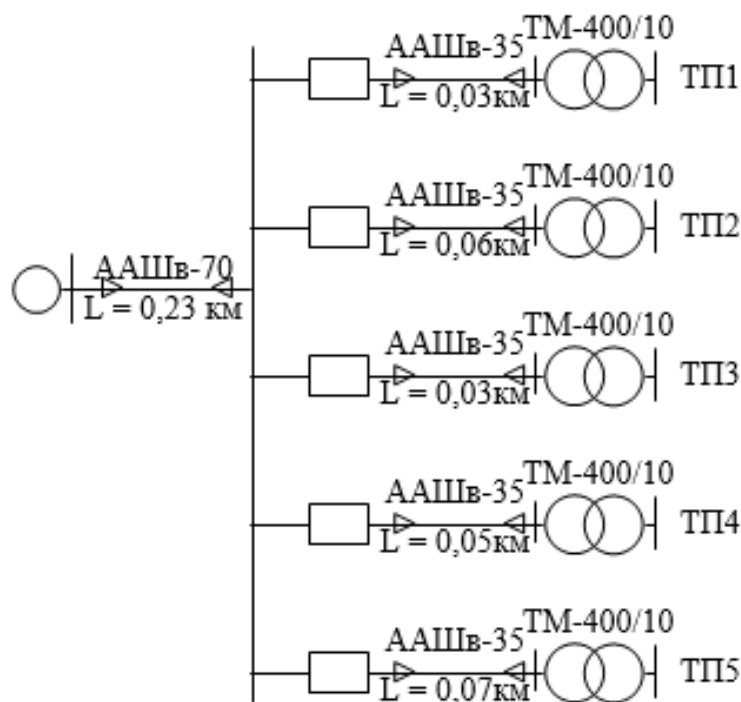


Рисунок 6.1 – Розрахункова схема

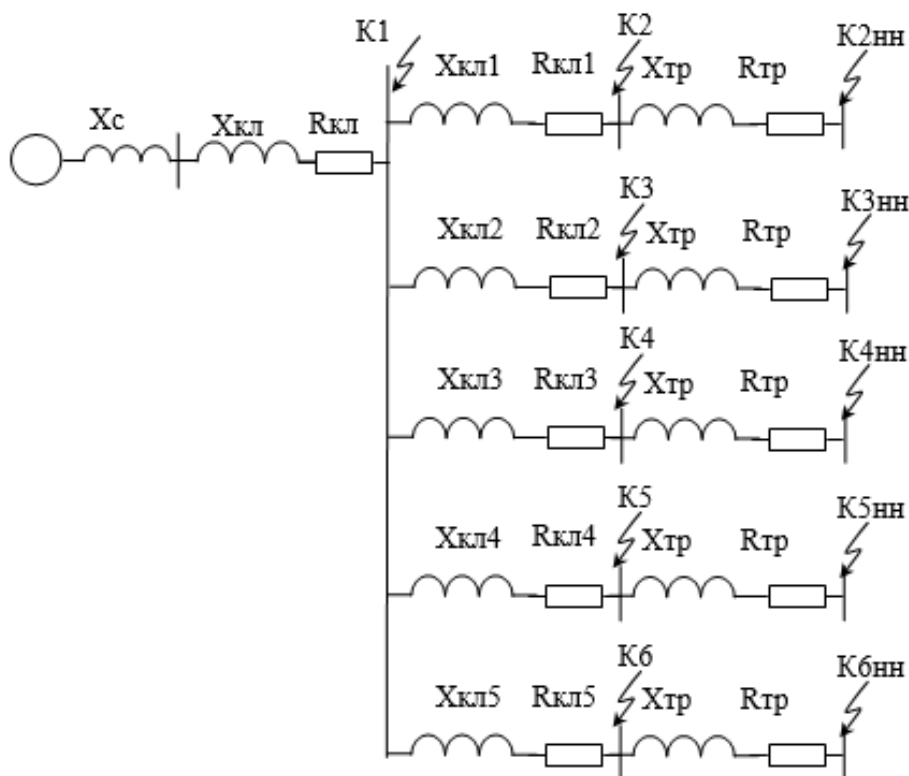


Рисунок 6.2 – Схема заміщення

Для розрахунку у відносних одиницях прийнято базисну потужність $S_6 = 100$ МВА, базисну напругу на стороні 10 кВ $U_6 = 10,5$ кВ, а на стороні 0,4 кВ $U_6 = 0,4$ кВ. Потужність короткого замикання системи прийнято $S_{кз} = 76,1$ МВА.

Базисний струм визначається за формулою:

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_6}$$

$$I_{610} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 5.50 \text{ кА}$$

$$I_{60,4} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 144.34 \text{ кА}$$

Реактивний опір системи у відносних одиницях:

$$X_c = \frac{S_6}{S_{кз}} = \frac{100}{76,1} = 1.31$$

Опори кабельних ліній приводяться до базисних умов за формулами:

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

$$R_{\text{л}} = \frac{r_0 \cdot l \cdot S_6}{U_6^2}$$

$$X_{\text{л}} = \frac{x_0 \cdot l \cdot S_6}{U_6^2}$$

Для ввідної кабельної лінії РП-10 кВ прийнято кабель АПвЕгаПу-10 3×70 мм² довжиною 0,23 км:

$$R_{\text{л.ВВ}} = \frac{0,443 \cdot 0,23 \cdot 100}{10,5^2} = 0.092$$

$$X_{\text{л.ВВ}} = \frac{0,08 \cdot 0,23 \cdot 100}{10,5^2} = 0.017$$

Опір трансформатора визначається за паспортними даними ТМ-400/10:

$$R_{\text{тр}} = \frac{\Delta P_{\text{к}} \cdot 100000}{S_{\text{н.тр}}^2} = \frac{5,5 \cdot 100000}{400^2} = 3.44$$

$$Z_{\text{тр}} = \frac{U_{\text{к}\%}}{100} \cdot \frac{S_6}{S_{\text{н.тр}}} = 13.75$$

$$X_{\text{тр}} = \sqrt{Z_{\text{тр}}^2 - R_{\text{тр}}^2} = 13.31$$

Еквівалентний опір до точки КЗ:

$$Z_{\text{к}\Sigma} = \sqrt{R_{\text{к}\Sigma}^2 + X_{\text{к}\Sigma}^2} \quad (6.8)$$

Трифазний струм короткого замикання:

$$I_{\text{кз}} = \frac{I_6}{Z_{\text{к}\Sigma}} \quad (6.9)$$

Ударний та двофазний струми КЗ визначаються як:

$$i_{\text{уд}} = \sqrt{2} \cdot k_y \cdot I_{\text{кз}} \quad (6.10)$$

$$I_{\text{кз}}^2 = 0,87 \cdot I_{\text{кз}} \quad (6.11)$$

Приклад для шин РП-10 кВ:

$$R_{\text{к1}} = R_{\text{л.ВВ}} = 0.092$$

$$X_{\text{к1}} = X_{\text{с}} + X_{\text{л.ВВ}} = 1.331$$

$$Z_{\text{к1}} = \sqrt{0.092^2 + 1.331^2} = 1.334$$

$$I_{\text{к1}} = \frac{5.50}{1.334} = 4.12 \text{ кА}$$

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

Результати розрахунку струмів короткого замикання наведені в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 - Результати розрахунку струмів короткого замикання

Точка КЗ	R_{Σ}	X_{Σ}	Z_{Σ}	$I_{\text{кз}},$ кА	$i_{\text{уд}},$ кА	$I_{\text{кз}}(2),$ кА
К1, шини РП-10 кВ	0,092	1,331	1,334	4,12	9,33	3,59
К2, ТП-1 10 кВ	0,140	1,335	1,343	4,10	9,27	3,56
К2 _{нн} , ТП-1 0,4 кВ	3,577	14,649	15,079	9,57	20,31	8,33
К3, ТП-2 10 кВ	0,155	1,337	1,346	4,09	9,24	3,55
К3 _{нн} , ТП-2 0,4 кВ	3,593	14,650	15,084	9,57	20,30	8,32
К4, ТП-3 10 кВ	0,148	1,336	1,344	4,09	9,26	3,56
К4 _{нн} , ТП-3 0,4 кВ	3,585	14,650	15,082	9,57	20,30	8,33
К5, ТП-4 10 кВ	0,140	1,335	1,343	4,10	9,27	3,56
К5 _{нн} , ТП-4 0,4 кВ	3,577	14,649	15,079	9,57	20,31	8,33
К6, ТП-5 10 кВ	0,171	1,338	1,349	4,07	9,22	3,55
К6 _{нн} , ТП-5 0,4 кВ	3,609	14,652	15,090	9,57	20,29	8,32

6.2 Вибір кабельних ліній 10 кВ

Переріз кабельних ліній 10 кВ вибирається за економічною щільністю струму та перевіряється за допустимим тривалим струмом і термічною стійкістю при короткому замиканні.

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H}$$

$$F_{\text{ек}} = \frac{I_p}{j_{\text{ек}}}$$

$$F_{\text{min}} = \frac{\sqrt{B_K}}{C_T}$$

$$B_K = I_{\text{кз}}^2 \cdot (t_B + t_{\text{рз}})$$

Для ввідної лінії РП:

$$I_{p.BB} = \frac{1612,77}{\sqrt{3} \cdot 10} = 93.11 \text{ A}$$

$$F_{ек.ВВ} = \frac{93.11}{1,4} = 66.51 \text{ мм}^2$$

$$F_{min} = \frac{\sqrt{4.12^2 \cdot 1,0}}{94} = 43.9 \text{ мм}^2$$

За умовою економічної щільності струму та допустимого нагрівання для вводу приймаємо кабель АПвЕгаПу-10 3×70 мм². Для відхідних ліній до цехових ТП за розрахунковим струмом і термічною стійкістю приймаємо кабель АПвЕгаПу-10 3×35 мм².

