

Центральноукраїнський національний технічний університет
Факультет будівництва, транспорту та енергетики
Кафедра «Електротехнічні системи та енергетичний менеджмент»

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ

ВИЩОЇ ОСВІТИ

на тему:

Розроблення системи електропостачання

підприємства з виробництва хліба та хлібобулочних

виробів

Виконав здобувач вищої освіти
IV курсу, групи ЕЕ22
ОПП «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
_____ Олександр СТІЛЕНКО
« ____ » _____ 2026 р.

Керівник роботи
доцент, канд. техн. наук
_____ Руслан ТЕЛЮТА
« ____ » _____ 2026 р.

Рецензент _____

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет будівництва, транспорту та енергетики

Кафедра електротехнічних систем та енергетичного менеджменту

Освітній ступінь перший (бакалаврський)

Галузь знань 14 Електрична інженерія

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітньо-професійна програма «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

_____ П. Плешков

«_____» _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

Стріленку Олександру Григоровичу

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи

Розроблення системи електропостачання підприємства з виробництва хліба та хлібобулочних виробів

Development of the power supply system of the enterprise for the production of bread and bakery products

2. Керівник роботи

Телюта Руслан Васильович, к.т.н., доцент

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

3. Строк подання студентом роботи до захисту 12.06.2026 р.

4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи Метою роботи є розробка системи електропостачання підприємства з виробництва хліба та хлібобулочних виробів. Завдання: дати коротку характеристику електротехнологічного процесу. Розрахунок силових електричних навантажень. Побудова графіків електричних навантажень підприємства з виробництва хліба та хлібобулочних виробів. Побудова картограм електричних навантажень. Вибір напруги і електричних схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання. Режими реактивної потужності системи електропостачання. Вибір кількості та потужності трансформаторів. Розрахунок струмів коротких замкнень та вибір високовольтного обладнання і високовольтних мереж системи електропостачання. Вимірювання режимних параметрів системи електропостачання. Спеціальний розділ. Висновки. Перелік посилань.

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Видача завдання</i>	<i>08.05.26</i>	
2	<i>Вступ</i>	<i>09.05.26</i>	
3	<i>Електричні навантаження в системі електропостачання</i>	<i>10.05.26</i>	
4	<i>Побудова картограми електричних навантажень</i>	<i>15.05.26</i>	
5	<i>Техніко-економічне обґрунтування схем електропостачання</i>	<i>18.05.26</i>	
6	<i>Вибір кількості, потужності та місця розташування трансформаторів</i>	<i>22.05.26</i>	
7	<i>Режими реактивної потужності системи електропостачання</i>	<i>25.05.26</i>	
8	<i>Розрахунок струмів короткого замикання</i>	<i>29.05.26</i>	
9	<i>Вибір обладнання електропостачання</i>	<i>31.05.26</i>	
10	<i>Спеціальний розділ</i>	<i>05.06.26</i>	
11	<i>Висновки</i>	<i>10.06.26</i>	
12	<i>Список літератури</i>	<i>10.06.26</i>	
13	<i>Оформлення розрахунково-пояснювальної записки</i>	<i>11.06.26</i>	
14	<i>Оформлення графічної частини</i>	<i>12.06.26</i>	

Дата видачі завдання

« 08 » травня 20 26 р.

Підпис керівника

_____ Руслан ТЕЛЮТА

Завдання прийнято до виконання

« 08 » травня 20 26 р.

Підпис керівника

_____ Олександр СТІЛЕНКО

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: 66 с.; 18 рис.; 30 табл.; 10 джерел

Стріленко О.Г. Розроблення системи електропостачання підприємства з виробництва хліба та хлібобулочних виробів. – Рукопис.

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

Бакалаврська робота присвячена створенню сучасної, надійної та енергоефективної системи електропостачання хлібозаводу. З цією метою проведено розрахунки електричних навантажень об'єктів за методом впорядкованих діаграм, визначено координати центра електричних навантажень, а також розраховано баланс реактивної потужності. Шляхом техніко-економічного порівняння варіантів обґрунтовано схему зовнішнього живлення на напрузі 10 кВ двома кабельними лініями та радіальну структуру внутрішньозаводського розподілу енергії. На основі розрахунку струмів короткого замикання здійснено вибір цехових трансформаторів, високовольтних кабелів, комутаційної та захисної апаратури, перевірених на тривалий нагрів, термічну і динамічну стійкість.

Особливу увагу приділено розділу енергоменеджменту, в межах якого впроваджено систему енергомоніторингу за стандартом ISO 50001:2018 для тунельної конвеєрної печі ПХС 25. Побудовано багатофакторну регресійну модель споживання газу, розраховано тепловий баланс установки та обґрунтовано комплекс енергозберігаючих заходів (встановлення рекуператора, PIR-теплоізоляції та оптимізація надлишку повітря пальників), що забезпечує сукупний річний економічний ефект у розмірі 340,4 тис. грн/рік та зниження викидів парникових газів.

Ключові слова: електричні навантаження, хлібозавод, трансформаторна підстанція, струми короткого замикання, вакуумний вимикач, енергоменеджмент, тунельна піч, енергозбереження, рекуперація.

ABSTRACT

Qualification work: 66 p.; 18 Fig.; 30 tables; 10 sources

Strilenko O.H. Development of the power supply system of the enterprise for the production of bread and bakery products. – Manuscript.

Bachelor's thesis in specialty 141 "Electrical Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics", Educational and Professional Program "Electrical Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics". – Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, 2026.

The bachelor's thesis is dedicated to the creation of a modern, reliable, and energy-efficient power supply system for a bakery enterprise. For this purpose, electrical loads of the facilities were calculated using the ordered diagrams method, the coordinates of the electrical load center were determined, and the reactive power balance was calculated. Through a technical and economic comparison of alternatives, a 10 kV external power supply scheme utilizing two cable lines and a radial structure for in-plant energy distribution were substantiated. Based on the short-circuit current calculations, the selection of shop transformers, high-voltage cables, switching, and protective equipment was carried out, all verified for continuous heating, thermal, and dynamic stability.

Special attention is paid to the energy management section, within which an energy monitoring system according to the ISO 50001:2018 standard was implemented for the PXS 25 tunnel conveyor oven. A multifactorial regression model of gas consumption was constructed, the thermal balance of the plant was calculated, and a complex of energy-saving measures was justified (installation of a recuperator, PIR thermal insulation, and optimization of burner excess air), providing a cumulative annual economic effect of 340.4 thousand UAH/year and reduction of greenhouse gas emissions.

Keywords: electrical loads, bakery, transformer substation, short-circuit currents, vacuum circuit breaker, energy management, tunnel oven, energy saving, recuperation.

Зміст

Вступ.....	7
1. Електричні навантаження хлібопекарського підприємства	8
1.1 Визначення електронавантажень хлібопекарського підприємства в електромережах до 1000 В	8
1.2 Розрахунок освітлювальних навантажень хлібопідприємства.....	11
1.3 Розрахунок електронавантажень по хлібопекарському підприємству в електромережах вище 1000 В	11
1.4 Графіки електричних навантажень хлібопекарського підприємства	17
2. Побудова картограми електричних навантажень для хлібопекарського підприємства.....	22
3. Техніко-економічне обґрунтування схем електропостачання хлібопекарського підприємства.....	23
3.1. Вибір схеми зовнішнього електропостачання хлібопекарського підприємства.....	23
3.2. Вибір напруги та схеми внутрішнього електропостачання хлібопекарського підприємства.....	27
4. Режим реактивної потужності системи електропостачання хлібопекарського підприємства.....	28
4.1. Розрахунок балансу реактивної потужності на хлібопідприємстві..	28
4.2. Вибір кількості, потужності та місця розташування компенсуючих пристроїв на хлібопідприємстві	29
5. Вибір кількості та потужності трансформаторів на хлібопекарському підприємстві.....	37
6. Розрахунок струмів короткого замикання. Вибір електрообладнання хлібопекарського підприємства та силових електромереж.....	38
6.1. Розрахунок струмів коротких замикань в системі живлення хлібопекарського підприємства.....	38

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата				
Розробив	Стріленко О.Г.				Розроблення системи електропостачання підприємства з виробництва хліба та хлібобулочних виробів		Літ.	Аркуш
Перевірів	Телюта Р.В.							5
								66
Н. Контр.							ЦНТУ гр. ЕЕ22	
Затвердив	Плещков П.Г.							

6.2. Вибір високовольтних кабелів для хлібопекарського підприємства	43
6.3. Вибір електричних апаратів високої напруги для хлібозаводу	44
6.4. Вибір трансформаторів струму та напруги для хлібозаводу	46
7. Спеціальне питання. Впровадження системи енергетичного менеджменту та енергозбереження на хлібопекарському підприємстві.	47
7.1. Показники енергетичної результативності газових печей хлібопекарського виробництва	47
7.2 Побудова регресійної моделі споживання природного газу печами	49
7.3 Структура та процедури системи енергетичного моніторингу	51
7.4 Тепловий баланс газової хлібопекарської печі ПХС 25	53
7.5 Інформаційне забезпечення та статистичний контроль якості в системі енергоменеджменту	57
7.6 Енергозбереження на хлібопекарському підприємстві: аналіз та техніко-економічне обґрунтування заходів	58
7.6.1 Аналіз потенціалу енергозбереження та класифікація заходів	58
7.6.2 Технічний розрахунок рекуперативного теплообмінника	59
7.6.3 Розрахунок додаткової теплоізоляції огорожувальних конструкцій ...	60
7.6.4 Оптимізація роботи газових пальників	61
7.6.5 Техніко-економічне обґрунтування заходів з енергозбереження	61
7.6.6 Екологічний ефект від впровадження заходів з енергозбереження	62
7.7 Висновки до розділу 7	63
Висновки	64
Список використаних джерел	66

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		6

ВСТУП

Актуальність теми. Харчова промисловість України, зокрема хлібопекарська галузь, є стратегічно важливою складовою забезпечення продовольчої безпеки держави. В сучасних умовах 2026 року функціонування хлібопекарських підприємств відбувається в умовах жорстких вимог до енергетичної незалежності, децентралізації енергопостачання та необхідності суттєвого зниження собівартості продукції. Хлібозаводи характеризуються безперервним та чітко регламентованим технологічним циклом, де навіть короточасні перерви в електроживленні термічних агрегатів, тістоприготувальних ліній чи пакувальних комплексів призводять до масового псування сировини, недоотримання готової продукції та значних фінансових збитків.

Тому розроблення високонадійних, гнучких та енергоефективних систем електропостачання хлібопекарських підприємств із впровадженням елементів концепції Engineering 4.0 є надзвичайно актуальним інженерним завданням. Сучасний підхід вимагає не просто проектування стандартних електричних мереж, а створення інтелектуальних систем, що інтегрують пристрої автоматичного введення резерву (АВР), системи моніторингу якості електричної енергії та інструменти енергетичного менеджменту для оптимізації споживання паливно-енергетичних ресурсів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана відповідно до пріоритетних напрямків розвитку науки і техніки України спрямованих на підвищення ефективності та надійності систем електропостачання промислових та аграрних підприємств.

Метою бакалаврської роботи є комплексне розроблення та обґрунтування системи електропостачання підприємства з виробництва хліба та хлібобулочних виробів, яка забезпечує високу надійність живлення електроприймачів I та II категорій, мінімізацію втрат потужності та інтеграцію сучасних методів енергомоніторингу.

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

1. Електричні навантаження хлібопекарського підприємства

З метою обґрунтованого розрахунку та визначення вихідних параметрів системи електрозабезпечення дільниць хлібозаводу було застосовано комплекс чинних методичних положень, галузевих рекомендацій та нормативно-технічних матеріалів, які регламентують проектування подібних об'єктів, та відповідно [1].

1.1 Визначення електронавантажень хлібопекарського підприємства в електромережах до 1000 В

Для прогнозування та обґрунтування електричних навантажень було використано метод коеф. максимуму (метод впорядкованих діаграм). Практичну реалізацію здійснено на прикладі «Кондитерський цех / Дільниця здоби»:

$$P_{\text{см}} = P_{\text{сум}} K_{\text{и}} = 17 \cdot 0,601 = 10,22 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{см}} = P_{\text{см}} \operatorname{tg} \varphi = 10,22 \cdot 0,75 = 7,69 \text{ кВар}.$$

Для координації розрахункових навантажень технологічного вузла та обчислення групового коефіцієнта використання спершу визначають показник кратності встановлених потужностей m .

$$m = \frac{P_{\text{н.макс}}}{P_{\text{н.мін}}} = \frac{5,5}{1,5} = 3,7$$

$$n_{\text{сф}} = \frac{2 \sum P_{\text{н}}}{P_{\text{н.макс}}} = \frac{2 \cdot 11}{5,5} = 4$$

На основі [1] для визначеної ефективної кількості електроприймачів та групового коеф. використання $K_{\text{в}}$ прийнято значення коеф максимуму $K_{\text{м}} = 1,53$.