Таблиця 6.2 - Вибір кабельних ліній 10 кВ

№ КЛ	Sp, кВА	n	Ip, А	Iав, А	Fек, мм ²	Марка кабеля	Iдоп, А	К п	Iдоп.ав, А	Fmin, мм ²	I'', кА
РП живлення - РП підприємств а	1612,7 7	1	93,1 1	130,3 6	66, 5	АПвЕгаПу -10 3×70	205	1, 0	235,8	43,9	4,1 2
РП-10 кВ - ТП-1	314,29	1	18,1 5	25,40	13, 0	АПвЕгаПу -10 3×35	150	1, 0	172,5	43,9	4,1 2
РП-10 кВ - ТП-2	317,84	1	18,3 5	25,69	13, 1	АПвЕгаПу -10 3×35	150	1, 0	172,5	43,9	4,1 2
РП-10 кВ - ТП-3	331,98	1	19,1 7	26,83	13, 7	АПвЕгаПу -10 3×35	150	1, 0	172,5	43,9	4,1 2
РП-10 кВ - ТП-4	342,93	1	19,8 0	27,72	14, 1	АПвЕгаПу -10 3×35	150	1, 0	172,5	43,9	4,1 2
РП-10 кВ - ТП-5	331,80	1	19,1 6	26,82	13, 7	АПвЕгаПу -10 3×35	150	1, 0	172,5	43,9	4,1 2

6.3 Вибір електричних апаратів високої напруги

У РП-10 кВ приймаються комплектні комірки КСО з вакуумними вимикачами на номінальний струм 630 А і номінальний струм вимикання 20 кА. Перевірка виконується за напругою, робочим струмом, вимикальною здатністю, електродинамічною і термічною стійкістю.

Таблиця 6.3 - Перевірка ввідного вакуумного вимикача РП-10 кВ

Умова вибору	Розрахункові дані	Каталожні дані вакуумного вимикача 10 кВ
$U_{уст} \leq U_{ном}$	$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
$I_{роб.мах} \leq I_{ном}$	$I_{роб,мах} = 93,11 \text{ А}$	$I_{ном} = 630 \text{ А}$
$I'' \leq I_{відкл}$	$I'' = 4,12 \text{ кА}$	$I_{відкл} = 20 \text{ кА}$
$i_{уд} \leq i_{дин}$	$i_{уд} = 9,33 \text{ кА}$	$i_{дин} = 50 \text{ кА}$
$Вк \leq I_T^2 \cdot t_T$	$Вк = 16,99 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Таблиця 6.4 - Перевірка вимикачів відхідних ліній 10 кВ

Умова вибору	Розрахункові дані	Каталожні дані вимикача відхідної лінії
$U_{уст} \leq U_{ном}$	$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
$I_{роб.мах} \leq I_{ном}$	$I_{роб,мах} = 19,80 \text{ А}$	$I_{ном} = 630 \text{ А}$
$I'' \leq I_{відкл}$	$I'' = 4,12 \text{ кА}$	$I_{відкл} = 20 \text{ кА}$
$i_{уд} \leq i_{дин}$	$i_{уд} = 9,33 \text{ кА}$	$i_{дин} = 50 \text{ кА}$
$Вк \leq I_T^2 \cdot t_T$	$Вк = 16,99 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Таблиця 6.5 - Вибір основного обладнання РП-10 кВ

Елемент	Прийнятий тип	Основні параметри	Кількість / примітка
Комірка вводу РП-10 кВ	КСО-298 з вакуумним вимикачем 10 кВ	10 кВ, 630 А, 20 кА	1 шт
Комірки відхідних ліній до ТП	КСО-298 з вакуумним вимикачем	10 кВ, 630 А, 20 кА	5 шт
Секційна / резервна комірка	КСО-298	10 кВ, 630 А	1 шт
Трансформатори струму вводу	ТЛК-10	100/5 А, клас 0,5/10Р	3 шт
Трансформатори струму відхідних ліній	ТЛК-10	50/5 А, клас 0,5/10Р	15 шт
Трансформатор напруги	НАМИ-10	10/0,1 кВ	1 комплект
Обмежувач перенапруги	ОПН-10	$U_N = 10 \text{ кВ}$, $U_{мах} = 12 \text{ кВ}$	на вводі та відходящих лініях
Заземлювальні ножі	у складі комірок КСО	10 кВ	за схемою РП

6.4 Вибір обладнання та кабелів на стороні 0,4 кВ

На стороні 0,4 кВ для кожної КТП приймаються ввідні автоматичні вимикачі на номінальний струм 630 А з граничною вимикальною здатністю не менше 25 кА. Кабелі від трансформатора до головного щита 0,4 кВ вибираються за робочим струмом відповідної ТП.

Таблиця 6.6 - Вибір кабелів і ввідних апаратів 0,4 кВ

ТП	Sp, кВА	Ip 0,4 кВ, А	Прийнятий кабель 0,4 кВ	Ідоп, А	Ввідний автомат	Параметри
ТП-1	314,29	453,6	2×АВВГнг- LS 4×185	≈660	ВА88-37 / аналог	630 А, Icu ≥ 25 кА
ТП-2	317,84	458,8	2×АВВГнг- LS 4×185	≈660	ВА88-37 / аналог	630 А, Icu ≥ 25 кА
ТП-3	331,98	479,2	2×АВВГнг- LS 4×185	≈660	ВА88-37 / аналог	630 А, Icu ≥ 25 кА
ТП-4	342,93	495,0	2×АВВГнг- LS 4×185	≈660	ВА88-37 / аналог	630 А, Icu ≥ 25 кА
ТП-5	331,80	478,9	2×АВВГнг- LS 4×185	≈660	ВА88-37 / аналог	630 А, Icu ≥ 25 кА

6.5 Вибір трансформаторів власних потреб

Для живлення власних потреб РП-10 кВ враховують підігрів комірок, освітлення, вентиляцію, оперативні кола та пристрої релейного захисту. За аналогією з шаблоном приймається встановлена активна потужність власних потреб 16 кВт при $\cos\varphi = 1$.

$$S_{\text{вп}} = K_c \cdot \sqrt{P_{\text{вст}}^2 + Q_{\text{вст}}^2} \quad (6.16)$$

$$S_{\text{вп}} = 0,8 \cdot \sqrt{16^2 + 0^2} = 12,8 \text{ кВА}$$

Таблиця 6.7 - Навантаження власних потреб РП-10 кВ

Вид споживача	Р _{вст} , кВт	cosφ	tgφ	Р, кВт	Q, квар
Підігрів комірок РП-10 кВ	11	1,0	0	11	0
Освітлення та вентиляція приміщення РП	3	1,0	0	3	0
Оперативні кола, РЗА, зв'язок	2	1,0	0	2	0
Всього	16	-	-	16	0

До встановлення приймаємо два трансформатори власних потреб ТМ-25/10 потужністю 25 кВА кожний. Один трансформатор є робочим, другий - резервним.

За результатами розрахунку струми короткого замикання на шинах 10 кВ не перевищують вимикальну здатність прийнятих вакуумних вимикачів. Вибрані кабельні лінії 10 кВ і 0,4 кВ задовольняють умовам тривалого нагрівання та термічної стійкості. Прийняте обладнання забезпечує надійну роботу системи електропостачання підприємства харчової промисловості.

7 ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ПІДПРИЄМСТВА ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

7.1 Енергоспоживання підприємств харчової промисловості та передумови підвищення енергоефективності виробництва

В сучасних умовах зростання вартості енергетичних ресурсів, посилення екологічних вимог та необхідності підвищення конкурентоспроможності продукції питання енергоефективності набувають особливого значення для підприємств харчової промисловості. Енерговитрати є однією з найбільш вагомих складових собівартості продукції, а їх зниження без погіршення технологічних параметрів виробництва дозволяє підвищити економічну ефективність діяльності підприємства та забезпечити раціональне використання енергетичних ресурсів.

Харчова промисловість належить до галузей із високим рівнем енергоспоживання, оскільки більшість технологічних процесів пов'язана з тепловою та механічною обробкою сировини, транспортуванням матеріалів, роботою насосного, вентиляційного, холодильного та компресорного обладнання. Значні обсяги електричної енергії споживаються також системами освітлення, кондиціонування повітря та допоміжними виробничими установками.

Особливістю підприємств кондитерсько-пекарського профілю є поєднання великої кількості електромеханічного обладнання з теплотехнологічними процесами. До основних споживачів енергії належать тістомісильні машини, транспортери, формувальні агрегати, печі, сушильні установки, вентиляційні системи, компресори та холодильне обладнання. Внаслідок безперервного або тривалого режиму роботи таких установок загальне енергоспоживання підприємства є значним, а навіть незначне підвищення ефективності окремих технологічних процесів може забезпечити відчутний економічний результат.

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	47

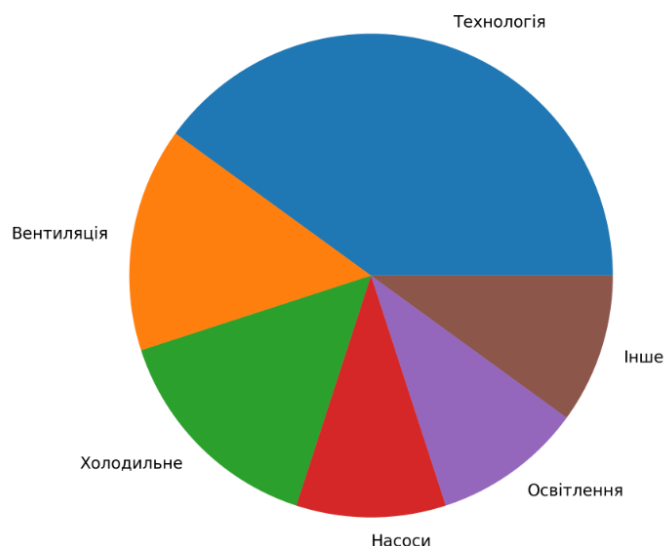


Рисунок 4.1 – Типова структура енергоспоживання харчового підприємства

Аналіз структури енергоспоживання свідчить, що найбільшу частку витрат електричної енергії формує технологічне обладнання. Значний вплив також мають системи вентиляції, холодильні установки та насосне обладнання, що обумовлює доцільність впровадження енергоефективних заходів саме для зазначених груп споживачів.

За даними міжнародних енергетичних досліджень, потенціал скорочення енергоспоживання на підприємствах харчової промисловості становить від 15 до 35 % залежно від рівня технічного оснащення виробництва. Найбільший ефект досягається завдяки впровадженню сучасних систем автоматизації, використанню енергоефективних електродвигунів, оптимізації роботи електроприводів, рекуперації теплової енергії та впровадженню систем енергетичного менеджменту.

Для оцінки ефективності використання енергетичних ресурсів широко застосовується показник питомого енергоспоживання, який характеризує кількість енергії, необхідної для виробництва одиниці продукції. Його визначають за формулою

$$e = \frac{W}{Q},$$

де W – спожита енергія за певний період, кВт·год;

Q – обсяг виробленої продукції за той самий період.

Зменшення питомих витрат енергії є одним із головних критеріїв підвищення енергоефективності виробництва. При цьому важливо не лише скорочувати загальне споживання електроенергії, але й забезпечувати оптимальні режими роботи технологічного обладнання та мінімізувати втрати енергії на всіх етапах виробничого процесу.

Однією з основних причин надлишкового енергоспоживання є використання обладнання, яке працює в режимах, що не відповідають фактичному навантаженню. Зокрема, значна частина насосів і вентиляторів експлуатується з постійною швидкістю обертання, хоча реальна потреба в їх продуктивності змінюється протягом робочої зміни. У таких випадках застосування частотного регулювання дозволяє суттєво знизити споживання електроенергії без погіршення технологічних параметрів процесу.

Іншим важливим напрямом підвищення енергоефективності є впровадження систем енергетичного менеджменту відповідно до вимог стандарту ISO 50001. Такі системи забезпечують постійний моніторинг енергоспоживання, виявлення неефективних режимів роботи обладнання та прийняття обґрунтованих управлінських рішень щодо оптимізації використання енергетичних ресурсів.

Сучасні тенденції розвитку промисловості також передбачають активне впровадження цифрових технологій, зокрема систем Smart Metering, автоматизованого збору даних, SCADA-систем та програмних комплексів енергомоніторингу. Використання таких рішень дозволяє отримувати інформацію про параметри енергоспоживання в режимі реального часу, аналізувати структуру витрат енергії та своєчасно виявляти відхилення від оптимальних режимів роботи.

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

Важливим резервом енергозбереження на підприємствах харчової промисловості є використання вторинних енергетичних ресурсів. Значна кількість теплоти, що утворюється під час роботи печей, сушильних установок та холодильного обладнання, може бути повторно використана для нагрівання повітря, води або технологічних середовищ. Це дозволяє зменшити споживання первинних енергоресурсів і підвищити загальну ефективність виробництва.

Таким чином, аналіз сучасних тенденцій розвитку харчової промисловості свідчить про наявність значного потенціалу підвищення енергоефективності виробництва. Найбільш перспективними напрямками є модернізація електроприводів, впровадження систем енергетичного менеджменту, використання цифрових технологій моніторингу енергоспоживання, рекуперація енергії та застосування відновлюваних джерел енергії. Комплексне впровадження зазначених заходів дозволяє не лише знизити витрати на енергоресурси, але й підвищити надійність роботи технологічного обладнання та конкурентоспроможність підприємства.

7.2 Аналіз вихідного рівня електроспоживання підприємства харчової промисловості

Підвищення енергоефективності підприємства харчової промисловості є одним із ключових напрямів удосконалення його виробничої та енергетичної інфраструктури. Для кондитерсько-пекарського підприємства питання раціонального використання електричної енергії має особливе значення, оскільки технологічний процес містить значну кількість електроприймачів тривалої дії: електроприводи тістомісильних машин, транспортерів, просіювачів, вентиляційних установок, компресорного обладнання, насосів, холодильних агрегатів, сушильних та допоміжних систем.

У попередньому розділі було визначено електричні навантаження підприємства, побудовано добові графіки активної, реактивної та повної потужності, а також сформовано річний графік навантаження. Отримані

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

результати є основою для розроблення енергозберігаючих заходів, оскільки дозволяють оцінити режим роботи електроприймачів, рівень завантаження трансформаторних підстанцій, характер зміни навантаження протягом доби та величину споживання активної і реактивної електроенергії.

Річне споживання активної електроенергії підприємством становить:

$$W_P = 7551000 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Річне споживання реактивної електроенергії дорівнює:

$$W_Q = 1177758 \text{ квар} \cdot \text{год.}$$

Максимальне активне навантаження підприємства за даними графіків становить:

$$P_{max} = 1595 \text{ кВт.}$$

Кількість годин використання максимуму навантаження визначена як:

$$T_{max} = 4738,7 \text{ год.}$$

Отримане значення T_{max} свідчить про достатньо інтенсивний режим роботи підприємства протягом року. Для підприємств харчової промисловості це є типовим, оскільки виробничі лінії, холодильне обладнання, вентиляція, освітлення та допоміжні системи працюють не лише під час основного технологічного циклу, але й у періоди підготовки, зберігання сировини та готової продукції.

Середньорічне активне навантаження підприємства можна визначити за формулою:

$$P_{cp} = \frac{W_P}{8760} = \frac{7551000}{8760} = 862,0; \text{ кВт.},$$

де W_P - річне споживання активної електроенергії, кВт·год;

8760 - кількість годин у році.

Коефіцієнт заповнення річного графіка активного навантаження визначається як відношення середньорічної потужності до максимальної:

$$k_3 = \frac{P_{cp}}{P_{max}} = \frac{862,0}{1595} = 0,57..$$

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

Отже, річний графік електроспоживання має середній рівень заповнення. Це означає, що протягом року підприємство працює з помітними коливаннями навантаження, а частина електрообладнання використовується нерівномірно. Саме такі умови є сприятливими для впровадження технічних заходів з енергозбереження, зокрема частотного регулювання електроприводів, автоматизованого керування вентиляцією, оптимізації графіків роботи обладнання та контролю пікових навантажень.

Для оцінки співвідношення активної та реактивної електроенергії визначимо середній коефіцієнт реактивного навантаження:

$$\tan \varphi_{\text{cp}} = \frac{W_Q}{W_P} = \frac{1177758}{7551000} = 0,156.$$

Середній коефіцієнт потужності підприємства за річним споживанням можна визначити за виразом:

$$\cos \varphi_{\text{cp}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \tan^2 \varphi_{\text{cp}}}} = \frac{1}{\sqrt{1 + 0,156^2}} = 0,988.$$

Отримане значення є досить високим у середньорічному вимірі. Проте під час аналізу режимів електроспоживання необхідно враховувати не лише річні інтегральні показники, але й розрахункові навантаження окремих трансформаторних підстанцій, добові максимуми та режимні особливості роботи електроприймачів. Для окремих періодів доби та окремих груп обладнання реактивна складова може бути значно більшою, що обґрунтовує необхідність застосування локальної або централізованої компенсації реактивної потужності.

Основними групами електроприймачів, які формують енергоспоживання кондитерсько-пекарського підприємства, є:

- технологічне обладнання пекарського виробництва;
- електроприводи макаронного цеху;
- вентиляційні та аспіраційні системи;
- компресорне і холодильне обладнання;

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

- насосні установки;
- внутрішнє та зовнішнє освітлення;
- допоміжні електроприймачі адміністративно-побутових приміщень.

Для подальших розрахунків доцільно прийняти орієнтовну структуру річного електроспоживання підприємства, наведену в таблиці 7.1.

Таблиця 7.1 - Орієнтовна структура річного електроспоживання підприємства

Група споживачів	Частка, %	Річне споживання, кВт·год
Технологічне обладнання пекарського та кондитерського виробництва	34	2 567 340
Обладнання макаронного цеху	18	1 359 180
Вентиляція та аспірація	14	1 057 140
Холодильне і компресорне обладнання	12	906 120
Насосні установки	7	528 570
Освітлення	8	604 080
Допоміжні та адміністративно-побутові споживачі	7	528 570
Разом	100	7 551 000

За даними таблиці 7.1 найбільша частка електроспоживання припадає на технологічне обладнання пекарського, кондитерського та макаронного виробництва. Це пояснюється тривалою роботою електроприводів змішувальних машин, транспортерів, дозаторів, формувальних агрегатів, просіювачів, сушильних і допоміжних установок. Другою важливою групою є вентиляційні та аспіраційні системи, які забезпечують видалення теплоти, пилу, вологи й запахів із виробничих приміщень. Значну частку також мають холодильні та компресорні установки, що працюють для зберігання сировини, напівфабрикатів і готової продукції.