Розрахункові координати активної $P_{\text{р}}$ та реактивної $Q_{\text{р}}$ потужностей:

$$P_{\text{р}} = P_{\text{см}} K_{\text{м}} = 10,22 \cdot 1,53 = 15,59 \text{ кВт}, \quad Q_{\text{р}} = Q_{\text{см}} = 7,69 \text{ кВар}.$$

Максимальне повне навантаження ($S_{\text{р}}$) по Кондитерський цех/ Дільниця здоби

$$S_{\text{р}} = \sqrt{P_{\text{р}}^2 + Q_{\text{р}}^2} = \sqrt{15,59^2 + 7,69^2} = 17,74 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

Результати комплексного оцінювання навантажень до 1000 В для всіх підрозділів цеху обробки буряків та загальні показники по заводу в табл. 1.1-1.2

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

Таблиця 1.1.1-Розрахунок силових електричних навантажень до 1 кВ по "Кондитерський цех / Дільниця здоби"

№ п/п	Назва групи споживачів	К-ть ЕС	Р _{одн} , кВт		Р _{сум} кВт	m	K _н	cosj	tgj	Середнє		n _{еф}	K _м	Розрахункове навантаження		
			Р _{мін} кВт	Р _{мак} кВт						Р _{см} , кВт	Q _{см} , кВар			Р _p , кВт	Q _p , кВар	S _p , кВА
1.	Кондитерського цеху (дільниці здоби). Автоматичний дозатор	4	1,5	5,5	17	3,7	0,601	0,799	0,75	10,22	7,69	4	1,53	15,59	8,46	17,74
2.	Охолоджувальний конвеєр	6	1,5	1,5	9	1	0,601	0,702	1,01	5,41	5,49	6	1,4	7,56	6,04	9,68
3.	Система припливної вентиляції	28	1,5	3	53,5	2	0,501	0,701	1,02	26,8	27,26	28	1,21	32,32	27,26	42,28
4.	Борошнопросіювач з магнітною сепарацією	4	4	5,5	18	1,4	0,502	0,701	1,02	9,04	9,2	4	1,69	15,26	10,12	18,31
5.	Тістомісильна машина (планетарна)	2	0,75	0,75	1,5	1	0,601	0,799	0,75	0,9	0,68	2	1,96	1,77	0,75	1,92
6.	Машина для відсадки тіста	4	0,55	3	2,4	5,4	0,601	0,799	0,75	1,44	1,08	2	1,96	2,82	1,19	3,06
7.	Теплова завіса входу	4	2,2	2,2	8,8	1	0,49	0,699	1,02	4,31	4,41	4	1,71	7,37	4,85	8,82
8.	Збивальна машина	4	5,5	15	40	2,7	0,599	0,798	0,76	23,96	18,09	4	1,53	36,63	19,9	41,69
9.	Насосна станція подачі начинок	5	18,5	18,5	95	1	0,501	0,699	1,02	47,59	48,69	5	1,59	75,6	53,56	92,65
10.	Шафа для вистоювання тіста	2	0,37	3	3,37	8,1	0,601	0,799	0,75	2,03	1,53	2	1,96	3,98	1,68	4,32
11.	Електропривід автоматичних дверей	2	0,37	0,75	0,12	2	0,499	0,701	1,02	0,06	0,06	2	2,27	0,14	0,07	0,16
12.	Локальна витяжка над печами	2	1,1	1,1	2,2	1	0,5	0,7	1,02	1,1	1,12	2	2,26	2,49	1,23	2,78
13.	Холодильна шафа для інгредієнтів	4	0,55	1,1	3,05	2	0,601	0,799	0,75	1,83	1,38	4	1,53	2,79	1,52	3,18
14.	Ротаційна хлібопекарська піч	7	0,75	5,5	12	7,3	0,499	0,701	1,02	5,99	6,09	4	1,69	10,14	6,7	12,15
15.	Контролер керування температурою	2	0,75	0,75	1,5	1	0,499	0,701	1,02	0,75	0,76	2	2,27	1,7	0,84	1,9
16.	Ланцюговий конвеєр лінії	4	1,1	1,5	5,2	1,4	0,601	0,799	0,75	3,13	2,36	4	1,53	4,77	2,6	5,43
17.	Глазурувальна машина	2	1,1	1,1	2,2	1	0,6	0,8	0,75	1,32	0,99	2	1,96	2,59	1,09	2,81
18.	Електричний тельфер	2	0,55	0,55	1,1	1	0,5	0,7	1,02	0,55	0,56	2	2,26	1,25	0,62	1,4
19.	Електрокотел підігріву води	2	0,75	0,75	0,95	1	0,5	0,7	1,02	0,48	0,49	2	2,26	1,09	0,54	1,22
20.	Пакувальна машина типу "Flow-pack"	4	10	10	40	1	0,599	0,799	0,75	23,96	18,03	4	1,53	36,63	19,83	41,65
	Всього по Кондитерський цех	94	0,37	18,5	316,89	50	0,539 209	0,739	0,91	170,87	155,96	34	1,17	199,42	155,96	253,16

Таблиця 1.1.2-Розрахунок електричних навантажень до 1 кВ по "Кондитерський цех / Дільниця здоби"

№ п/п	Назва групи споживачів	К-ть ЕС	Р _{одн} , кВт		Р _{сум} кВт	m	K _и	cosj	tgj	Середнє		n _{еф}	K _м	Розрахункове навантаження		
			Р _{min} кВт	Р _{max} кВт						Р _{см} , кВт	Q _{см} , кВар			Р _p , кВт	Q _p , кВар	S _p , кВА
1.	Дільниця вторинної переробки	20	0,18	4	26,3	22,2	0,599	0,701	1,02	15,75	16,02	13	1,25	19,63	16,02	25,34
2.	Тістоприготувальне відділення	80	1,5	55	796	36,7	0,701	0,902	0,48	558	267,08	29	1,11	617,91	267,08	673,16
3.	Дільниця підготовки сировини	42	1,5	45	524,5	30	0,601	0,799	0,75	315,22	237,24	23	1,18	370,59	237,24	440,02
4.	Пекарне відділення (головний зал)	32	5,5	45	557,5	8,2	0,701	0,800 5	0,75	390,81	292,6	25	1,12	436,48	292,6	525,48
5.	Логістичний центр (Експедиція)	4	10	10	40	1	0,51	0,701	1,02	20,4	20,75	4	1,67	34,15	22,82	41,07
6.	Цех нарізки та пакування	12	5,5	45	74,5	8,2	0,41	0,701	1,02	30,54	31,07	3	2,08	63,45	34,18	72,07
7.	Кондитерський цех / Дільниця здоби	112	0,3	11	302,5	36,7	0,687	0,799	0,75	207,82	156,41	55	1,08	224,34	156,41	273,48
8.	Склад БЗТ-1	16	2,2	22	146,4	10	0,701	0,899	0,49	102,63	50	13	1,17	120,19	50	130,18
9.	Склад БЗТ-2	15	2,2	22	138,2	10	0,701	0,902	0,48	96,88	46,37	13	1,17	113,46	46,37	122,57
10.	Склад БЗТ-3	15	2,2	22	137,2	10	0,701	0,902	0,48	96,18	46,04	12	1,18	113,44	46,04	122,43
11.	Склад БЗТ-4	16	2,2	22	147,4	10	0,701	0,9	0,48	103,33	50,04	13	1,17	121,01	50,04	130,95
12.	Склад БЗТ-5	14	2,2	22	121,4	10	0,701	0,902	0,48	85,1	40,73	11	1,19	101,2	40,73	109,09
13.	Дільниця обслуговування складської техніки	14	1,1	15	53,4	13,6	0,405	0,897	0,49	21,63	10,66	7	1,6	34,52	11,73	36,46
14.	Побутовий комплекс (АПК)	10	1,1	40	166,4	36,4	0,66	0,807	0,73	109,82	80,36	8	1,27	139,65	88,4	165,28
15.	Транспортний цех (Автопарк)	16	1,1	15	107	13,6	0,41	0,897	0,49	43,87	21,62	14	1,38	60,76	21,62	64,49
16.	Опалювальний енергоцентр	21	10	40	244	4	0,645	0,796	0,76	157,38	119,68	12	1,22	192,53	119,68	226,7
17.	Адміністративно-диспетчерський пункт	19	2,2	22	417	10	0,654	0,792	0,77	272,72	210,23	19	1,17	317,74	210,23	380,99
18.	Приймальне відділення сировини	46	0,55	40	378	72,7	0,701	0,789	0,78	264,98	206,34	19	1,14	301,26	206,34	365,15
	Всього по підприємству	504	0,18	55	4377,7	305,6	0,660 863	0,835	0,66	2893,06	1903,24	159	1,05	3034,13	1903,24	3581,66

1.2 Розрахунок освітлювальних навантажень хлібопекарського підприємства

Розрахунок освітлювальних навантажень по хлібовиробничому підприємству виконується за методиками [1]. Розрахунків освітлювальних навантажень табл 1.2.

Таблиця 1.2 - Розрахунок освітлювальних навантажень по приміщеннях.

№	Найменування приміщення хлібовиробничого підприємства	$F, \text{ м}^2$	$P_o, \text{ Вт/м}^2$	$P_v, \text{ кВт}$	K_c	K_1	$\cos\varphi$	$\text{tg}\varphi$	Розр навантаження приміщення заводу		
									$P_p, \text{ кВт}$	$Q_p, \text{ кВАр}$	$S_p, \text{ кВА}$
1.	Дільниця вторинної переробки	1440	10	14,4	0,95	1,12	0,5	1,732	15,32	26,53	30,64
2.	Тістоприготувальне відділення	1380	8	11,04	0,95	1,12	0,5	1,732	11,75	20,35	23,5
3.	Дільниця підготовки сировини	2180	10	21,8	0,95	1,12	0,5	1,732	23,2	40,18	46,4
4.	Пекарне відділення (головний зал)	2280	8	18,24	0,95	1,12	0,5	1,732	19,41	33,62	38,82
5.	Логістичний центр (Експедиція)	1880	10	18,8	0,95	1,12	0,5	1,732	20	34,64	40
6.	Цех нарізки та пакування	1276	12	15,31	0,95	1,12	0,5	1,732	16,29	28,21	32,58
7.	Кондитерський цех / Дільниця зд	1480	12	17,76	0,95	1,12	0,5	1,732	18,9	32,73	37,8
8.	Склад БЗТ-1	3240	6	19,44	0,95	1,12	0,5	1,732	20,68	35,82	41,36
9.	Склад БЗТ-2	2864	6	17,18	0,95	1,12	0,5	1,732	18,28	31,66	36,56
10.	Склад БЗТ-3	3660	6	21,96	0,95	1,12	0,5	1,732	23,37	40,48	46,74
11.	Склад БЗТ-4	3660	6	21,96	0,95	1,12	0,5	1,732	23,37	40,48	46,74
12.	Склад БЗТ-5	2910	6	17,46	0,95	1,12	0,5	1,732	18,58	32,18	37,16
13.	Дільниця обслуговування складськ техніки	1180	8	9,44	0,95	1,12	0,5	1,732	10,04	17,39	20,08
14.	Побутовий комплекс (АПК)	1380	14	19,32	0,95	1,12	0,5	1,732	20,56	35,61	41,12
15.	Транспортний цех (Автопарк)	1420	8	11,36	0,95	1,12	0,5	1,732	12,09	20,94	24,18
16.	Опалювальний енергоцентр	980	6	5,88	0,8	1,12	0,5	1,732	5,27	9,13	10,54
17.	Адміністративно-диспетчерський пункт	976	18	17,57	0,95	1,12	0,5	1,732	18,69	32,37	37,38
18.	Приймальне відділення сировини	4275	8	34,2	0,95	1,12	0,5	1,732	36,39	63,03	72,78
19.	Зовнішнє освітлення підприємств	154750	0,3	46,42	0,8	1,12	0,5	1,732	41,59	72,03	83,17
	Всього по підприємству			359,5					373,7	647,3	747,5

1.3 Розрахунок електронавантажень по хлібопекарському підприємству в електромережах вище 1000 В

Для визначення електронавантаження напругою понад 1000 В для хлібовиробничого підприємства використаємо запропнований метод, що представлений у посібнику [1], в якому запропонований принцип - коефіцієнта розрахункової потужності. Результати зведено в таблицю 1.3.

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

Таблиця 4.2.5- Розрахунок електричних навантажень, по хлібовиробничому підприємству, в мережі вище 1000 В

Назва групи споживачів	К-ть ЕС	Р _{одн'} кВт		Р _{сум} кВт	m	K _н	cos ϕ	tg ϕ	Середнє		$\eta_{\text{еф}}$	K _м	Розрахункове навантаження		
		Р _{min} кВт	Р _{max} кВт						Р _{см} , кВт	Q _{см} , кВар			Р _р , кВт	Q _р , кВар	S _р , кВА
ТП-1,2															
Дільниця вторинної переробки															
силове:	20	0,18	4	26,3	22,2	0,6	0,7	1,02	15,75	16,02	13	1,25	19,63	16,02	25,34
освітлювальне:									14,4				15,32	26,53	
Всього:									30,15	16,02			34,95	42,55	55,06
Тістоприготувальне відділення															
силове:	80	1,5	55	796	36,7	0,7	0,9	0,48	558	267,08	29	1,11	617,91	267,08	673,16
освітлювальне:									11,04				20,35	23,5	
Всього:									569,04	267,08			638,26	290,58	701,29
Дільниця підготовки сировини															
силове:	42	1,5	45	524,5	30	0,6	0,8	0,75	315,22	237,24	23	1,18	370,59	237,24	440,02
освітлювальне:									21,8				40,18	46,4	
Всього:									337,02	237,24			410,77	283,64	499,18
Адміністративно-диспетчерський пункт															
силове:	19	2,2	22	417	10	0,65	0,79	0,77	272,72	210,23	19	1,17	317,74	210,23	380,99
освітлювальне:									17,57				18,69	32,37	
Всього:									290,29	210,23			336,43	242,6	414,78
Побутовий комплекс (АПК)															
силове:	10	1,1	40	156,4	36,4	0,66	0,81	0,73	103,22	75,53	8	1,27	131,25	83,08	155,33
освітлювальне:									19,32				35,61	41,12	
Всього:									122,54	75,53			166,86	124,2	208,01
Всього по ТП-1,2:															
силове:	171	0,18	55	1920,2	305,6	0,66	0,84	0,64	1264,91	806,1	70	1,08	1362,95	806,1	1583,49

Продовження таблиці 4.2.5															
Назва групи споживачів	К-ть ЕС	Р _{одн'} кВт		Р _{сум} кВт	m	K _ч	cosj	tgj	Середнє		п _{еф}	K _м	Розрахункове навантаження		
		Р _{min} кВт	Р _{max} кВт						Р _{см} , кВт	Q _{см} , кВар			Р _p , кВт	Q _p , кВар	S _p , кВА
освітлювальне:									84,13				130,15	169,92	
БК 0,4 кВ										0				0	
Всього на шинах 0.4 кВ ТП-1,2:									1349,04	806,1			1493,1	976,02	1783,81
Втрати в трансформаторах:													25,35	169,91	
Кількість трансформаторів: 3															
Номінальна потужність, кВА: 630															
Коефіцієнт завантаження: Kз = 0,94															
Всього на шинах 10 кВ ТП-1,2:													1518,45	1145,93	1902,33
ТП-3															
Пекарне відділення (головний зал)															
силове:	32	5,5	45	557,5	8,2	0,7	0,8	0,75	390,81	292,6	25	1,12	436,48	292,6	525,48
освітлювальне:									18,24				33,62	38,82	
Всього:									409,05	292,6			470,1	331,42	575,18
Цех нарізки та пакування															
силове:	12	5,5	45	74,5	8,2	0,41	0,7	1,02	30,54	31,07	3	2,08	63,45	34,18	72,07
освітлювальне:									15,31				28,21	32,58	
Всього:									45,85	31,07			91,66	66,76	113,4
Логістичний центр (Експедиція)															
силове:	4	10	10	40	1	0,51	0,7	1,02	20,4	20,75	4	1,67	34,15	22,82	41,07
освітлювальне:									18,8				34,64	40	
Всього:									39,2	20,75			68,79	62,82	93,16
Кондитерський цех / Дільниця здоби															
силове:	94	0,37	18,5	316,89	50	0,54	0,74	0,91	170,8	155,71	34	1,17	199,36	155,71	252,96
освітлювальне:									17,76				32,73	37,8	

Продовження таблиці 4.2.5

Назва групи споживачів	К-ть ЕС	Р _{одн'} , кВт		Р _{сум} кВт	m	К _и	cosj	tgj	Середнє		п _{еф}	К _м	Розрахункове навантаження		
		Р _{min} кВт	Р _{max} кВт						Р _{см} , кВт	Q _{см} , кВар			Р _p , кВт	Q _p , кВар	S _p , кВА
Всього:									188,56	155,71			232,09	193,51	302,18
Дільниця обслуговування складської техніки															
силове:	14	1,1	15	53,4	13,6	0,41	0,9	0,49	21,63	10,66	7	1,6	34,52	11,73	36,46
освітлювальне:									9,44				17,39	20,08	
Всього:									31,07	10,66			51,91	31,81	60,88
Всього по ТП-3:															
силове:	156	0,37	45	1042,29	121,6	0,61	0,78	0,81	634,18	510,79	46	1,12	707,65	510,79	872,74
освітлювальне:									79,55				146,59	169,28	
БК 0,4 кВ										0				0	
Всього на шинах 0.4 кВ ТП-3:									713,73	510,79			854,24	680,07	1091,89
Втрати в трансформаторах:													14,77	101,82	
Кількість трансформаторів: 2															
Номінальна потужність, кВА: 630															
Коефіцієнт завантаження: Кз = 0,87															
Всього на шинах 10 кВ ТП-3:													869,01	781,89	1168,99
ТП-4															
Опалювальний енергоцентр															
силове:	17	10	40	200	4	0,61	0,8	0,76	122	92,77	10	1,28	156,09	102,05	186,49
освітлювальне:									5,88				5,27	9,13	
Всього:									127,88	92,77			161,36	111,18	195,95
Склад БЗТ-1															
силове:	16	2,2	22	91,4	10	0,7	0,9	0,49	64,07	31,21	8	1,23	78,82	34,33	85,97
освітлювальне:									19,44				20,68	35,82	
Всього:									83,51	31,21			99,5	70,15	121,74

	App.
	16

1.4 Графіки електричних навантажень хлібопекарського підприємства

У даному підрозділі було розраховано параметри графіків електр. навант. Розрахунки були виконані згідно методики [1]. Результати розрахунків зведено в табл. 1.4.1 - 1.4.2 а також наведені на рис. 1.1 - 1.5.

Таблиця 1.4.1 - Вихідні дані графіків електричного навантаження хлібопекарського підприємства

Доба, години	Робочий період хлібопекарського підприємства		Вихідний період хлібопекарського підприємства	
	Р,кВт	Q, квар	Р,кВт	Q, квар
1	49	45	48	54
2	49	45	48	53
3	48	45	48	53
4	48	45	48	53
5	50	45	48	53
6	51	55	48	53
7	58	62	38	47
8	89	90	38	47
9	100	100	38	47
10	95	96	38	47
11	82	77	38	47
12	84	81	38	47
13	89	95	38	47
14	90	95	38	47
15	82	78	38	47
16	82	78	38	47
17	82	78	38	47
18	81	72	48	53
19	73	63	48	53
20	73	68	48	53
21	69	68	48	53
22	63	58	48	53
23	49	48	48	53
24	48	45	48	53

Таблиця 1.4.2 - Обчислення сходинок графіка навантаження для хлібопекарського підприємства

Год ини	Літні робочі дні хлібопекарського підприємства			Зимові робочі дні хлібопекарського підприємства			Літні вихідні дні хлібопекарського підприємства			Зимні вихідні дні хлібопекарського підприємства		
	Р, кВт	Q, квар	S, кВА	Р, кВт	Q, квар	S, кВА	Р, кВт	Q, квар	S, кВА	Р, кВт	Q, квар	S, кВА
1	1441	1126	1829	1695	1325	2151	1411	1352	1954	1660	1590	2299
2	1441	1126	1829	1695	1325	2151	1411	1327	1937	1660	1561	2279
3	1411	1126	1805	1660	1325	2124	1411	1327	1937	1660	1561	2279
4	1411	1126	1805	1660	1325	2124	1411	1327	1937	1660	1561	2279
5	1470	1126	1852	1729	1325	2178	1411	1327	1937	1660	1561	2279
6	1499	1377	2035	1764	1620	2395	1411	1327	1937	1660	1561	2279
7	1705	1552	2306	2006	1826	2713	1117	1176	1622	1314	1384	1908
8	2617	2253	3453	3078	2650	4062	1117	1176	1622	1314	1384	1908
9	2940	2503	3861	3459	2945	4543	1117	1176	1622	1314	1384	1908
10	2793	2403	3684	3286	2827	4335	1117	1176	1622	1314	1384	1908
11	2411	1927	3086	2836	2267	3631	1117	1176	1622	1314	1384	1908
12	2470	2027	3195	2905	2385	3759	1117	1176	1622	1314	1384	1908
13	2617	2378	3536	3078	2797	4159	1117	1176	1622	1314	1384	1908
14	2646	2378	3558	3113	2797	4185	1117	1176	1622	1314	1384	1908
15	2411	1952	3102	2836	2297	3650	1117	1176	1622	1314	1384	1908
16	2411	1952	3102	2836	2297	3650	1117	1176	1622	1314	1384	1908
17	2411	1952	3102	2836	2297	3650	1117	1176	1622	1314	1384	1908
18	2381	1802	2986	2802	2120	3514	1411	1327	1937	1660	1561	2279
19	2146	1577	2663	2525	1855	3133	1411	1327	1937	1660	1561	2279
20	2146	1702	2739	2525	2002	3222	1411	1327	1937	1660	1561	2279
21	2029	1702	2648	2387	2002	3115	1411	1327	1937	1660	1561	2279
22	1852	1452	2353	2179	1708	2769	1411	1327	1937	1660	1561	2279
23	1441	1201	1876	1695	1413	2207	1411	1327	1937	1660	1561	2279
24	1411	1126	1805	1660	1325	2124	1411	1327	1937	1660	1561	2279

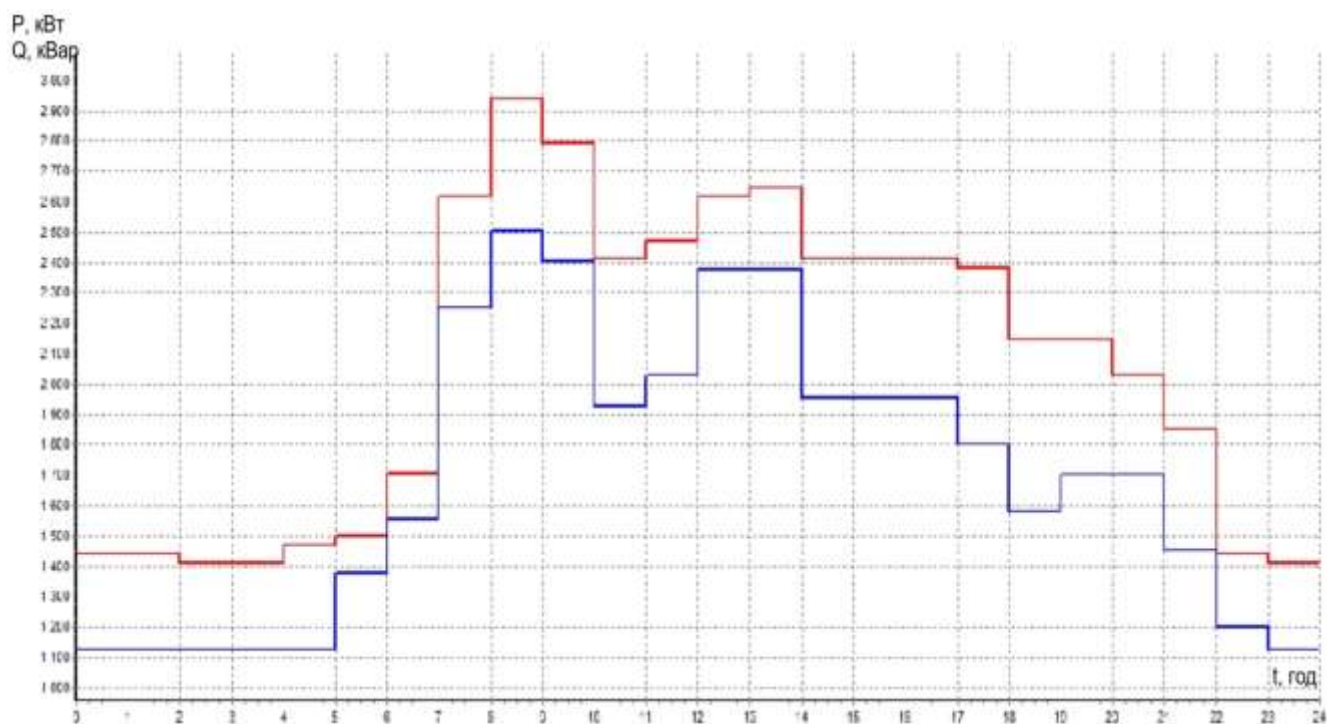


Рисунок 1.4.1. - Добовий графік хлібопекарського підприємства, для літніх робочих днів, активного навантаження P та реактивного навантаження Q

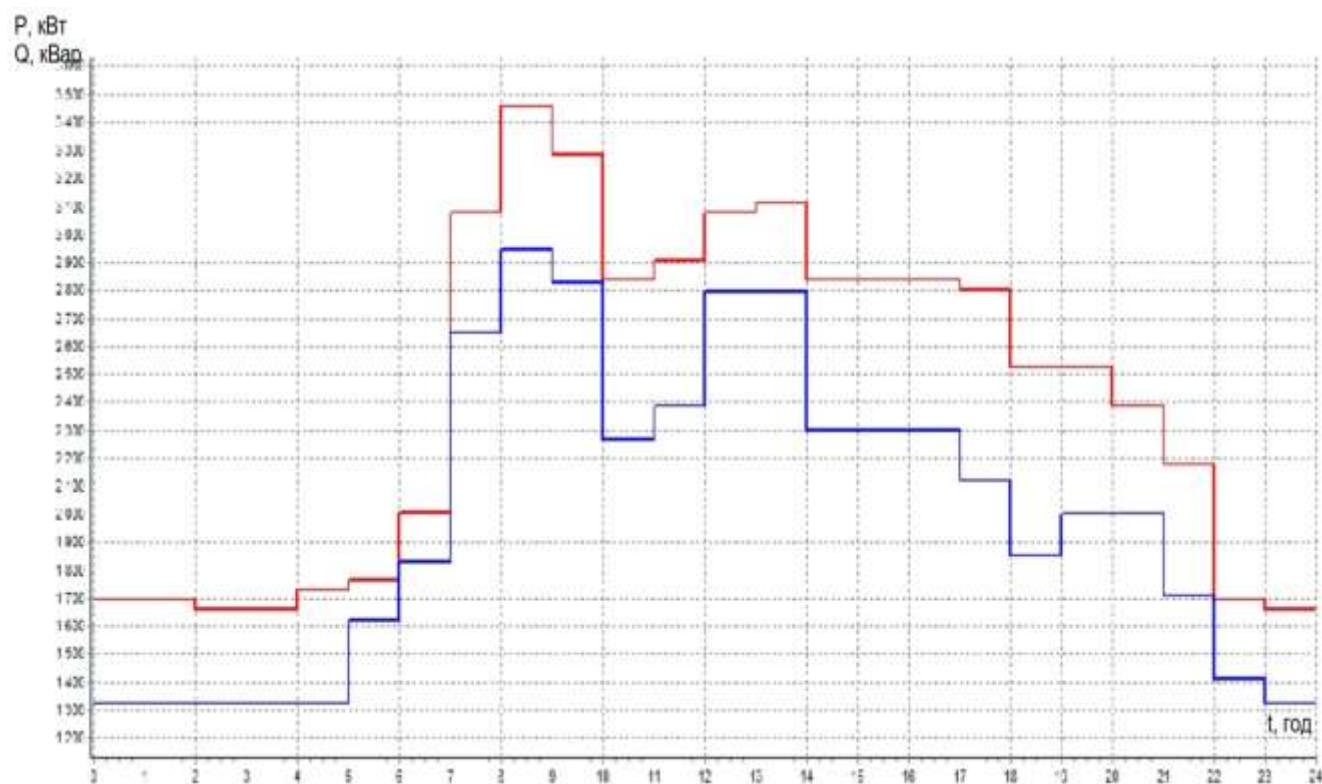


Рисунок 1.4.2. - Добовий графік хлібопекарського підприємства, для зимових робочих днів, активного навантаження P та реактивного навантаження Q

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата

Арк.

19

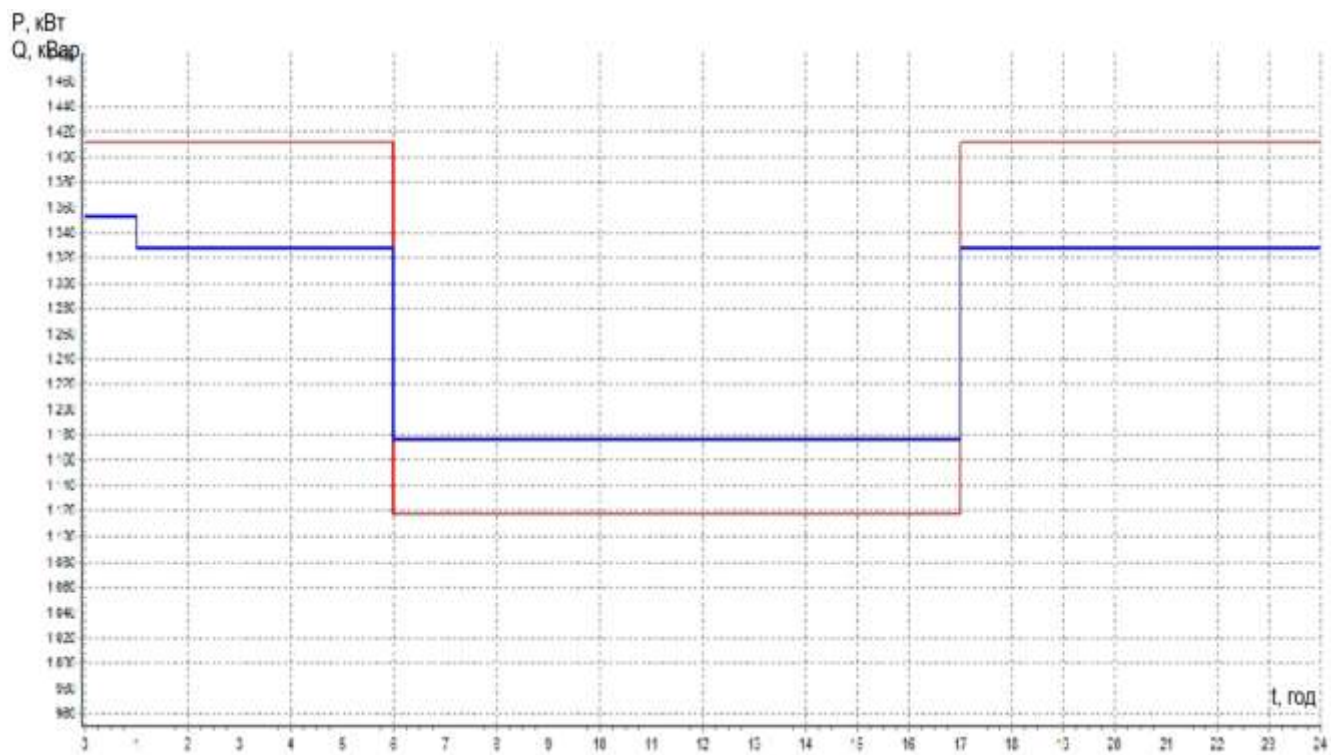


Рисунок 1.4.3. - Добовий графік хлібопекарського підприємства, для літніх вихідних днів, активного навантаження P та реактивного навантаження Q