На основі структури споживання можна визначити основні напрями підвищення енергоефективності:

- зменшення втрат електроенергії у системі електропостачання;
- компенсація реактивної потужності;
- впровадження частотного регулювання електроприводів насосів, вентиляторів і компресорів;
- модернізація системи освітлення;
- впровадження автоматизованої системи енергомоніторингу;
- оптимізація режимів роботи холодильного обладнання;
- часткове покриття власного споживання за рахунок сонячної електростанції.

Для наочного подання структури електроспоживання підприємства доцільно побудувати кругову діаграму.

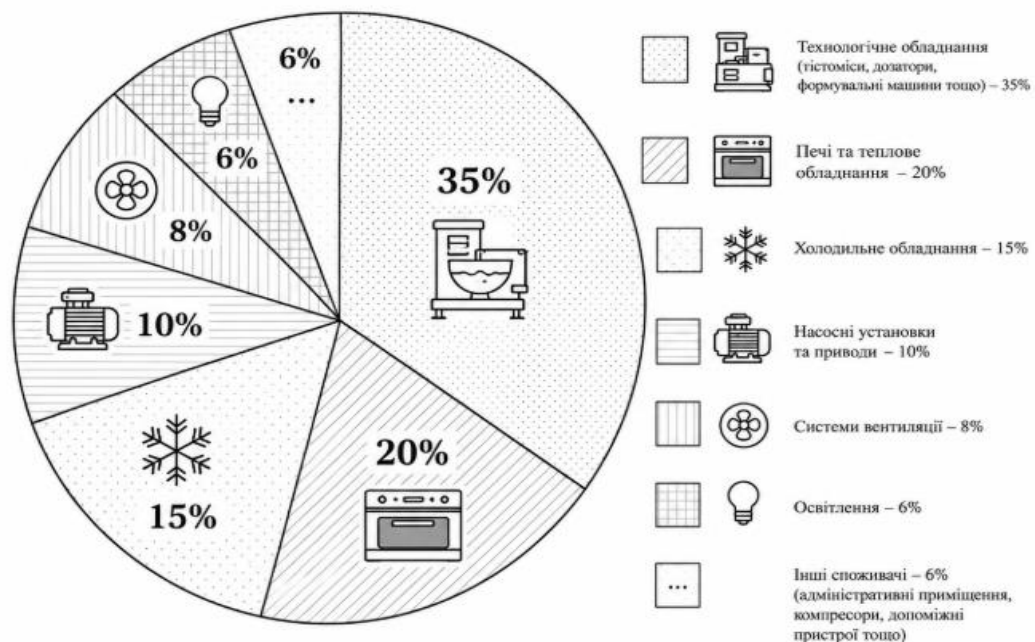


Рисунок 7.3 - Структура річного електроспоживання підприємства харчової промисловості

Найбільший технічний потенціал економії мають ті групи споживачів, у яких поєднуються велика встановлена потужність, тривалий час роботи та можливість регулювання продуктивності. До таких споживачів належать вентиляційні установки, насоси, компресори та частина технологічних електроприводів. Для них ефективним є застосування частотних перетворювачів, оскільки зменшення швидкості обертання електродвигуна дозволяє суттєво знизити споживану потужність.

Окремим напрямом є скорочення втрат електроенергії в елементах системи електропостачання. Втрати виникають у силових трансформаторах, кабельних лініях, розподільних пристроях та електродвигунах. Їхня величина залежить від струму навантаження, тривалості роботи, коефіцієнта потужності та технічного стану обладнання. Зменшення струму навантаження за рахунок компенсації реактивної потужності дає можливість знизити втрати активної електроенергії та покращити режим напруги.

Втрати активної потужності у трифазній мережі можна визначити за формулою:

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

де I - струм навантаження, А;

R - активний опір фази лінії, Ом.

З наведеної формули видно, що втрати пропорційні квадрату струму. Тому навіть відносно невелике зменшення струму після компенсації реактивної потужності або оптимізації режиму роботи обладнання може забезпечити помітне зниження втрат електроенергії.

Для попередньої оцінки потенціалу енергозбереження приймемо орієнтовні значення можливої економії за окремими заходами. Розрахунок виконується відносно річного споживання активної електроенергії підприємства.

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

Таблиця 7.3 - Попередня оцінка потенціалу економії електроенергії

Захід	Орієнтовна економія від загального споживання, %	Річна економія, кВт·год
Частотне регулювання електроприводів	6,5	490 815
Модернізація освітлення	3,5	264 285
Оптимізація холодильного та компресорного обладнання	3,0	226 530
Smart Metering та диспетчеризація енергоспоживання	2,0	151 020
Зменшення втрат у мережі після компенсації реактивної потужності	1,5	113 265
Організаційно-технічні заходи	1,0	75 510
Разом	17,5	1 321 425

Попередня оцінка показує, що сумарний потенціал скорочення річного електроспоживання може становити близько:

$$\Delta W_{\Sigma} = 1321425 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Тоді очікуване електроспоживання після впровадження комплексу заходів:

$$W_{\text{після}} = W_P - \Delta W_{\Sigma}.$$

$$W_{\text{після}} = 7551000 - 1321425 = 6229575; \text{кВт} \cdot \text{год.}.$$

Відносне зниження споживання електроенергії становить:

$$\delta W = \frac{\Delta W_{\Sigma}}{W_P} \cdot 100.$$

$$\delta W = \frac{1321425}{7551000} \cdot 100 = 17,5\%.$$

Отже, впровадження комплексу технічних і організаційних заходів може забезпечити скорочення річного споживання електроенергії приблизно на 17,5 %. Для підприємства з річним електроспоживанням понад 7,5 млн кВт·год це є суттєвим результатом, який впливає не лише на витрати за електроенергію, але й на загальну собівартість продукції.

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

Для підвищення енергоефективності підприємства використовують такі шляхи:

- компенсацію реактивної потужності;
- застосування частотних перетворювачів;
- модернізацію освітлення;
- оптимізацію холодильного та компресорного обладнання;
- впровадження системи Smart Metering;
- використання сонячної електростанції для покриття частини власних потреб.

Таким чином, аналіз вихідних показників електроспоживання підприємства показав, що найбільший потенціал підвищення енергоефективності пов'язаний із регулюванням режимів роботи електроприводів, зниженням втрат у системі електропостачання, автоматизованим контролем споживання електроенергії та модернізацією допоміжних енергетичних систем. У наступних підрозділах буде виконано детальний технічний і економічний розрахунок запропонованих заходів.

7.3 Сучасні технології підвищення енергоефективності виробництва харчових підприємств

Підвищення енергоефективності є одним із пріоритетних напрямів модернізації підприємств харчової промисловості. В умовах постійного зростання вартості енергоресурсів та необхідності скорочення викидів парникових газів впровадження сучасних енергозберігаючих технологій дозволяє не лише зменшити виробничі витрати, але й підвищити конкурентоспроможність підприємств на внутрішньому та зовнішньому ринках.

За даними Міжнародного енергетичного агентства (ІЕА), потенціал скорочення енергоспоживання на підприємствах харчової промисловості може перевищувати 20–30 % без суттєвих змін технологічного процесу.

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	57

Основними напрямками підвищення енергоефективності є модернізація електроприводів, застосування систем автоматичного регулювання, впровадження цифрових технологій моніторингу енергоспоживання, використання вторинних енергетичних ресурсів та інтеграція відновлюваних джерел енергії.

Особливість харчових підприємств полягає у великій кількості допоміжного обладнання, яке працює тривалий час і формує значну частину загального енергоспоживання. До таких споживачів належать електродвигуни насосних станцій, вентиляційні системи, компресорні установки, холодильне обладнання та транспортні механізми. Саме ці групи обладнання є основними об'єктами впровадження енергоефективних технологій.

7.3.1 Використання енергоефективних електродвигунів

Електродвигуни є найбільшими споживачами електричної енергії в промисловості. За оцінками міжнародних експертів, на їхню частку припадає понад 65 % світового промислового електроспоживання. У харчовій промисловості електродвигуни використовуються практично на всіх стадіях виробництва - від транспортування сировини до пакування готової продукції.

Сучасна міжнародна класифікація передбачає поділ електродвигунів за рівнем енергоефективності на класи IE1–IE5 відповідно до стандарту ІЕС 60034-30-1.

Таблиця 7.3 – Класи енергоефективності електродвигунів

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

Підвищення класу енергоефективності забезпечується за рахунок зменшення електричних і магнітних втрат, використання якісніших матеріалів осердя та удосконалення конструкції ротора.

Для оцінки ефективності двигуна використовується коефіцієнт корисної дії:

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

де P_1 – потужність, споживана з мережі;

P_2 – механічна потужність на валу двигуна.

Підвищення ККД навіть на 2–3 % дозволяє суттєво скоротити річне споживання електроенергії при тривалому режимі роботи обладнання.

Наприклад, для електродвигуна потужністю 30 кВт, який працює 6000 годин на рік, заміна двигуна класу IE1 на IE4 може забезпечити економію понад 3000 кВт·год електроенергії щороку.

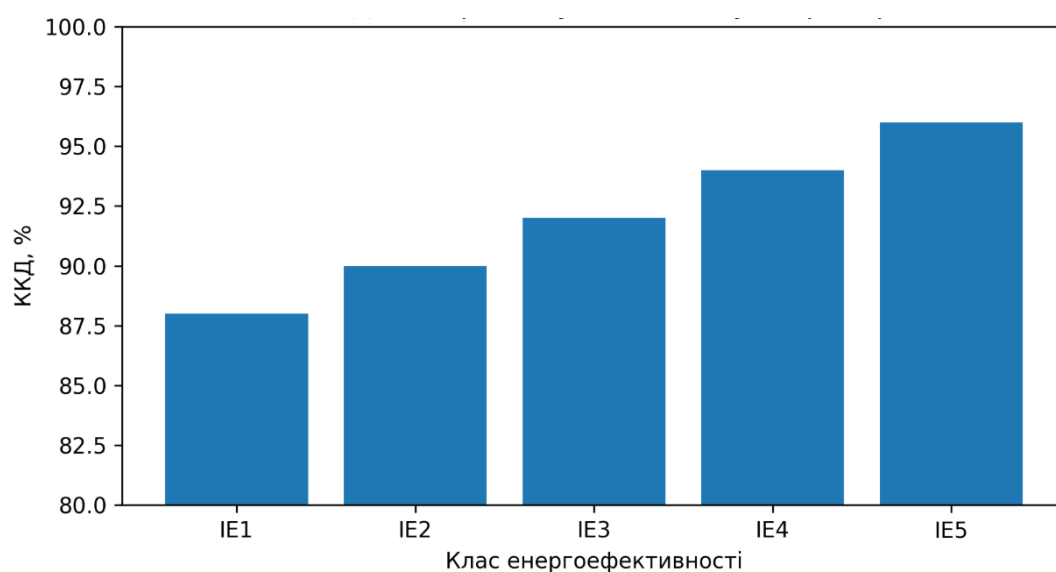


Рисунок 7.3 – Залежність ККД електродвигунів від класу енергоефективності

Як видно з рисунка 7.3, підвищення класу енергоефективності електродвигуна супроводжується збільшенням його коефіцієнта корисної дії. Незважаючи на вищу вартість двигунів класів IE4 та IE5, їх застосування

дозволяє суттєво знизити експлуатаційні витрати протягом життєвого циклу обладнання.

7.3.2 Частотне регулювання електроприводів як основний резерв енергозбереження

Одним із найбільш ефективних напрямів підвищення енергоефективності є використання частотних перетворювачів для керування швидкістю обертання електродвигунів.

Традиційно більшість насосів і вентиляторів працює з постійною швидкістю, а регулювання продуктивності здійснюється за допомогою засувки або дроселів. Такий підхід супроводжується значними втратами електроенергії.

Використання частотних перетворювачів дозволяє змінювати швидкість обертання двигуна відповідно до фактичної потреби технологічного процесу.

Для насосів і вентиляторів справедливий закон подібності:

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

де P_1 – початкова потужність;

P_2 – потужність після зміни швидкості;

n_1, n_2 – частоти обертання.

Із формули видно, що навіть незначне зменшення швидкості обертання забезпечує суттєве скорочення споживаної потужності.

Наприклад, зменшення швидкості на 20 % приводить до зниження споживаної потужності майже на 50 %.

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

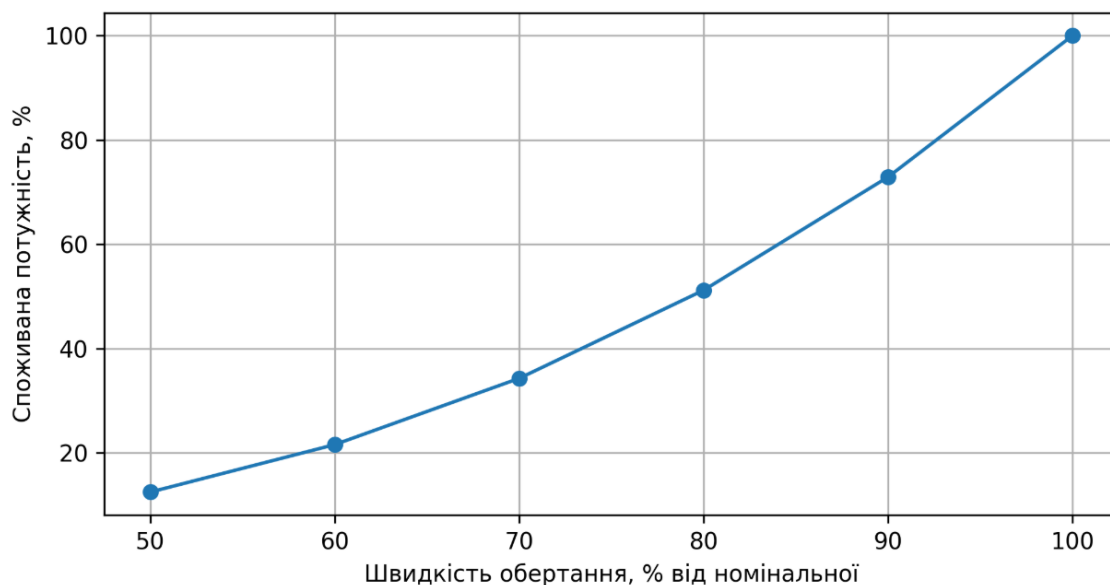


Рисунок 7.4 – Залежність споживаної потужності від швидкості обертання електродвигуна

Представлена залежність демонструє, що зменшення швидкості обертання електродвигуна навіть на 20 % дозволяє скоротити споживану потужність майже вдвічі. Саме тому частотне регулювання вважається одним із найбільш ефективних способів зниження енергоспоживання насосних і вентиляційних систем.

Для підприємств харчової промисловості найбільший ефект від частотного регулювання досягається в системах:

- вентиляції;
- аспірації;
- водопостачання;
- компресорних станціях;
- холодильних установках.

Практика впровадження показує, що економія електроенергії в таких системах може становити від 20 до 50 %.

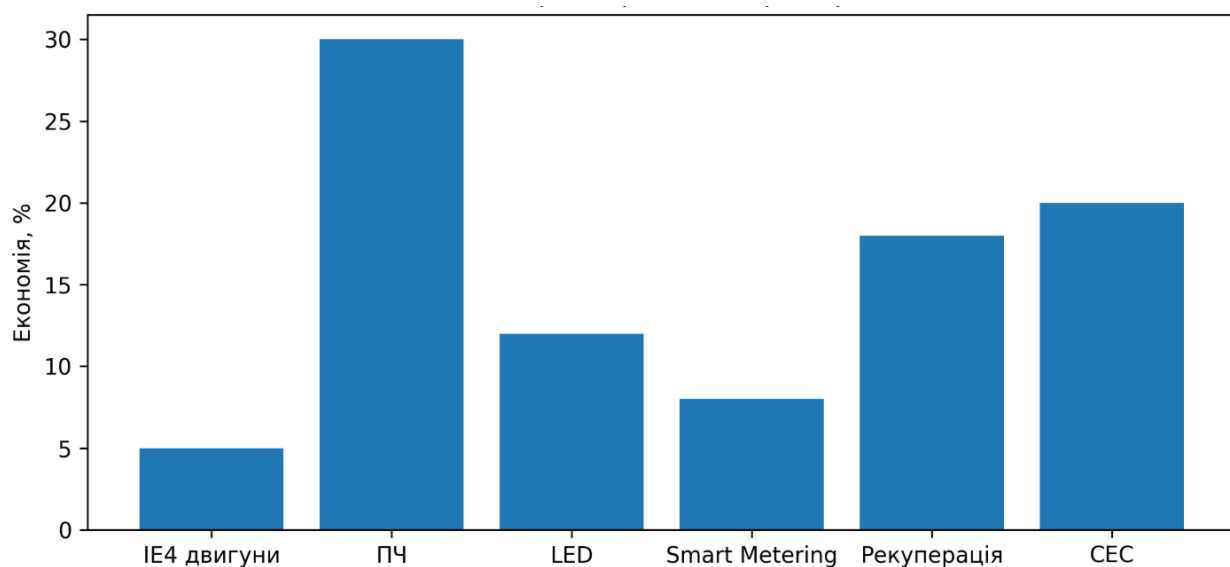


Рисунок 7.5 – Потенціал економії електроенергії за енергоефективними заходами

Порівняльний аналіз показує, що найбільший потенціал скорочення електроспоживання забезпечують системи частотного регулювання, рекуперація енергії та використання сонячних електростанцій. Водночас максимальний ефект досягається при комплексному впровадженні декількох енергоефективних заходів.

7.3.3 Компенсація реактивної потужності як засіб зниження втрат електроенергії

Однією з важливих складових підвищення енергоефективності систем електропостачання промислових підприємств є компенсація реактивної потужності. Незважаючи на те, що реактивна потужність не бере безпосередньої участі у виконанні корисної роботи, її наявність суттєво впливає на режими функціонування електричних мереж, викликаючи збільшення струмів, додаткові втрати електроенергії та погіршення показників якості електричної енергії.

Основними споживачами реактивної потужності на підприємствах харчової промисловості є асинхронні електродвигуни, трансформатори, компресорні установки, холодильні агрегати та вентиляційні системи.