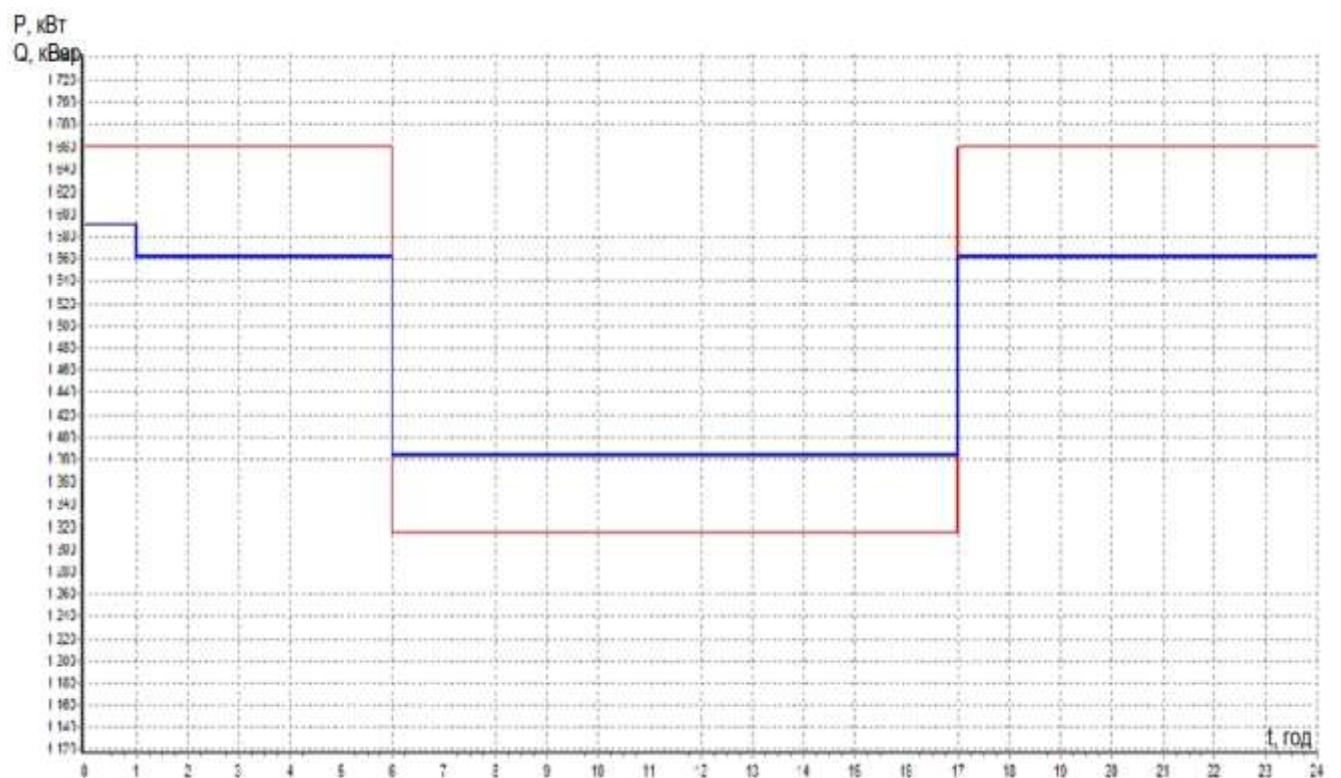


Рисунок 1.4.4. - Добовий графік хлібопекарського підприємства, для зимових вихідних днів, активного навантаження P та реактивного навантаження Q

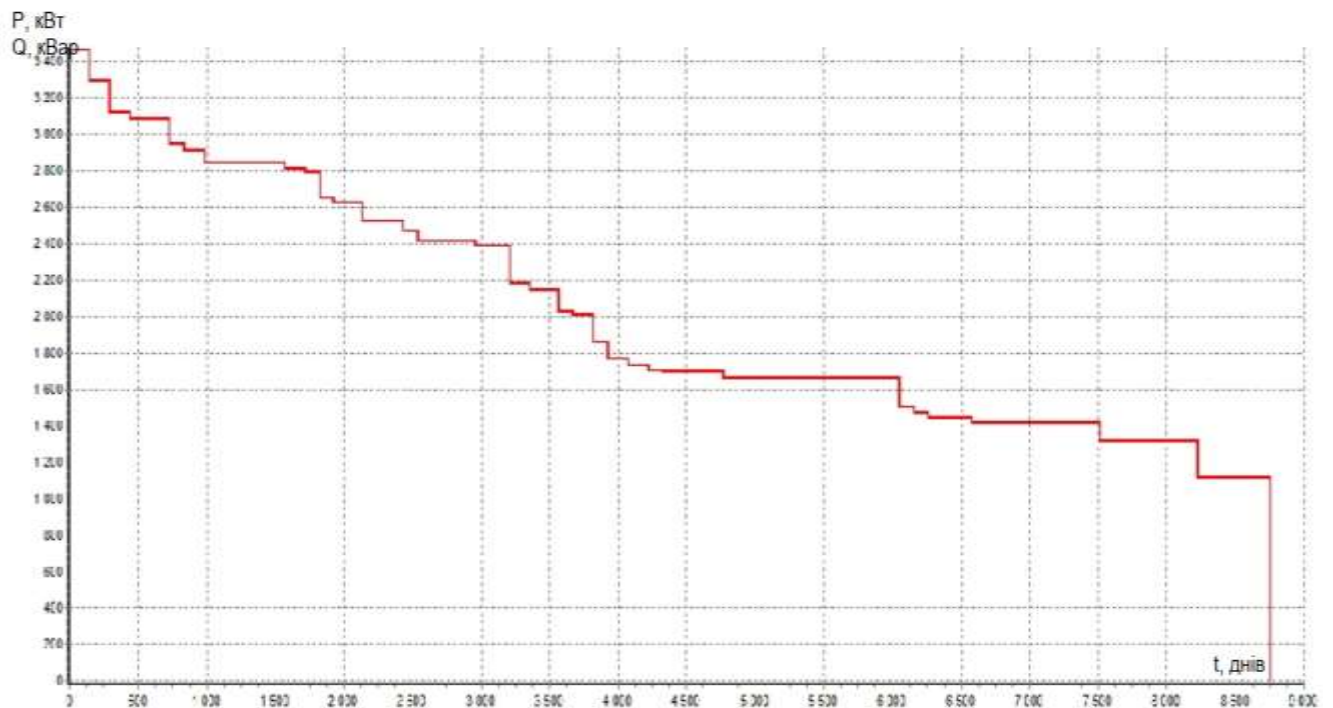


Рисунок 1.4.5. - Річний графік активного Р (по хлібопекарському підприємству)

Розрахункові величини графіків електричного навантаження для хлібопекарському підприємству складають наступне:

$W_{з.р.} =$	8562015	кВт год.	$S_p =$	4413,64	МВА
$V_{з.р.} =$	7064085	кВар год.	$T_{max} =$	5102,629	год.
$W_{з.в.} =$	2342210	кВт год.	$\tau =$	3524,055	год.
$V_{з.в.} =$	2310490	кВар год.			
$W_{л.р.} =$	5198655	кВт год.			
$V_{л.р.} =$	4288830	кВар год.			
$W_{л.в.} =$	1470240	кВт год.			
$V_{л.в.} =$	1450176	кВар год.			
$W_p =$	17573120	кВт год.			
$V_p =$	15113581	кВар год.			

2. Побудова картограми електричних навантажень для хлібопекарського підприємства

Побудова картограми електричних навантажень хлібозаводу виконується для наочного відображення просторового розподілу споживаної потужності на генеральному плані підприємства відповідно до [1]. Кожен виробничий підрозділ відображається у вигляді кола, центр якого збігається з центром електричних навантажень (ЦЕН) ділянки, а площа пропорційній її розрахунковій потужності [1]. Радіус кола R_i , що відповідає розрахунковому силовому навантаженню для «Ділянки вторинної переробки»

$$R_1 = \sqrt{\frac{P_1}{\pi m}} = \sqrt{\frac{P_{\text{р.осв}} + P_{\text{р.сил}}}{\pi m}} = \sqrt{\frac{14,4 + 26,3}{3,14 \cdot 0,1}} = 11,38$$

Кут розкриття цього сектора α (в градусах) визначається пропорційно відношенню розрахункової потужності освітлення до повної або активної потужності всього об'єкта.

$$\alpha_i = \frac{P_{\text{і.осв}} \cdot 360}{P_i} = \frac{14,4 \cdot 360}{40,70} = 127,37^\circ$$

Координати умовного центру електричних навантажень (ЦЕН) хлібозаводу, які визначають теоретично оптимальну точку для розміщення головної знижувальної чи розподільчої підстанції підприємства, обчислюються як середньозважені величини за формулами:

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n X_i P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} = \frac{997058,10 \cdot 4041,73}{4041,73} = 246,69 \text{ м}$$
$$Y = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} = \frac{539620,88 \cdot 4041,73}{4041,73} = 133,51 \text{ м}$$

Параметри геометричної побудови та просторового розміщення центрів електричних навантажень для всіх 19 виробничих підрозділів і ділянок хлібозаводу систематизовано та зведено у підсумкову таблицю 2.1.

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

Таблиця 2.1. Дані розрахунку ЦЕН хлібозаводу та побудови КЕН.

№ п/п	Найм. приміщень хлібопекарського підприємства	$P_{P, \text{сил}}, \text{кВт}$	$P_{P, \text{осв}}, \text{кВт}$	$P_P, \text{кВт}$	m	$R, \text{мм}$	α	$x, \text{м}$	$y, \text{м}$	$P \cdot x, \text{кВт} \cdot \text{м}$	$P \cdot y, \text{кВт} \cdot \text{м}$
1	Дільниця вторинної переробки	26,3	14,4	40,70	0,1	11,38	127,37	327,5	75,6	13329,25	3076,92
2	Тістоприготувальне відділення	796	11,04	807,04	0,1	50,68	4,92	211,6	76,1	170769,66	61415,74
3	Дільниця підготовки	524,5	21,8	546,30	0,1	41,70	14,37	281,2	75,9	153619,56	41464,17
4	Пекарне відділення (головний зал)	557,5	18,24	575,74	0,1	42,81	11,41	291,1	131,8	167597,91	75882,53
5	Логістичний центр (Експедиція)	40	18,8	58,80	0,1	13,68	115,10	421,8	124,5	24801,84	7320,60
6	Цех нарізки та пакування	74,5	15,31	89,81	0,1	16,91	61,37	359,6	122,1	32295,68	10965,80
7	Кондитерський цех / Дільниця здоби	316,89	17,76	334,65	0,1	32,64	19,11	329,2	159,8	110166,78	53477,07
8	Склад БЗТ-1	91,4	19,44	110,84	0,1	18,78	63,14	184,3	319,8	20427,81	35446,63
9	Склад БЗТ-2	91,2	17,18	108,38	0,1	18,57	57,07	289,2	269,5	31343,50	29208,41
10	Склад БЗТ-3	87,2	21,96	109,16	0,1	18,64	72,42	279,4	219,4	30499,30	23949,70
11	Склад БЗТ-4	95,4	21,96	117,36	0,1	19,33	67,36	129,5	220,2	15198,12	25842,67
12	Склад БЗТ-5	76,4	17,46	93,86	0,1	17,28	66,97	229,3	159,7	21522,10	14989,44
13	Дільниця обслуговування	53,4	9,44	62,84	0,1	14,14	54,08	239,7	110,2	15062,75	6924,97
	Побутовий комплекс	156,4	19,32	175,72	0,1	23,65	39,58	189,4	50,1	33281,37	8803,57
14	Транспортний цех (Автопарк)	107,1	11,36	118,46	0,1	19,42	34,52	139,7	130,2	16548,86	15423,49
15	Опалювальний енергоцентр	200	5,88	205,88	0,1	25,60	10,28	369,4	40,2	76052,07	8276,38
16	Адміністративно-диспетчерський	10	17,57	27,57	0,1	9,37	229,42	109,5	20,4	3018,92	562,43
17	Приймальне відділення	378	34,2	412,20	0,1	36,22	29,87	119,4	269,2	49216,68	110964,24
18	Освітлення підприємства хліба		46,42	46,42	0,1	12,16	360,00	265,1	121,2	12305,94	5626,10
19	Всього по хлібозаводу	3682,19	359,54	4041,73						997058,10	539620,88

3. Техніко-економічне обґрунтування схем електропостачання хлібопекарського підприємства

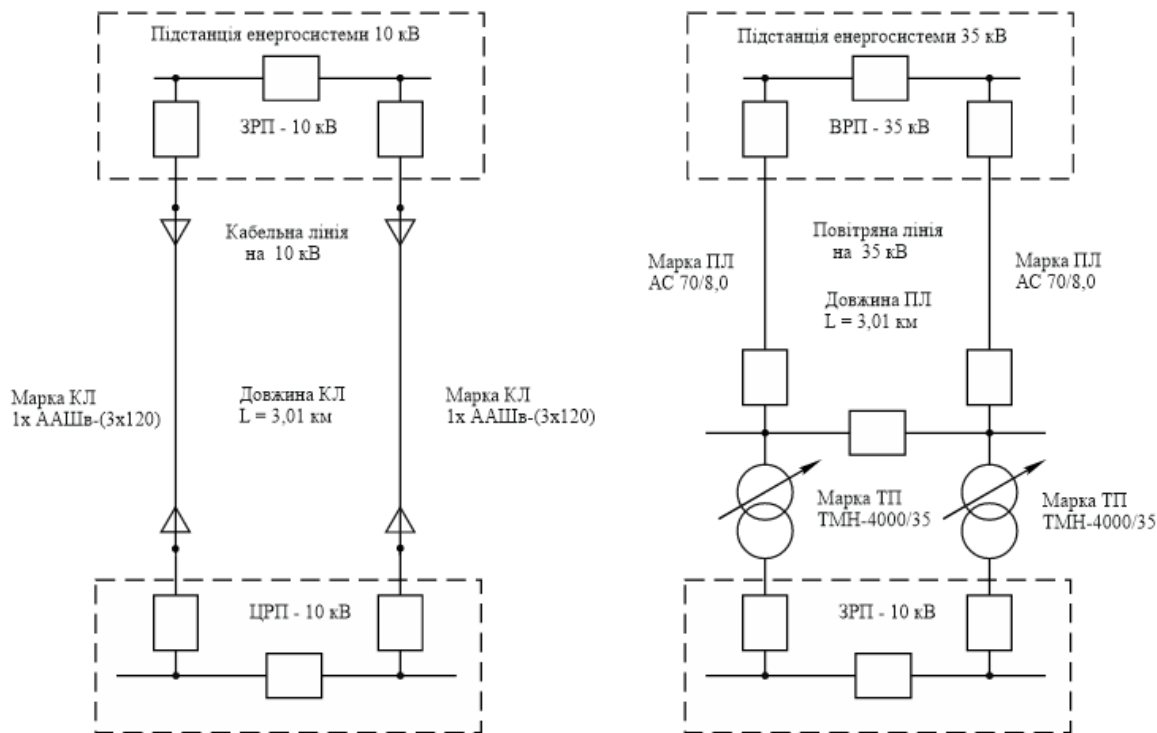
Метою цього етапу проектування є обґрунтування та вибір оптимальних схем зовнішнього і внутрішнього електропостачання хлібозаводу на основі порівняльного аналізу їхніх техніко-економічних та експлуатаційних показників.

3.1. Вибір схеми зовнішнього електропостачання хлібопекарського підприємства

Згідно з методикою [1], виконано порівняльний техніко-економічний аналіз двох альтернативних варіантів схеми зовнішнього електропостачання хлібозаводу

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

від опорного вузла живлення (трансформаторної підстанції ТП 35/10 кВ), розташованого на відстані 3,01 км від межі підприємства (рис. 3.1).



Побудова кабельної лінії (КЛ) напругою 10 кВ (а)

Побудова повітряної лінії (ПЛ) напругою 35 кВ (б)

Рисунок 3.1 Схема зовнішнього електропостачання хлібозаводу.

Аналіз варіантів, Варіанта №1 (Живлення на напрузі 10 кВ) передбачає подачу електроенергії від опорної ТП за допомогою двох паралельних кабельних ліній, що задовольняє вимогам надійності для споживачів I та II категорій хлібозаводу (рис. 3.1 а). Розрахунковий струм лінії у нормальному режимі I_p :

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{4414}{\sqrt{3} \cdot 10} = 127,41 \text{ А}$$

Проектується до встановлення лінії ААШв-10 (3х120) за допустимим нагрівом у нормальному режимі виконується шляхом порівняння розрахункового струму дільниці з тривало допустимим струмом кабелю. Наступні розрахунки за критерієм допустимого теплового нагріву в умовах стандартної експлуатації:

$$I_p = 223,22 \text{ А} \leq K_n I_{дон} = 0,92 \cdot 295 = 271,4 \text{ А}$$

Аналіз працездатності кабелю ААШв-10 (3х120) у післяаварійному режимі за термічною стійкістю:

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

$$I_{p.ав} = 2I_p = 2 \cdot 63,71 = 127,42 \text{ А} \leq K_{an} K_n I_{дон} = 1,25 \cdot 1 \cdot 295 = 368,75 \text{ А}$$

Кабель ААШВ-10 (3х120) пройшов усі перевірки та відповідає технічним вимогам. Його завантаження у нормальному режимі визначається за формулою:

$$K_3 = \frac{I_p}{I_{дон}} = \frac{67,71}{295} = 0,22$$

Величина технічних втрат активної потужності ΔP у КЛ ААШВ-10 (3х120):

$$\Delta P_{кл} = \Delta P_{1кл} l_{\Sigma} K_3^2 = 54 \cdot 6,02 \cdot 0,0484 = 15,73 \text{ кВт}$$

Річні технологічні втрати електроенергії ΔW у лінії ААШВ-10 (3х120):

$$\Delta W_{л} = \Delta P_{л} \tau = 15,73 \cdot 3524,06 = 55433,46 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Сумарні річні витрати $C_{втр}$ на компенсацію втрат ел.енергії в ААШВ-10(3х120)

$$C_{втр} = \Delta W_{\Sigma} C_o = 55433,46 \cdot 12,1078 \cdot 0,001 = 671,18 \text{ тис.грн}$$

Капітальні інвестиції для першого варіанта зовнішньої мережі напругою 10 кВ для хлібозаводу зведено в таблицю 3.1. Підсумкові результати розрахунку експлуатаційних витрат наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.1 - Кошторисна вартість зовнішнього енергопостачання (№1, 10 кВ)

№	Назва заводського елемента схеми	Од. виміру	Кількість	Вартість вкладень	Всього
1	КЛ 10 кВ	км	6,02	2100	12642
2	Траншея	км	3,01	350	1053,5
3	Шафи КРП серії КУ-10	шт.	2	220	440
Всього					14135,5

Таблиця 3.2 - Річні експлуатаційні витрати (Варіант №1, 10 кВ)

№ з/п	Назва електричного елемента схеми	K_j , тис.грн.	P_{aj} , %	C_{aj} , тис.грн.	P_{ej} , %	C_{aj} , тис.грн.	C_j , тис.грн.
1	КЛ 10 кВ	12642	5	632,1	5	632,1	1264,2
2	Траншея	1053,5	5	52,675	5	52,675	105,35
3	Шафи КРП серії КУ-10	440	15	66	5	22	88
Всього для варіанту схеми 1							1457,55

Для розрахунку надійності комутаційного вузла хлібозаводу прийнято такі вихідні параметри компонентів (час відновлення T_v , інтенсивність аварійних

відключень λ_a , коефіцієнт планового простою K_n). Сумарний параметр потоку відмов першої гілки λ (при послідовному з'єднанні вимикача та КЛ):

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i = 0,004 + 0,2408 = 0,2448 \text{ 1/рік}$$

Середній час відновлення 1-ї гілки T_g обчислюється як середньозважена величина

$$T_g = \frac{\sum \lambda_i T_{gi}}{\lambda} = \frac{(0,004 \cdot 0,00045 + 0,2448 \cdot 0,0002107)}{0,2448} = 0,00021461 \text{ рік}$$

Коефіцієнт планового простою першої гілки K_n :

$$K_n = 1,2 K_{n\max} = 1,2 \cdot 0,002 = 0,0024$$

коефіцієнт аварійного простою першої гілки K_a :

$$K_a = \lambda T_g = 0,2448 \cdot 0,000214610 = 0,00005253$$

Імовірність одночасного планового ремонту першої гілки та аварійного пошкодження другої гілки K_{an} :

$$K_{an} = 0,5 \lambda K_n^2 = 0,5 \cdot 0,2448 \cdot 0,00000576 = 0,000000705024$$

Коефіцієнт аварійного простою для системи з двох паралельних ланцюгів $K_a^{(2)}$ (одночасна аварія на обох гілках):

$$K_a^{(2)} = K_a^2 + 2 K_{an} = 0,00000000276009 + 2 \cdot 0,000000705024 = 0,000001412$$

Сумарна середньорічна тривалість перебування системи в аварійному стані T_a (в годинах на рік):

$$T_a = K_a^{(2)} \cdot 8760 = 0,0000014128 \cdot 8760 = 0,01238$$

Прогнозовані збитки від недовідпуску електроенергії:

$$Y = Y_0 P_{cp} T_a = 23 \cdot 3,95 \cdot 0,0165 = 1,5 \text{ тис.грн.}$$

Сумарні зведені витрати за першим варіантом схеми:

$$Z_i = E_n K_i + C_i + C_{\text{втр.і}} + Y_i = 0,12 \cdot 14135,5 + 1457,55 + 671,18 + 0,56 = 3825,55 \text{ тис.грн./рік}$$

За аналогічним алгоритмом розраховано показники для другого варіанта (схема 35 кВ). Результати порівняльного техніко-економічного аналізу обох варіантів живлення хлібозаводу зведено в таблицю 3.3.

					Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата	26

Таблиця 3.3 - Зведені техніко-економічні показники варіантів живлення.

Техніко-економічні показники	Варіанти живлення хлібопідприємства	
	1-й на 10 кВ	2-й на 35 кВ
Капітальні вкладення	14135,5	15255,66
Поточні витрати	1457,55	2975,57
Вартість втрат ел.енергії	671,18	2956,77
Збиток	0,56	1,13
Зведені витрати	3825,55	7764,15

Аналіз таблиці 3.3 свідчить, що мінімальні зведені витрати забезпечує 1-й варіант схеми. Тому для подальшого проектування системи зовнішнього енергопостачання хлібозаводу приймається 2-ві лінії напругою 10 кВ.

3.2. Вибір напруги та схеми внутрішнього електропостачання хлібопідприємства

Порівняльний аналіз архітектур розподілу енергії показав, що магістральна схема економніша за капітальними витратами. Проте, враховуючи специфіку хлібопекарського виробництва та високі вимоги до безперебійності процесів, радіальна схема є доцільнішою завдяки вищій надійності. З огляду на пріоритетність надійного живлення відповідальних споживачів, для подальшої розробки проекту хлібозаводу обрано радіальну структуру. Її графічне представлення наведено на рисунку 3.2.

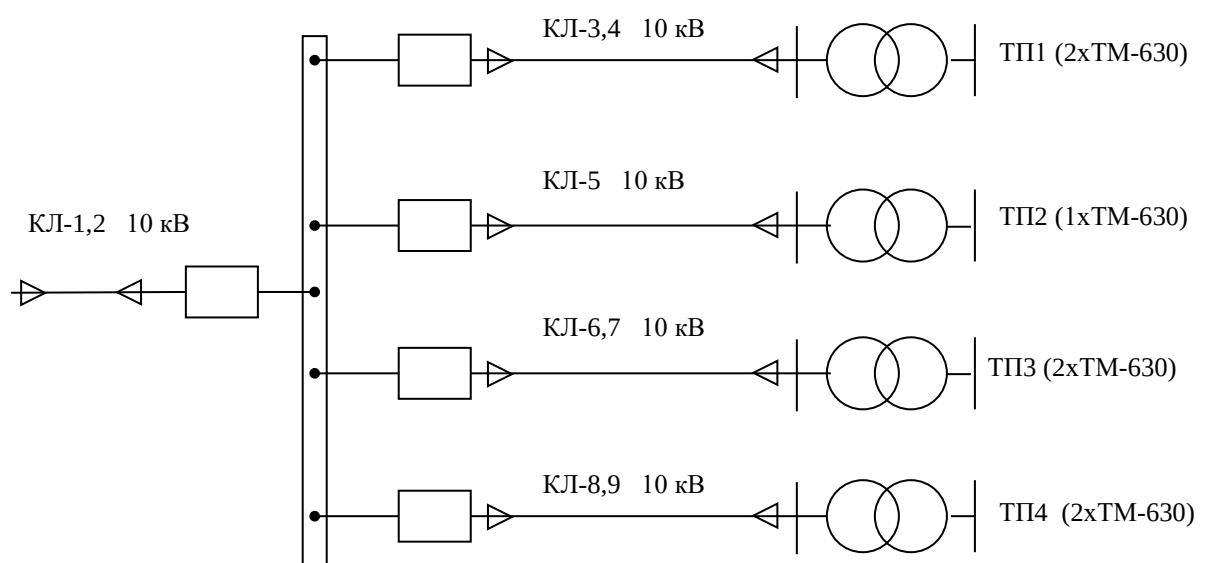


Рисунок 3.2 - Прийнята схема внутрішнього енергозабезпечення хлібопекарського підприємства

					Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата	
					27

4. Режими реактивної потужності системи електропостачання хлібопекарського підприємства

4.1 Розрахунок балансу реактивної потужності на хлібопідприємстві.

Метою розрахунку є мінімізація втрат у заводській мережі шляхом оптимізації балансу реактивної потужності. Сумарна розрахункова активна P_n та реактивна Q_n потужність низьковольтного навантаження заводу (до 1 кВ) визначається як сума відповідних навантажень усіх цехів:

$$P_n = \sum P_{ТП} = 3279,81 \text{ кВт} \quad Q_n = \sum Q_{ТП} = 2483,53 \text{ кВАр}$$

Технологічні втрати потужності в цехових КТП на хлібозаводі:

$$\Delta P_m = \sum \Delta P_{ТП} = 60,14 \text{ кВт} \quad \Delta Q_m = \sum \Delta Q_{ТП} = 401,77 \text{ кВАр}$$

Сумарне споживання енергії високовольтним обладнанням заводу:

$$\Delta P_{\epsilon} = \sum \Delta P_{ВН} = 0 \text{ кВт} \quad \Delta Q_{\epsilon} = \sum \Delta Q_{ВН} = 0 \text{ кВАр}$$

Загальне споживання активної потужності хлібозаводу P_p з урахуванням втрат у трансформаторах

$$P_p = P_n + \Delta P_m + P_{\epsilon} - P_{\text{сз}} = 3279,81 + 60,14 + 0 - 0 = 3339,95 \text{ кВт},$$

Сукупна потреба хлібозаводу в реактивній потужності Q_p з урахуванням втрат у трансформаторах:

$$Q_p = Q_n + \Delta Q_m + Q_{\epsilon} - Q_{\text{сд}} = 2483,53 + 401,77 + 0 - 0 = 2885,3 \text{ кВАр}$$

Величина реактивної потужності, яка залучається із зовнішньої енергосистеми (економічна реактивна потужність) Q_e :

$$Q_e = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi_c = 3339,95 \cdot 0,15 = 500,99 \text{ кВАр}$$

Сумарна потужність засобів компенсації реактивної потужності (конденсаторних установок) $Q_{\text{КП}}$:

$$Q_{\text{КП}} = Q_p - Q_e = 2885,3 - 1081,52 = 1803,78 \text{ кВАр}$$

Мінімально необхідна кількість ТП (або силових трансформаторів):

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

$$N_0 = \frac{P_n}{\beta \cdot S_{ном}} = \frac{3279,81}{0,7 \cdot 630} \approx 7 \text{ шт.}$$

При використанні базової кількості трансформаторів ($N_m = N_0 = 7$ шт.) гранична реактивна потужність Q_1 , яку технічно можливо передати з високовольтної мережі 10 кВ у низьковольтну мережу 0,4 кВ через ТП, обмежена їхньою пропускною здатністю за умов повного завантаження активною потужністю:

$$Q_1 = \sqrt{(N \cdot \beta \cdot S_{ном})^2 - (P_n + \Delta P_m)^2} = \sqrt{(7 \cdot 0,7 \cdot 630)^2 - 3339,95^2} = 1136,45 \text{ кВАр}$$

Потужність конденсаторних батарей (КБ), що підлягають встановленню в низьковольтних мережах підприємства (до 1000 В) для комплектації підстанцій:

$$Q_{KH} = Q_n - Q_1 = 2885,3 - 1136,45 = 1748,85 \text{ кВАр}$$

Потужність конденсаторних батарей, які необхідно встановити на високовольтній стороні (боці 10 кВ) для ($N_m = N_0 = 7$ шт) комплектації підстанцій:

$$Q_{KB} = Q_p - Q_{KH} - Q_e = 2384,31 - 1748,85 = 635,46 \text{ кВАр}$$

За аналогічною методикою здійснюється розрахунок параметрів обладнання компенсації реактивної потужності ($N_m = 8$ та 9 шт) комплектації підстанцій, коли кількість трансформаторів збільшується на одну або дві одиниці відповідно.