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

Внаслідок індуктивного характеру навантаження між струмом і напругою виникає фазовий зсув, що призводить до появи реактивної складової потужності.

Повна потужність електричної мережі визначається співвідношенням

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2},$$

де P – активна потужність;

Q – реактивна потужність;

S – повна потужність.

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

Із наведеної залежності випливає, що збільшення реактивної складової призводить до зростання повної потужності, а отже, і струмів у мережі.

Коефіцієнт потужності визначається виразом

$$\cos \varphi = \frac{P}{S}$$

Чим ближче значення коефіцієнта потужності до одиниці, тим ефективніше використовується електроенергія.

Методи компенсації реактивної потужності

На сучасних підприємствах використовують три основні способи компенсації реактивної потужності:

1) Індивідуальна компенсація

Передбачає встановлення конденсаторів безпосередньо біля окремого електроприймача.

Переваги:

- мінімізація струмів у локальних мережах;
- зменшення втрат;
- простота реалізації.

Недоліки:

- збільшення кількості обладнання;
- складність обслуговування.

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

2) Групова компенсація

Передбачає встановлення батарей конденсаторів для групи електроприймачів.

Переваги:

- зниження вартості;
- централізований контроль.

Недоліки:

- менший ефект порівняно з індивідуальною компенсацією.

3) Централізована компенсація

Здійснюється на шинах трансформаторних підстанцій або головного розподільчого пункту.

Переваги:

- простота експлуатації;
- автоматичне регулювання;
- можливість ступінчастого керування.

Саме цей метод найчастіше використовується на сучасних підприємствах харчової промисловості.

4) Сучасні засоби компенсації реактивної потужності

У сучасних системах електропостачання використовуються:

5) Автоматизовані конденсаторні установки

Забезпечують автоматичне підключення або відключення секцій конденсаторів залежно від поточного навантаження.

6) Статичні тиристорні компенсатори (SVC)

Дозволяють плавно регулювати реактивну потужність та підтримувати стабільний рівень напруги.

7) STATCOM-системи

Є найбільш сучасними пристроями компенсації реактивної потужності та використовуються на підприємствах із різко змінним навантаженням.

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

Вплив компенсації реактивної потужності на енергоефективність

Основною перевагою компенсації реактивної потужності є зменшення струмів у мережі.

Втрати активної потужності визначаються залежністю

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

де I – струм навантаження;

R – активний опір провідників.

З формули видно, що втрати пропорційні квадрату струму. Тому навіть незначне зниження струму забезпечує помітне скорочення втрат електроенергії.

За результатами численних досліджень впровадження компенсації реактивної потужності дозволяє:

- знизити втрати електроенергії на 5–15 %;
- підвищити коефіцієнт потужності до 0,95–0,99;
- збільшити пропускну здатність мережі;
- зменшити навантаження на трансформатори;
- покращити якість електроенергії.

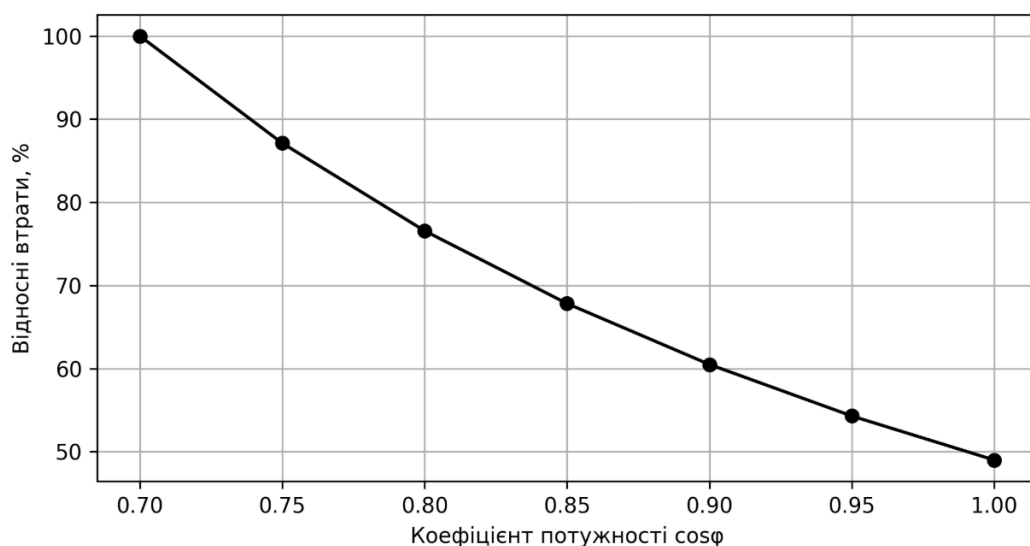


Рисунок 7.6 – Вплив компенсації реактивної потужності на втрати електроенергії

Як видно з рисунка 7.6, зі зростанням коефіцієнта потужності від 0,7 до 1,0 відносні втрати електроенергії в елементах системи електропостачання суттєво зменшуються. Це пояснюється зниженням струму навантаження, оскільки втрати потужності в електричних мережах пропорційні квадрату струму. Таким чином, компенсація реактивної потужності дозволяє не лише покращити режим роботи електрообладнання, а й забезпечує додаткову економію електроенергії за рахунок зменшення технічних втрат у кабельних лініях та силових трансформаторах.

Таким чином, компенсація реактивної потужності є одним із найбільш доступних та економічно ефективних заходів підвищення енергоефективності підприємств харчової промисловості. Її впровадження дозволяє одночасно покращити режими роботи електричних мереж, знизити втрати електроенергії та підвищити надійність функціонування електрообладнання.

7.3.4 Енергоефективні системи освітлення та автоматизованого керування освітлювальними установками

Освітлення виробничих, складських, адміністративних та допоміжних приміщень є важливою складовою енергоспоживання підприємств харчової промисловості. Незважаючи на те, що частка освітлення у загальному балансі електроспоживання зазвичай не перевищує 8–15 %, модернізація освітлювальних систем належить до найбільш економічно ефективних заходів підвищення енергоефективності. Це пояснюється відносно невеликими капітальними вкладеннями, простотою реалізації та швидкою окупністю проєктів.

На багатьох підприємствах досі експлуатуються люмінесцентні світильники та газорозрядні лампи, які характеризуються порівняно низькою світловою віддачею та значними експлуатаційними витратами. Сучасні світлодіодні джерела світла дозволяють суттєво скоротити споживання електроенергії при одночасному підвищенні якості освітлення виробничих приміщень.

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

Основною характеристикою джерела світла є світлова віддача, яка визначається як відношення світлового потоку до споживаної потужності:

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

де Φ – світловий потік, лм;

P – електрична потужність джерела світла, Вт.

Зростання світлової віддачі безпосередньо впливає на зниження споживання електроенергії при забезпеченні необхідного рівня освітленості.

Порівняльна характеристика сучасних джерел світла

Вибір типу освітлювального обладнання має базуватися не лише на початковій вартості світильників, але й на їхній енергоефективності, строку служби та експлуатаційних витратах.

Таблиця 7.4 – Порівняння характеристик різних типів джерел світла

Показник	Лампа розжарювання	Люмінесцентна лампа	LED-світильник
Світлова віддача, лм/Вт	10–15	60–90	120–180
Термін служби, год	1000	8000–12000	50000–100000
ККД, %	5–10	20–25	40–50
Час виходу на режим	миттєво	1–3 хв	миттєво
Вміст шкідливих речовин	відсутній	містить ртуть	відсутній
Енергоспоживання	високе	середнє	низьке

З таблиці видно, що світлодіодні системи освітлення значно перевищують традиційні джерела світла за більшістю технічних та економічних показників. Особливо важливими перевагами є висока світлова віддача та тривалий строк експлуатації.

Переваги LED-освітлення для підприємств харчової промисловості

Впровадження світлодіодних систем освітлення забезпечує низку переваг:

- зменшення споживання електроенергії на 50–80 %;
- покращення умов праці персоналу;
- зниження витрат на технічне обслуговування;
- відсутність шкідливих речовин;
- висока стійкість до вібрацій та перепадів температур;
- можливість інтеграції з автоматизованими системами керування.

Для виробничих приміщень харчових підприємств особливо важливим є забезпечення стабільного рівня освітленості відповідно до вимог охорони праці та санітарних норм. Сучасні LED-світильники дозволяють підтримувати необхідні параметри освітлення при значно менших витратах електроенергії.

Автоматизовані системи керування освітленням

Подальше підвищення енергоефективності можливе завдяки використанню автоматизованих систем керування освітленням.

До найбільш поширених рішень належать:

1) Датчики руху

Забезпечують автоматичне вмикання та вимикання освітлення залежно від присутності персоналу.

2) Датчики освітленості

Регулюють роботу освітлювальних установок залежно від рівня природного освітлення.

3) Таймери та програмовані контролери

Дозволяють реалізувати графіки роботи освітлення відповідно до режиму роботи підприємства.

4) Система DALI

Digital Addressable Lighting Interface є сучасним стандартом цифрового керування освітленням, який забезпечує:

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

- індивідуальне керування світильниками;
- автоматичне регулювання яскравості;
- моніторинг стану обладнання;
- інтеграцію із системами диспетчеризації будівель.