Таблиця 4.1. Зведені показники розрахунку потужності засобів компенсації

№ варіанту	Кількість тр-торів	Q_1 , квар	Q_{KH} , кВАр	Q_{KB} , квар
1	7	1136,45	1748,85	635,46
2	8	2144,22	741,08	1643,23
3	9	2879,73	0	2384,31

4.2 Вибір кількості, потужності та місця розташування компенсуючих пристроїв на хлібопідприємстві

Результати розрахунку технічних параметрів батарей конденсаторів (БК), запланованих до впровадження на майданчику хлібозаводу для першого сценарію комплектації підстанцій із базовою кількістю трансформаторів ($N_m = N_0 = 7$ шт.), систематизовано в таблиці 4.2.1.

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

Таблиця 4.2.1 - Параметри вибору БК при кількості трансформаторів $N_m = N_0 = 7$

№ КТП	К-сть т-рів	P_p , кВт	Q_p , кВАр	Q_{np} , кВАр	$Q_{кп}$, кВАр	Кількість та потужність БК, шт. · кВАр	Сума $Q_{БК}$, кВАр	$Q_{кп} - Q_{бк}$, кВАр	K_3	S_p , кВА
1,2	3	1493,1	976,02	0	976,02	3 · 300;	900	76,02	0,79	1495
3	2	854,24	680,07	219,54	460,53	2 · 225;	450	10,53	0,70	884,68
4	2	1026,9	827,44	0	827,44	2 · 402;	804	23,44	0,82	1027,2

Сумарна потужність БК, встановлених на низькій стороні хлібозаводі $Q_{кн} = 2154$ кВАр. Сумарна потужність БК для високовольтної сторони $Q_{кв} = 900$ кВАр.

Таблиця 4.2.2.-Показники вибору БК при збільшенні трансф-ів $N_m = N_0 + 1 = 8$

№ КТП	К-сть т-рів	P_p , кВт	Q_p , кВАр	Q_{np} , кВАр	$Q_{кп}$, кВАр	Кількість та потужність БК, шт. · кВАр	Сума $Q_{БК}$, кВАр	$Q_{кп} - Q_{бк}$, кВАр	K_3	S_p , кВА
1,2	4	1493,1	976,02	939,33	36,69		0	36,69	0,71	1783,8
3	2	854,24	680,07	219,54	460,53	4 · 112,5;	450	10,53	0,7	884,68
4	2	1026,9	827,44	0	827,44	2 · 402;	804	23,44	0,82	1027,2

Сумарна потужність БК, встановлених на низькій стороні хлібозаводі $Q_{кн} = 1254$ кВАр. Сумарна потужність БК для високовольтної сторони $Q_{кв} = 900$ кВАр.

Таблиця 4.2.3. Вибір БК при максимальній кількості ТП $N_m = N_0 + 2 = 9$

№ КТП	К-сть т-рів	P_p , кВт	Q_p , кВАр	Q_{np} , кВАр	$Q_{кп}$, кВАр	Кількість та потужність БК, шт. · кВАр	Сума $Q_{БК}$, кВАр	$Q_{кп} - Q_{бк}$, кВАр	K_3	S_p , кВА
1,2	4	1493,1	976,02	939,33	36,69		0	36,69	0,71	1783,8
3	2	854,24	680,07	219,54	460,53	4 · 112,5;	450	10,53	0,7	884,68
4	3	1026,9	827,44	834,16	0	3 · 50;	150	-150	0,65	1230,2

Сумарна потужність БК, встановлених на низькій стороні хлібозаводі $Q_{кн} = 600$ кВАр. Сумарна потужність БК для високовольтної сторони $Q_{кв} = 900$ кВАр.

Методика визначення приведених витрат на заходи з компенсації для сценарію $N_T = N_0$ представлена нижче. Технічні втрати активної потужності в низьковольтних та високовольтних компенсуючих пристроях:

$$\Delta P_{кн} = P_{ПІТ}^{кн} \cdot Q_{кн} = 0,0045 \cdot 2154 = 9,69 \text{ кВт}$$

$$\Delta P_{кв} = P_{ПІТ}^{кв} \cdot Q_{кв} = 0,003 \cdot 900 = 2,7 \text{ кВт}$$

Втрати активної потужності в силових трансформаторах, зумовлені проходженням по них реактивної потужності $\Delta P_{ТП}$:

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

$$\Delta P_{ТП} = \frac{P_{HH}^2 + Q_1^2}{U_H^2} R_T \cdot 10^{-3} = \frac{3279,81^2 + 1136,45^2}{10^2} \cdot 0,2 \cdot 0,001 = 24,1 \text{ кВт}$$

Підсумкове значення активних втрат у компенсуючих пристроях отримано.

$$R_{екв} = \frac{\Delta P_K \cdot U_{ном}^2}{N \cdot S_{ном}^2} \cdot 10^3 = \frac{6,5 \cdot 10^2}{7 \cdot 1000^2} \cdot 1000 = 0,2 \text{ Ом}$$

Кошторисна вартість встановлення низьковольтних засобів компенсації:

$$K_{KH} = \sum_{i=1}^n N_{KH i} \cdot K_{KH i} = 2 \cdot 147,5 + 3 \cdot 160,4 + 2 \cdot 181,5 = 1139,2 \text{ тис.грн.}$$

Інвестиційні витрати на придбання та монтаж високовольтних засобів компенсації:

$$K_{KB} = \sum_{i=1}^n N_{KB i} \cdot K_{KB i} = 2 \cdot 297 = 594 \text{ тис.грн.}$$

Загальна балансова вартість КТП підприємства:

$$K_{КТП} = N_{КТП(2)} \cdot K_{КТП(2)} + N_{КТП(1)} \cdot K_{КТП(1)} = 3 \cdot 1310 + 1 \cdot 705 = 4635 \text{ тис.грн.}$$

Сумарні приведені річні витрати на систему компенсації реактивної потужності:

$$3 = E_H (K_{KH} + K_{KB} + K_{КТП}) + C_0 \tau (\Delta P_{KH} + \Delta P_{KB} + \Delta P_{ТП}) =$$

$$= 0,12 \cdot (1139,2 + 594 + 4635) + 12,1078 \cdot 3524,055 \cdot (9,69 + 2,7 + 24,1) \cdot 10^{-3} = 2321,16 \text{ тис.грн.}$$

Аналогічний розрахунок економічних показників для конфігурацій із 8 та 9 трансформаторами ($N_m = 8$ та 9) виконано аналогічно [1]. Зведені результати техніко-економічного порівняння всіх трьох варіантів наведені в таблиці 4.2.4.

Таблиця 4.2.4 - Порівняльний аналіз загальних приведених витрат на компенсацію

№ вар.	Q_{KH} , квар	ΔP_{KH} , кВт	Q_{KB} , квар	ΔP_{KB} , кВт	$N_{тр}$, шт.	$R_{екв}$, Ом	$S_{пр}$, кВА	$\Delta P_{ТП}$, кВт	K_{KH} , тис. грн.	K_{KB} , тис. грн.	$K_{ТП}$, тис. грн.	3 , тис. грн.
1	2154	9,69	900	2,7	8	0,2	3471,1	24,1	1139,2	594	4635	2321
2	1254	5,64	900	2,7	9	0,18	3918,5	27,64	795,8	594	5240	2331
3	600	2,7	900	2,7	10	0,16	4364,6	30,48	587	594	5945	2386

На основі проведених обчислень встановлено, що перший варіант конфігурації ($N_m = 7$ шт.) забезпечує мінімальний рівень витрат. Відповідно, саме цей сценарій приймається як оптимальний для подальшого проектування електричних мереж хлібопекарського підприємства.

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

Таблица 4.2.5 Розрахунок електричних навантажень по хлібопекарському підприємству в мережі вище 1000 В з урахуванням компенсації

Назва групи споживачів	К-ть ЕС	Р _{одн'} кВт		Р _{сум} кВт	m	K _и	cos j	tg j	Середнє		п _{еф}	K _м	Розрахункове навантаження		
		Р _{min} кВт	Р _{max} кВт						Р _{см} , кВт	Q _{см} , кВар			Р _p , кВт	Q _p , кВар	S _p , кВА
ТП-1,2															
Дільниця вторинної переробки															
силове:	20	0,18	4	26,3	22,2	0,6	0,7	1,02	15,75	16,02	13	1,25	19,63	16,02	25,34
освітлювальне:									14,4				15,32	26,53	
Всього:									30,15	16,02			34,95	42,55	55,06
Тістоприготувальне відділення															
силове:	80	1,5	55	796	36,7	0,7	0,9	0,48	558	267,08	29	1,11	617,91	267,08	673,16
освітлювальне:									11,04				20,35	23,5	
Всього:									569,04	267,08			638,26	290,58	701,29
Дільниця підготовки сировини															
силове:	42	1,5	45	524,5	30	0,6	0,8	0,75	315,22	237,24	23	1,18	370,59	237,24	440,02
освітлювальне:									21,8				40,18	46,4	
Всього:									337,02	237,24			410,77	283,64	499,18
Адміністративно-диспетчерський пункт															
силове:	19	2,2	22	417	10	0,65	0,79	0,77	272,72	210,23	19	1,17	317,74	210,23	380,99
освітлювальне:									17,57				18,69	32,37	
Всього:									290,29	210,23			336,43	242,6	414,78
Побутовий комплекс (АПК)															
силове:	10	1,1	40	156,4	36,4	0,66	0,81	0,73	103,22	75,53	8	1,27	131,25	83,08	155,33
освітлювальне:									19,32				35,61	41,12	
Всього:									122,54	75,53			166,86	124,2	208,01
Всього по ТП-1,2:															
силове:	171	0,18	55	1920,2	305,6	0,66	0,84	0,64	1264,91	806,1	70	1,08	1362,95	806,1	1583,49

Продовження таблиці 4.2.5															
Назва групи споживачів	К-ть ЕС	Р _{одн'} кВт		Р _{сум} кВт	m	K _{чи}	cosJ	tgj	Середнє		п _{еф}	K _м	Розрахункове навантаження		
		Р _{min} кВт	Р _{max} кВт						Р _{см} , кВт	Q _{см} , кВар			Р _p , кВт	Q _p , кВар	S _p , кВА
освітлювальне:									84,13				130,15	169,92	
БК 0,4 кВ										-900				-900	
Всього на шинах 0.4 кВ ТП-1,2:									1349,04	-93,9			1493,1	76,02	1495,03
Втрати в трансформаторах:													19,31	137,35	
Кількість трансформаторів: 3															
Номінальна потужність, кВА: 630															
Коефіцієнт завантаження: Кз = 0,79															
Всього на шинах 10 кВ ТП-1,2:													1512,41	213,37	1527,38
ТП-3															
Пекарне відділення (головний зал)															
силове:	32	5,5	45	557,5	8,2	0,7	0,8	0,75	390,81	292,6	25	1,12	436,48	292,6	525,48
освітлювальне:									18,24				33,62	38,82	
Всього:									409,05	292,6			470,1	331,42	575,18
Цех нарізки та пакування															
силове:	12	5,5	45	74,5	8,2	0,41	0,7	1,02	30,54	31,07	3	2,08	63,45	34,18	72,07
освітлювальне:									15,31				28,21	32,58	
Всього:									45,85	31,07			91,66	66,76	113,4
Логістичний центр (Експедиція)															
силове:	4	10	10	40	1	0,51	0,7	1,02	20,4	20,75	4	1,67	34,15	22,82	41,07
освітлювальне:									18,8				34,64	40	
Всього:									39,2	20,75			68,79	62,82	93,16
Кондитерський цех / Дільниця здоби															
силове:	94	0,37	18,5	316,89	50	0,54	0,74	0,91	170,8	155,71	34	1,17	199,36	155,71	252,96
освітлювальне:									17,76				32,73	37,8	

Продовження таблиці 4.2.5															
Назва групи споживачів	К-ть ЕС	Р _{одн} , кВт		Р _{сум} кВт	m	K _ч	cosj	tgj	Середнє		п _{еф}	K _м	Розрахункове навантаження		
		Р _{min} кВт	Р _{max} кВт						Р _{см} , кВт	Q _{см} , кВар			Р _p , кВт	Q _p , кВар	S _p , кВА
Всього:									188,56	155,71			232,09	193,51	302,18
Дільниця обслуговування складської техніки															
силове:	14	1,1	15	53,4	13,6	0,41	0,9	0,49	21,63	10,66	7	1,6	34,52	11,73	36,46
освітлювальне:									9,44				17,39	20,08	
Всього:									31,07	10,66			51,91	31,81	60,88
Всього по ТП-3:															
силове:	156	0,37	45	1042,29	121,6	0,61	0,78	0,81	634,18	510,79	46	1,12	707,65	510,79	872,74
освітлювальне:									79,55				146,59	169,28	
БК 0,4 кВ										-450				-450	
Всього на шинах 0.4 кВ ТП-3:									713,73	60,79			854,24	230,07	884,68
Втрати в трансформаторах:													10,85	80,7	
Кількість трансформаторів: 2															
Номінальна потужність, кВА: 630															
Коефіцієнт завантаження: Kз = 0,7															
Всього на шинах 10 кВ ТП-3:													865,09	310,77	919,22
ТП-4															
Опалювальний енергоцентр															
силове:	17	10	40	200	4	0,61	0,8	0,76	122	92,77	10	1,28	156,09	102,05	186,49
освітлювальне:									5,88				5,27	9,13	
Всього:									127,88	92,77			161,36	111,18	195,95
Склад БЗТ-1															
силове:	16	2,2	22	91,4	10	0,7	0,9	0,49	64,07	31,21	8	1,23	78,82	34,33	85,97
освітлювальне:									19,44				20,68	35,82	
Всього:									83,51	31,21			99,5	70,15	121,74

	Apk.
	35

Продовження таблиці 4.2.5

Назва групи споживачів	К-ть ЕС	Р _{одн'} кВт		Р _{сум} кВт	m	K _н	cos ϕ	tg ϕ	Середнє		п _{еф}	K _м	Розрахункове навантаження		
		Р _{min} кВт	Р _{max} кВт						Р _{см} , кВт	Q _{см} , кВар			Р _p , кВт	Q _p , кВар	S _p , кВА
Зовнішнє освітлення підприємства															
освітлювальне:									46,42				41,59	72,03	
Всього:									46,42	0			41,59	72,03	83,17
Всього по ТП-4:															
силове:	155	0,55	40	1126,7	72,7	0,68	0,85	0,63	765,09	481,99	56	1,08	827,27	481,99	957,44
освітлювальне:									195,86				199,62	345,45	
БК 0,4 кВ										-804				-804	
Всього на шинах 0.4 кВ ТП-4:									960,95	-322,01			1026,89	23,44	1027,16
Втрати в трансформаторах:													13,46	94,75	
Кількість трансформаторів: 2															
Номінальна потужність, кВА: 630															
Коефіцієнт завантаження: K _з = 0,82															
Всього на шинах 10 кВ ТП-4:													1040,35	118,19	1047,04
Всього по об'єкту															
силове:	482	0,18	55	4089,19	305,6	0,65	0,99	0,13	2664,18	355,12	149	1,05	2803,45	355,12	2825,85
освітлювальне:									359,54				476,36	684,65	
Всього:									3023,72	355,12			3279,81	1039,77	3440,68
Потужність КП 0,4 кВ:										-2154				-2154	
Втрати в трансформаторах:													43,62	312,79	
Всього по об'єкту:													3323,43	1352,56	3588,12
Всього по об'єкту 10 кВ:													3323,43	1352,56	3588,12
КП 10 кВ:														-900	
Всього 10 кВ з КП:													3323,43	452,56	3354,1
tg ϕ = 0,149															

5. Вибір кількості та потужності трансформаторів на хлібопекарському підприємстві

Проектування внутрішньовиробничих підстанцій хлібопекарського підприємства передбачає розгортання як одно-, так і двотрансформаторних КТП. Таке технічне рішення обґрунтоване структурою технологічних споживачів, більшість з яких формують II категорію надійності живлення, високою концентрацією електричних навантажень на виробничих ділянках, а також відсутністю на балансі заводу резервного парку трансформаторного обладнання.

Для визначення навантаження об'єктів (S_p) кількісний склад трансформаторів диктується обраною потужністю одного вузла. Базовим критерієм для розрахунку служать нормативні коефіцієнти завантаження, які для двотрансформаторних джерел живлення з переважаючими приймачами I та II категорій мають перебувати в межах 0,65 - 0,75. Спираючись на ці рекомендації, для семи цехових підстанцій із сумарним розрахунковим навантаженням $S_p=3354,1$ кВА було прийнято до встановлення 7 ТП, номінальна потужність кожного з яких становить 630 кВА.

Розрахункова кількість трансформаторів становитиме:

$$N_T = \frac{S_p}{k_z \cdot S_{ном}} = \frac{3354,1}{(0,65 - 0,75) \cdot 630} \approx 7 \text{ шт.}$$

Визначаємо реальний коефіцієнт завантаження:

$$k_z = \frac{S_p}{n_T S_{ном}} = \frac{919,22}{2 \cdot 630} = 0,71.$$

Для спрощення і наочності, вибір буде проводитись у вигляді таблиці 7.1.

Таблиця 7.1. Вибір цехових трансформаторних підстанцій підприємства

№	N, шт	$S_{роз},$ кВ·А	Місце розташування	Марка	K_z	$\frac{S_{мон}}{S_p/K_1} >$	$\frac{S_{мон}}{S_p/K_2} >$
1	2	1018,25	Дільниця підготовки сировини	ТМ-630-10/0,4	0,79	942,83	727,32
2	1	509,13	Дільниця підготовки сировини	ТМ-630-10/0,4	0,79	471,41	363,66
3	2	919,22	Цех нарізки та пакування	ТМ-630-10/0,4	0,71	851,13	656,59
4	2	1047,04	Приймальне відділення сировини	ТМ-630-10/0,4	0,8	969,48	747,89

6. Розрахунок струмів короткого замикання. Вибір електрообладнання хлібопекарського підприємства та силових електромереж

Цей розділ присвячено вирішенню задач із детермінації параметрів короткого замикання (КЗ), а також підбору марок кабельних ліній та високовольтної комутаційної апаратури для системи енергозабезпечення підприємства. Розрахункові процедури базуються на перевірених інженерних методиках визначення параметрів перехідних процесів.

6.1. Розрахунок струмів коротких замикань в системі живлення хлібопекарського підприємства

На основі розробленої електричної схеми сформовано схему заміщення, де кожен функціональний елемент представлений відповідним комплексним опором (рис. 6.1.1). Нижче наведено результати обчислення активних та реактивних складових опорів для всіх компонентів системи.

$$X_c = \frac{U_c^2}{S_{к.з}} = \frac{10,5^2}{47,7} = 2,311 \text{ Ом} \quad R_c = \frac{X_c}{25} = \frac{2,311^2}{25} = 0,092 \text{ Ом}$$

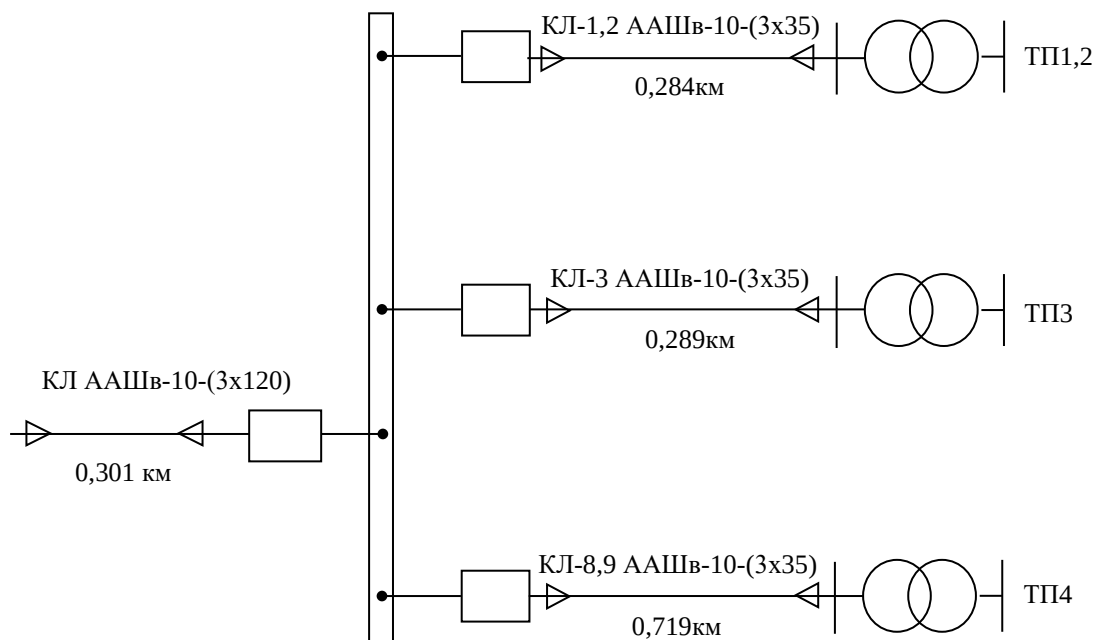


Рисунок 6.1.1 - Графічне представлення схеми заміщення для аналізу струмів короткого замикання в електромережі

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

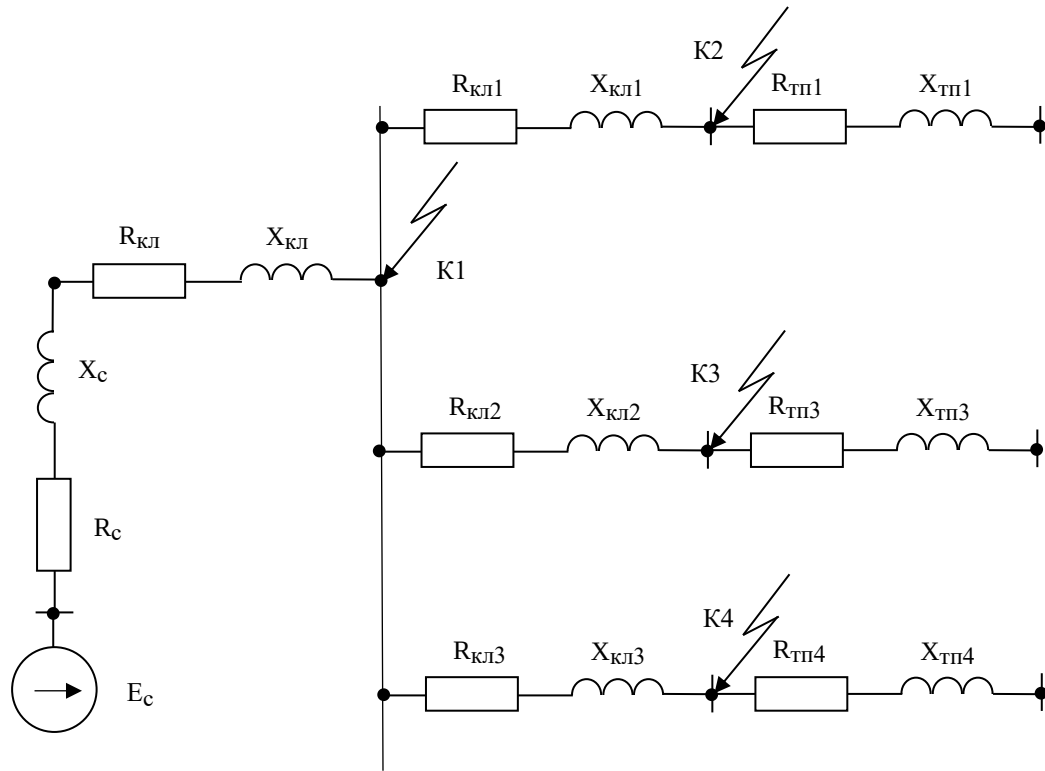


Рисунок 6.1.2 - Розрахункова представлення схеми заміщення для аналізу струмів короткого замикання в електромеражі

Параметри для розрахунку струмів КЗ та падіння напруги для КЛ 10 кВ (кабель ААШВ 3х120, довжина $L = 3,01$ км):

$$R_{\text{кл}} = \frac{r_0 \cdot l}{n_{\text{кл}}} = \frac{0,258 \cdot 3,02}{2} = 0,3883 \text{ Ом}$$

$$X_{\text{кл}} = \frac{x_0 \cdot l}{n_{\text{кл}}} = \frac{0,081 \cdot 3,01}{2} = 0,12 \text{ Ом}$$

У точці К1 (на шинах 10 кВ) показники опорів визначаються сумуванням опорів елементів кола від джерела живлення до місця замикання:

$$X_{K1} = X_c + X_{\text{кл}} = 2,311 + 0,12 = 2,431 \text{ Ом}$$

$$R_{K1} = R_c + R_{\text{кл}} = 0,092 + 0,3883 = 0,48 \text{ Ом}$$

$$Z_{K1} = \sqrt{R_{K1}^2 + X_{K1}^2} = \sqrt{0,48^2 + 2,431^2} = 2,478 \text{ Ом}$$

Надперехідний струму в вузлі K_1 , що надходить від зовнішньої енергосистеми у базовий вузол K_1 (до кабельної лінії):

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

$$I_{K1(c)}'' = \frac{U_{\text{ср.ном.}}}{\sqrt{3}Z_{K0}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 2,478} = 2,45 \text{ кА}$$

Стала часу затухання аперіодичної складової струму короткого замикання:

$$T_{a1} = \frac{X_{K1}}{\omega R_{K1}} = \frac{2,431}{314 \cdot 0,48} = 0,0161 \text{ с}$$

Ударний коефіцієнт $k_{y\partial 1}$ у розрахунковій точці K_1 :

$$k_{y\partial 1} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{a0}}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,0161}} = 1,537$$

Амплітудне значення ударного струму короткого замикання $i_{y\partial 1}$ в точці K_1 :

$$i_{y\partial 1(c)} = \sqrt{2}k_{y\partial} I_{K1(c)}'' = \sqrt{2} \cdot 1,537 \cdot 2,45 = 5,33 \text{ кА}$$

Для визначення параметрів струмів к.з. виконується розрахунок та підбір кабельних ліній, що з'єднують цехові підстанції з іншим високовольтним устаткуванням. Процедура вибору марки та перерізу провідників реалізується спочатку для магістральної ділянки, яка з'єднує шини низької напруги головної знижувальної підстанції з першою цеховою трансформаторною підстанцією. За аналогічним інженерним алгоритмом здійснюється розрахунок і для всіх інших заводських фідерів розподільної мережі. Усі результати вибору кабельних ліній напругою 10 кВ для внутрішньозаводської електричної мережі зведені в єдину підсумкову таблицю розрахункового розділу. табл. 6.2.

Розрахунковий струм КЛ, що живить цехову ТП (ТП-1) хлібозаводу:

$$I_p = \frac{S_p}{n\sqrt{3}U_{\text{ср.ном}}} = \frac{1018,25}{2 \cdot 1,73 \cdot 10,5} = 27,99 \text{ А}$$

Мінімальна необхідна площа поперечного перерізу жили кабелю за умовою термічної стійкості до струмів короткого замикання:

$$F_{\text{ек}} = \frac{I_p}{j_{\text{ек}}} = \frac{27,99}{1,2} = 23,33 \text{ мм}^2$$

Тепловий імпульс струму короткого замикання:

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

$$B_{\kappa} = I_{K1}^2 (t_{p.з. \min} + T_a) = 2,45^2 (1,365 + 0,0161) = 8,29 \text{ кА}^2\text{с}$$

Мін. допустимий переріз КЛ за умовою її термічної стійкості до струмів к.з:

$$F_{\min} = \frac{1}{C} \sqrt{B_{\kappa}} = \frac{1}{94} \sqrt{8,29 \cdot 10^3} = 30,63 \text{ мм}^2$$

Активний ($R_{\kappa л}$) та індуктивний ($X_{\kappa л}$) опори обраної кабельної лінії:

$$R_{\kappa л} = r_0 \cdot l_{\kappa л} = 0,89 \cdot 0,284 = 0,253 \text{ Ом}$$

$$X_{\kappa л} = x_0 \cdot l_{\kappa л} = 0,095 \cdot 0,284 = 0,027 \text{ Ом}$$

Результуючі значення опорів у точці К2 (на шинах низької напруги 0,4 кВ цехових підстанцій) визначаються шляхом сумування опорів усіх елементів розрахункового контуру від джерела живлення до місця замикання, приведених до одного ступеня напруги (у цьому випадку - до НН 0,4 кВ):

$$X_{K2} = X_{K1} + X_{\kappa л} = 2,431 + 0,027 = 2,458 \text{ Ом}$$

$$R_{K2} = R_{K1} + R_{\kappa л} = 0,48 + 0,253 = 0,733 \text{ Ом}$$

$$Z_{K2} = \sqrt{R_{K2}^2 + X_{K2}^2} = \sqrt{0,733^2 + 2,458^2} = 2,565 \text{ Ом}$$

Таблиця 6.1.1-Розрахункові параметри кабельних ліній напругою 10 кВ.