Енергетичний ефект від модернізації освітлення

Річна економія електроенергії внаслідок модернізації освітлення визначається за формулою

$$\Delta W = (P_1 - P_2) \cdot T,$$

де P_1 – встановлена потужність існуючої системи освітлення;

P_2 – встановлена потужність нової системи освітлення;

T – річна тривалість роботи.

Практика впровадження світлодіодного освітлення на промислових підприємствах свідчить, що скорочення споживання електроенергії може досягати 60–70 %, а термін окупності проєктів зазвичай становить від одного до трьох років.

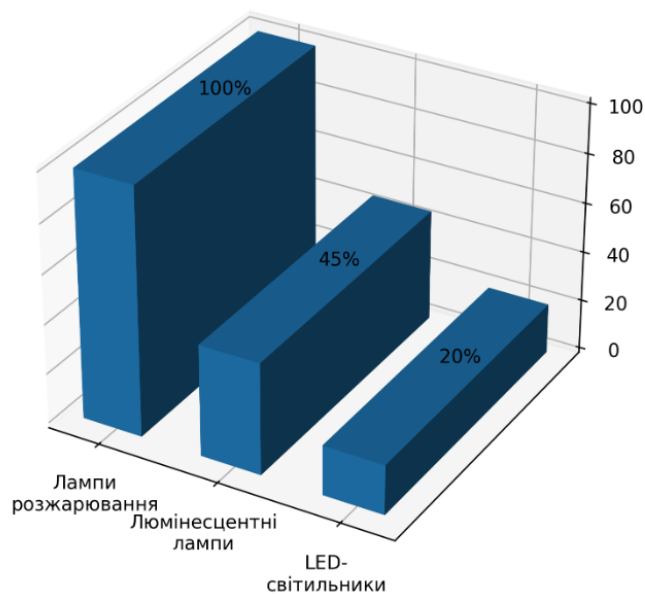


Рисунок 7.7 – Порівняння споживання електроенергії різними типами освітлювальних систем

З рисунка 7.7 видно, що найбільшим енергоспоживанням характеризуються лампи розжарювання, які прийняті за базовий рівень (100 %). Використання люмінесцентних ламп дозволяє знизити споживання електроенергії приблизно на 55 %, тоді як застосування сучасних LED-світильників забезпечує скорочення енергоспоживання до 80 % порівняно з традиційними джерелами світла. Отримані результати підтверджують доцільність модернізації освітлювальних систем підприємств харчової промисловості шляхом впровадження світлодіодних технологій та автоматизованих систем керування освітленням.

Проведений аналіз показав, що модернізація систем освітлення є одним із найбільш доступних та економічно доцільних заходів підвищення енергоефективності підприємств харчової промисловості. Використання світлодіодних джерел світла в поєднанні з автоматизованими системами керування дозволяє суттєво скоротити споживання електроенергії, покращити умови праці персоналу та знизити експлуатаційні витрати.

7.3.5 Цифровізація енергетичного господарства підприємства як інструмент підвищення енергоефективності

У сучасних умовах розвитку концепції Industry 7.0 одним із найбільш перспективних напрямів підвищення енергоефективності промислових підприємств є цифровізація енергетичного господарства. Використання цифрових технологій дозволяє перейти від традиційного контролю енергоспоживання до інтелектуального управління енергетичними ресурсами на основі безперервного моніторингу, аналізу даних та автоматизованого прийняття рішень.

Для підприємств харчової промисловості цифровізація енергетичних процесів є особливо актуальною, оскільки виробничі лінії характеризуються значною кількістю електроспоживачів, різноманітністю технологічних режимів та високими вимогами до безперервності виробництва. Впровадження сучасних цифрових систем дозволяє не лише контролювати

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

споживання електроенергії, але й оперативно виявляти неефективні режими роботи обладнання, прогнозувати навантаження та оптимізувати енергетичні витрати.

Smart Metering як основа цифрового енергомоніторингу

Однією з ключових складових цифровізації енергетичного господарства є впровадження систем Smart Metering (інтелектуального обліку енергоресурсів).

Smart Metering являє собою комплекс технічних і програмних засобів, який забезпечує автоматичний збір, передачу, обробку та зберігання інформації про параметри енергоспоживання в режимі реального часу.

На відміну від традиційних систем обліку, інтелектуальні лічильники дозволяють отримувати значно ширший перелік даних:

1. Активну потужність;
2. Реактивну потужність;
3. Коефіцієнт потужності;
4. Спожиту електроенергію;
5. Профілі навантаження;
6. Показники якості електроенергії;
7. Аварійні події та відхилення параметрів мережі.

Основні функції Smart Metering

До основних функцій систем інтелектуального обліку належать:

- 1) автоматичне формування звітів;
- 2) дистанційне зчитування показників;
- 3) аналіз енергоспоживання;
- 4) виявлення понаднормових витрат;
- 5) прогнозування навантажень;
- 6) контроль енергетичних показників виробництва.

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

Завдяки постійному контролю параметрів енергоспоживання підприємство отримує можливість оперативно реагувати на зміни режимів роботи обладнання та своєчасно виявляти приховані втрати електроенергії.



Рисунок 7.8 – Структурна схема системи Smart Metering підприємства

Система Smart Metering забезпечує централізований збір інформації від усіх вузлів обліку підприємства та формує єдину інформаційну базу для аналізу енергоспоживання. Отримані дані можуть використовуватися для формування звітності, оцінювання ефективності роботи обладнання та розроблення заходів з енергозбереження.

Переваги впровадження Smart Metering

Досвід впровадження систем інтелектуального обліку на промислових підприємствах свідчить про можливість скорочення енергоспоживання на 5–15 % без суттєвих капіталовкладень.

Основні переваги:

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	72

- підвищення прозорості енергоспоживання;
- оперативне виявлення втрат;
- зменшення людського фактора;
- автоматизація звітності;
- підвищення ефективності енергетичного менеджменту.

Використання SCADA-систем для керування енергетичними процесами

Наступним етапом цифровізації енергетичного господарства є впровадження SCADA-систем (Supervisory Control and Data Acquisition).

SCADA-системи призначені для централізованого моніторингу та керування технологічними процесами й інженерними мережами підприємства.

Основними функціями SCADA є:

- 7) збір інформації від датчиків;
- 8) візуалізація параметрів процесу;
- 9) архівування даних;
- 10) формування аварійних повідомлень;
- 11) дистанційне керування обладнанням.

На підприємствах харчової промисловості SCADA-системи найчастіше застосовуються для контролю:

- насосних станцій;
- вентиляційних установок;
- компресорних систем;
- холодильних агрегатів;
- систем електропостачання.

Завдяки використанню SCADA забезпечується оперативне керування технологічними процесами та мінімізація енергетичних втрат.

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	73

Системи енергетичного менеджменту відповідно до вимог ISO 50001

Одним із найбільш ефективних інструментів підвищення енергоефективності промислових підприємств є впровадження систем енергетичного менеджменту (Energy Management System, EMS). На відміну від окремих технічних заходів, які дозволяють досягти локального скорочення енергоспоживання, енергетичний менеджмент забезпечує системний підхід до управління енергетичними ресурсами підприємства та створює умови для постійного вдосконалення енергетичних показників.

Міжнародним стандартом у сфері енергетичного менеджменту є стандарт ISO 50001 «Energy Management Systems - Requirements with Guidance for Use». Основною метою впровадження даного стандарту є формування на підприємстві механізму безперервного підвищення енергоефективності шляхом контролю, аналізу та оптимізації використання енергетичних ресурсів.

Стандарт ISO 50001 базується на циклі безперервного вдосконалення PDCA (Plan–Do–Check–Act), який широко застосовується в сучасних системах управління.

Основними етапами циклу є:

Plan (Плануй) – розроблення енергетичної політики та встановлення цілей;

Do (Виконуй) – реалізація заходів щодо підвищення енергоефективності;

Check (Перевірй) – моніторинг та аналіз результатів;

Act (Удосконалюй) – коригування та вдосконалення системи.

Використання даного підходу дозволяє підприємству не лише досягти одноразового скорочення енергоспоживання, а й забезпечити постійне підвищення ефективності використання енергії.

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

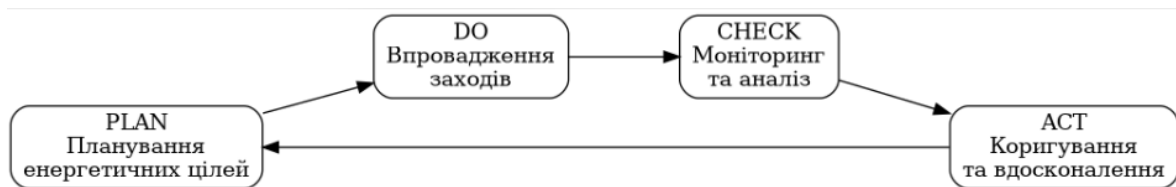


Рисунок 7.9 – Цикл безперервного вдосконалення PDCA в системі енергетичного менеджменту ISO 50001

Як показано на рисунку 7.9, функціонування системи енергетичного менеджменту відповідно до вимог ISO 50001 ґрунтується на циклі PDCA. Послідовне виконання етапів планування, реалізації заходів, контролю результатів та постійного вдосконалення забезпечує безперервне підвищення енергоефективності підприємства та створює умови для досягнення стратегічних цілей у сфері енергетичного менеджменту.

Основні переваги впровадження ISO 50001

Впровадження системи енергетичного менеджменту забезпечує:

- формування єдиної енергетичної політики підприємства;
- підвищення прозорості енергоспоживання;
- контроль ключових показників ефективності;
- зниження виробничих витрат;
- скорочення викидів парникових газів;
- підвищення конкурентоспроможності продукції.

Практика впровадження стандарту ISO 50001 свідчить, що середній рівень скорочення енергоспоживання становить від 10 до 20 % залежно від початкового рівня енергоефективності підприємства.

Енергетичні показники ефективності

Для оцінювання результативності функціонування системи енергетичного менеджменту використовуються енергетичні показники ефективності (Energy Performance Indicators, EnPI).

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

У загальному випадку енергетичний показник можна визначити як

$$EnPI = \frac{W}{Q},$$

де W – споживання енергії;

Q – обсяг виробленої продукції.

Такий показник дозволяє оцінювати ефективність використання енергії незалежно від зміни обсягів виробництва.

Концепція Industry 7.0 та цифрові двійники енергетичних систем

Сучасний розвиток промисловості характеризується активним впровадженням концепції Industry 7.0, яка передбачає інтеграцію цифрових технологій у виробничі та енергетичні процеси підприємств.

Основними елементами Industry 7.0 є:

1. Інтернет речей (iot);
2. Великі дані (Big Data);
3. Хмарні технології;
4. Штучний інтелект;
5. Цифрові двійники (Digital Twin);
6. Кіберфізичні системи.

Одним із найбільш перспективних напрямів підвищення енергоефективності є використання цифрових двійників енергетичних систем.

Цифровий двійник являє собою віртуальну модель реального об'єкта, яка відображає його технічний стан та режими роботи в режимі реального часу.

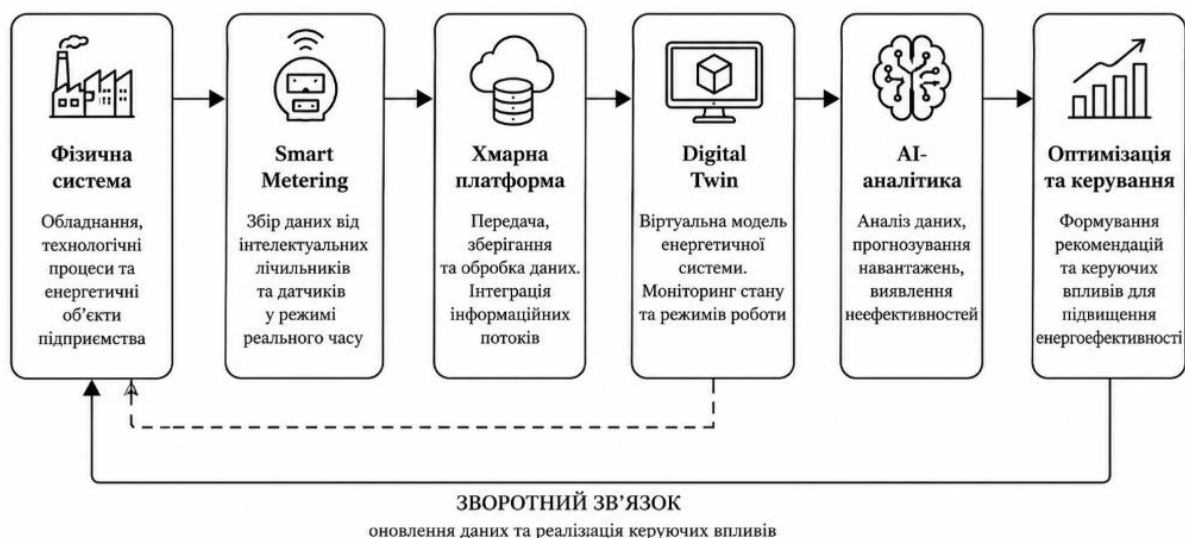


Рисунок 7.10 – Концепція Digital Twin в енергетичному менеджменті підприємства

На рисунку 7.10 представлено узагальнену концепцію використання технології Digital Twin для підвищення енергоефективності промислового підприємства. Інформація про роботу технологічного обладнання та параметри електроспоживання надходить від інтелектуальних лічильників і датчиків до хмарної платформи, де формується цифровий двійник енергетичної системи. Отримані дані використовуються алгоритмами штучного інтелекту для прогнозування режимів роботи, виявлення неефективних ділянок енергоспоживання та формування керуючих впливів. Наявність двостороннього інформаційного зв'язку між реальною системою та її цифровою моделлю забезпечує актуалізацію даних у режимі реального часу та створює умови для оптимізації енергетичних процесів підприємства.

Принцип роботи цифрового двійника

Функціонування цифрового двійника передбачає:

- збір інформації від датчиків;
- передачу даних до серверної платформи;
- математичне моделювання роботи обладнання;
- аналіз відхилень;
- прогнозування режимів роботи;

г) формування рекомендацій щодо оптимізації.

Завдяки цьому стає можливим прогнозування енергоспоживання, визначення потенційних втрат та вибір оптимальних режимів роботи обладнання.

Переваги використання Digital Twin

Основними перевагами цифрових двійників є:

- прогнозування аварійних ситуацій;
- оптимізація режимів роботи обладнання;
- зменшення витрат на технічне обслуговування;
- скорочення енергоспоживання;
- підвищення надійності електропостачання.

За результатами сучасних досліджень використання цифрових двійників дозволяє знизити енергоспоживання підприємств на 15–25 % та підвищити точність прогнозування навантажень до 90–95 %.

Таблиця 7.5 – Порівняльна характеристика цифрових технологій підвищення енергоефективності

Технологія	Потенційна економія енергії, %	Складність впровадження	Орієнтовний термін окупності
Smart Metering	5–15	Низька	1–2 роки
SCADA	5–10	Середня	2–3 роки
EMS (ISO 50001)	10–20	Середня	2–4 роки
Digital Twin	15–25	Висока	3–5 років

Цифровізація енергетичного господарства є одним із найбільш перспективних напрямів підвищення енергоефективності підприємств харчової промисловості. Використання систем Smart Metering, SCADA та EMS забезпечує оперативний контроль параметрів енергоспоживання та сприяє прийняттю обґрунтованих управлінських рішень. Подальший розвиток концепції Industry 7.0 та впровадження цифрових двійників створюють умови для переходу до інтелектуального управління енергетичними ресурсами та досягнення нового рівня енергоефективності виробництва.

ВИСНОВКИ

У дипломній роботі виконано проектування системи електропостачання підприємства харчової промисловості та досліджено шляхи підвищення енергоефективності виробництва. На основі аналізу технологічного процесу та складу електроспоживачів визначено розрахункові електричні навантаження виробничих, допоміжних і адміністративно-побутових підрозділів підприємства. Проведено розрахунок силових та освітлювальних навантажень, побудовано добові й річні графіки електроспоживання, а також визначено центр електричних навантажень за результатами побудови картограми.

Для забезпечення надійного електропостачання підприємства розроблено схему внутрішнього електропостачання з використанням розподільчого пункту 10 кВ та п'яти одотрансформаторних комплектних трансформаторних підстанцій. За результатами розрахунків для всіх підстанцій обрано силові трансформатори потужністю 400 кВА, які забезпечують необхідний резерв потужності та відповідають умовам нормальної експлуатації. Виконано розрахунок струмів короткого замикання, на підставі якого здійснено вибір комутаційної апаратури, кабельних ліній, трансформаторів струму та іншого електротехнічного обладнання. Проведені перевірки підтвердили відповідність обраного обладнання вимогам термічної та електродинамічної стійкості.

У роботі виконано техніко-економічне порівняння можливих варіантів побудови системи електропостачання, за результатами якого обґрунтовано доцільність застосування схеми з розподільчим пунктом 10 кВ. З метою підвищення енергоефективності системи електропостачання проведено розрахунок компенсації реактивної потужності та обрано батареї статичних конденсаторів сумарною потужністю близько 750 квар, що дозволяє зменшити втрати електроенергії в мережі, покращити коефіцієнт потужності та знизити навантаження на силові трансформатори.

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

У спеціальній частині роботи розглянуто сучасні напрями підвищення енергоефективності підприємств харчової промисловості. Встановлено, що значний потенціал енергозбереження забезпечують впровадження систем компенсації реактивної потужності, частотного регулювання електроприводів, енергоефективного світлодіодного освітлення, а також цифрових систем обліку та моніторингу енергоспоживання. Запропоновані технічні рішення забезпечують підвищення надійності електропостачання, зниження втрат електричної енергії та покращення енергетичних показників підприємства. Отримані результати підтверджують технічну та економічну доцільність прийнятих проектних рішень і можуть бути використані під час проектування нових та модернізації існуючих підприємств харчової промисловості.

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

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

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

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

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

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

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

6. Електротехнічні системи електроспоживання / [Плешков П. Г., Зінзура В. В., Гарасьова Н. Ю., Котиш А. І., Величко Т. В., Плешков С. П.]; під редакцією Заслуженого працівника освіти України, кандидата технічних наук,

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

професора Плешкова П. Г. – М-во освіти і науки України, Центральноукр. нац. техн. ун-т. –Кропивницький : ЦНТУ, 2021.– 209 с.

7. 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.

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

9. Лежнюк П.Д. Електроощадні технології в електричних мережах енергосистем / Любов Наумівна Добровольська, Володимир Володимирович Кулик, Петро Дем'янович Лежнюк // Під редакцією Лежнюка П.Д. – Луцьк: ІВВ Луцького НТУ, 2018. – 328 с.

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