№ заводської КЛ	Довжина l , км	r_0 , Ом/км	x_0 , Ом/км	Активний R , Ом	Індуктивний X , Ом
1	3,010	0,258	0,081	0,388	0,122
2,3	0,284	0,890	0,095	0,253	0,027
4,5	0,286	0,890	0,095	0,255	0,027
6,7	0,289	0,890	0,095	0,257	0,027
8,9	0,719	0,890	0,095	0,640	0,068

Надперехідна складова струму трифазного к.з. від енергосистеми у вузлі K_2 :

$$I_{K2}'' = \frac{U_{\text{ср.ном.}}}{\sqrt{3} Z_{K2}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 2,565} = 2,36 \text{ кА}$$

Стала часу затухання аперіодичної складової струму к.з. T_a у точці K_2

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

$$T_a = \frac{X_{K2}}{\omega R_{K2}} = \frac{2,458}{314 \cdot 0,733} = 0,0107 \text{ с}$$

Показник ударного коефіцієнта $k_{y\partial 2}$ у розрахунковій точці K_2 (на шинах 0,4 кВ)

$$k_{y\partial 2} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{a2}}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,0107}} = 1,393$$

Амплітудне значення ударного струму короткого замикання $i_{y\partial 2}$ (кА) у точці K_2 :

$$i_{y\partial 2} = \sqrt{2} k_{y\partial} I_{K2}'' = \sqrt{2} \cdot 1,393 \cdot 2,36 = 4,65 \text{ кА}$$

Якщо на КТП-1 встановлено стандартні масляні ТП напругою 10/0,4 кВ, обчислення їхніх опорів (приведених до сторони нижчої напруги 0,4 кВ):

$$R_{тр} = \frac{\Delta P_k \cdot U_{ср.ном}^2}{S_{ном}^2} = \frac{6,5 \cdot 10,5^2}{630^2} \cdot 10^3 = 1,806 \text{ Ом}$$

$$X_{тр} = \frac{U_k \cdot U_{ср.ном}^2}{S_{ном}} = \frac{5,5 \cdot 10,5^2}{630} \cdot 10 = 9,625 \text{ Ом}$$

Підсумкові опори до вузла K_3 :

$$X_{K3} = (X_{K2} + X_{тр}) \left(\frac{U_{нн}}{U_{вн}} \right)^2 = (2,458 + 9,625) \left(\frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 0,0175 \text{ Ом}$$

$$R_{K3} = (R_{K2} + R_{тр}) \left(\frac{U_{нн}}{U_{вн}} \right)^2 = (0,733 + 1,806) \left(\frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 0,0037 \text{ Ом}$$

$$Z_{K3} = \sqrt{R_{K3}^2 + X_{K3}^2} = \sqrt{0,0037^2 + 0,0175^2} = 0,0179 \text{ Ом}$$

Надперехідне значення струму трифазного короткого замикання у вузлі K_3 :

$$I_{K3}'' = \frac{U_{ср.ном.}}{\sqrt{3} Z_{K3}} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 0,0179} = 12,9 \text{ кА}$$

Стала часу затухання аперіодичної складової струму к.з. T_{a3} у вузлі K_3 :

$$T_{a3} = \frac{X_{K3}}{\omega R_{K3}} = \frac{0,0175}{314 \cdot 0,0037} = 0,0151 \text{ с}$$

Показник ударного коефіцієнта $k_{y\partial 3}$ для системи у вузлі K_3 :

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

$$k_{y\partial 3} = 1 + e^{\frac{-0.01}{T_{a3}}} = 1 + e^{\frac{-0.01}{0,0151}} = 1,516 \text{ c}$$

Амплітудне значення ударного струму к.з. $i_{y\partial 3}$ від енергосистеми в точці K_3 :

$$i_{y\partial 3} = \sqrt{2} k_{y\partial} I_{K3}'' = \sqrt{2} \cdot 1,516 \cdot 12,9 = 27,66 \text{ кА}$$

Для систематизації та зручності подальшого проектування параметри короткого замикання для всіх розрахункових точок заводської мережі зводяться в єдину відомість. Нижче наведено структуру підсумкової таблиці 6.1.2, яка відображає зміну параметрів КЗ у міру віддалення від джерела живлення: від високовольтних шин 10 кВ до низьковольтних розподільних пунктів 0,4 кВ.

Таблиця 6.1.2 - Підсумкові значення параметрів струмів КЗ у хлібозаводській системі електропостачання

№ точки к.з.	Опір $R, \text{ Ом}$	Опір $X, \text{ Ом}$	Струм $I_K'', \text{ кА}$	Стала $T_a, \text{ с}$	Коеф $k_{y\partial}$	Струм $i_{y\partial}, \text{ кА}$
1	0,4800	2,4310	2,45	0,0161	1,537	5,33
2	0,7330	2,4580	2,36	0,0107	1,393	4,65
3	0,0037	0,0175	12,90	0,0151	1,516	27,66
4	0,7350	2,4580	2,36	0,0107	1,393	4,65
5	0,0037	0,0175	12,90	0,0151	1,516	27,66
6	0,7370	0,5070	6,78	0,0022	1,011	9,69
7	0,0037	0,0147	15,19	0,0127	1,455	31,26
8	1,3770	0,5750	4,06	0,0013	1,000	5,74
9	0,0046	0,0148	14,90	0,0102	1,375	28,97

6.2. Вибір високовольтних кабелів для хлібопекарського підприємства

Розрахунковий струм для даного фідерного з'єднання (I_p) є вихідним параметром для вибору перерізу кабелю за умовою тривалого нагріву в нормальному та аварійному режимах. Залежно від конфігурації цехової підстанції ТП-1 (одно- чи двотрансформаторна), розрахунковий струм лінії 10 кВ визначається за двома режимами::

$$I_p = \frac{S_p}{n\sqrt{3}U_{\text{ср.ном}}} = \frac{1018,25}{2 \cdot 1,72 \cdot 10,5} = 27,99 \text{ кА}$$

Перевірка кабельної лінії (КЛ) за критерієм тривало допустимого теплового навантаження є першочерговою умовою її надійного функціонування:

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

$$I_p = 27,99 \text{ A} \leq K_n \cdot I_p = 0,9 \cdot 115 = 103,5 \text{ A}$$

Аналіз роботи (КЛ) в умовах аварійного перевантаження є критично важливим етапом проєктування розпод. мереж 10 кВ (фідерів від шин ГЗП до цехових КТП):

$$I_{ав} = 55,98 \text{ A} \leq K_{ан} \cdot K'_n \cdot I_p = 1,35 \cdot 1 \cdot 115 = 155,25 \text{ A}$$

Показник теплового імпульсу струму короткого замикання:

$$B_k = I_{K1}^2 (t_{p.з. \min} + T_a) = 2,45^2 \cdot (1,365 + 0,0161) = 8,29 \text{ кА}^2 \text{с}$$

Мінімально допустима площа поперечного перерізу жили кабельної лінії за умовою її термічної стійкості до струмів короткого замикання:

$$F_{\min} = \frac{1}{C} \sqrt{B_k} = \frac{1}{94} \sqrt{8,29 \cdot 10^3} = 30,63 \text{ мм}^2$$

Для систематизації результатів розрахунків розподільної мережі 10 кВ підприємства, всі технічні характеристики та результати перевірок фідерних з'єднань зводяться в підсумкову відомість. Нижче наведено структуру зведеної таблиці 6.2, яка дозволяє оцінити правильність підбору провідників за двома головними критеріями ПУЕ: тривалим нагрівом у нормальному/післяаварійному режимах та термічною стійкістю до теплової дії струмів КЗ.

Таблиця 6.2 - Зведені результати розрахунків та вибору заводських КЛ 10 кВ

№ КЛ	n, шт	S _p , МВА	I _p , А	I _{p.ав.} , А	F _{ек} , мм ²	B _к , кА ² с	F _{min} , мм ²	Марка кабеля	I _{дон} , А	K _n	K _n I _{дон} , А	K _{ан}	K' _n	K _{ан} K' _n I _{дон} , А
1	2	3354,1	92,21	184,42	76,84	8,29	30,63	2 х ААШВ-10(3х120)	240	0,9	216	1,35	1	324
2,3	2	1018,25	27,99	55,98	23,33	8,29	30,63	2 х ААШВ-10(3х35)	115	0,9	103,5	1,35	1	155,25
4,5	1	509,13	27,99	-	23,33	8,29	30,63	1 х ААШВ-10(3х35)	115	1	115	-	1	-
6,7	2	919,22	25,27	50,54	21,06	8,29	30,63	2 х ААШВ-10(3х35)	115	0,9	103,5	1,35	1	155,25
8,9	2	1047,04	28,79	57,58	23,99	8,29	30,63	2 х ААШВ-10(3х35)	115	0,9	103,5	1,35	1	155,25

6.3 Вибір електричних апаратів високої напруги для хлібозаводу

Найменший час від моменту початку короткого замикання до моменту розходження контактів вимикача (t_p або τ , с) є визначальним параметром для перевірки комутаційної здатності апарата в перехідному режимі. Він визначає момент, для якого обчислюються реальні значення періодичної та аперіодичної складових струму КЗ, що підлягають гасінню в дугогасній камері.

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

Цей показник розраховується за формулою:

$$\tau = t_{pz.min} + t_{c.в} = 1,0 + 0,042 = 1,042 \text{ с}$$

Аперіодична складова струму к.з. для моменту розходження контактів вимикача $i_{та}$ визначає величину постійного струму, який ще не встиг згаснути в контурі на момент розмикання дугогасних контактів:

$$i_{ат} = \sqrt{2} I'' e^{\frac{-\tau}{T_a}} = 1,41 \cdot 2,45 \cdot e^{\frac{-1,042}{0,0161}} = 0 \text{ кА}^2 \text{с}$$

Таблиця 6.3.1 - Результати вибору ввідного вимикача напругою 10 кВ

Параметр вимикача	Умови вибору	Розрахунок
Номінальна напруга	$U_{уст} \leq U_{ном}$	$10 \leq 10$
Довготривалий номін. струм	$I_{роб.форс.} \leq I_{ном}$	$193,653 \leq 630$
Відключаюча здатність:		
- симетричний струм	$I''_{к0} \leq I_{дин.ст}$	$2,45 \leq 20$
- асиметрична складова	$i_{ат} \leq \sqrt{2} \beta_n I_{відкл.ном}$	$0 \leq 11,31$
- повний струм	$\sqrt{2} I_{пт} + i_{ат} \leq \sqrt{2} I_{ном.відкл} (1 + \beta_n)$	$1,41 \cdot 2,45 + 0 < 1,41 \cdot 20 \cdot (1 + 0,4)$ $3,46 \leq 39,6$
Динамічна стійкість:		
- симетричний струм	$I_{пт} \leq I_{дин.ст.}$	$2,45 \leq 52$
- ударний струм	$i_{уд} \leq 1,8 \sqrt{2} I_{дин.ст.}$	$5,33 \leq 132,37$
Термічна стійкість	$B_k \leq I_{тн}^2 t_{тн}$	$6,35 \leq 1200$

Показник теплового імпульсу струму короткого замикання B_k визначає сумарну термічну дію, яку чинить струм КЗ на провідники та апарати високої напруги за час від моменту виникнення аварії до моменту її повного ліквідації:

$$B_k = I''^2 (t_{c.в.} + t_{pz.max} + T_a) = 2,45^2 \cdot (0,042 + 1,0 + 0,0161) = 6,35 \text{ кА}^2 \text{с}$$

Обираємо до встановлення вакуумний вимикач типу ВР1-10-20/630 У1, такий самий вибираємо і для секційного і відхідних вимикачів. Також вибираємо вимикача навантаження типу ВНР-10/400-10зУЗ та прийнято до встановлення запобіжники типу ПКТ104-10-160-20УЗ. До встановлення обрано 2 трансформатори власних потреб (ТВП) марки ТМ-40/10.

6.4. Вибір трансформаторів струму та напруги для хлібозаводу

Для систематизації результатів вибору та перевірки вимірювальних трансформаторів струму (ТС) на ввідних фідерних з'єднаннях 10 кВ формується підсумкова відомість. Оскільки ТС працюють одночасно в колах релейного захисту (де важлива стійкість до великих струмів аварійних режимів) та колах комерційного обліку (де критичною є висока точність у нормальному режимі), їх перевіряють за розширеним переліком параметрів ПУЕ.

Таблиця 6.4.1 - Результати вибору та перевірки трансформаторів струму на ввідних лініях 10 кВ

Параметричний показник пристрою	Умова технічної відповідності	Розрахункове підтвердження
Ном. напруга показник приср ТС	$U_{уст} \leq U_{ном}$	$10 \leq 10$
Тривало допустимий номінальний струм ТС	$I_{роб.форс} \leq I_{ном}$	$193,65 \leq 300$
Динамічна стійкість (піковий струм) ТС	$i_{уд} \leq i_{дин} = \sqrt{2} k_{ед} I_{ном}$	$5,33 \leq 52$
Термічна стабільність обладнання ТС	$B_k \leq I_{тер}^2 t_{тер}$	$6,35 \leq 768$
Потужність вторинного навантаження ТС	$Z_2 \leq Z_{ном}$	$0,35 \leq 0,4$

На основі розрахунків для монтажу на відхідних лініях прийнято трансформатори струму ТЛК-10/75 У1.

Вибір вимірювальних трансформаторів напруги (ТН) для заводського розподільного пристрою 10 кВ (на шинах ГЗП або РП) є відповідальним етапом проекту, оскільки від їхньої точності залежить коректність роботи систем комерційного та технічного обліку електроенергії, релейного захисту (наприклад, ЗЗМ, захисту від підвищення/зниження напруги) та автоматики (АВР). Підбір ТН здійснюється за умов відповідності параметрам мережі та перевірки потужності вторинних ланцюгів для забезпечення заданого класу точності. Для встановлення в комірці РП обрано два трансформатори напруги антирезонансного типу НАМИ-10-66-У3.

7. Спеціальне питання. Впровадження системи енергетичного менеджменту та енергозбереження на хлібопекарському підприємстві

7.1 Показники енергетичної результативності газових печей хлібопекарського виробництва

Рациональне використання паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) хлібопекарського підприємства починається з формування системи вимірюваних показників, що відображають поточний стан та динаміку споживання енергії. Стандарт ISO 50001:2018 зобов'язує організацію визначати критерії значного споживання енергії та встановлювати кількісні індикатори для оцінки енергетичної результативності. Без таких індикаторів неможливо виявити зони надмірного споживання або обґрунтувати інвестиції в енергозберігаючі заходи.

В умовах хлібопекарського виробництва провідним споживачем природного газу є пічний агрегат. Питома вага витрат на газ у собівартості хлібобулочних виробів досягає 15–20 %. Встановлення показників енергетичної результативності (ПЕЕ) для газових печей утворює вимірювану основу для прийняття обґрунтованих управлінських рішень щодо оптимізації споживання ресурсів.

Показники ефективності використання енергетичних ресурсів класифікуються за кількома ознаками, що наведено на рисунку 7.1.

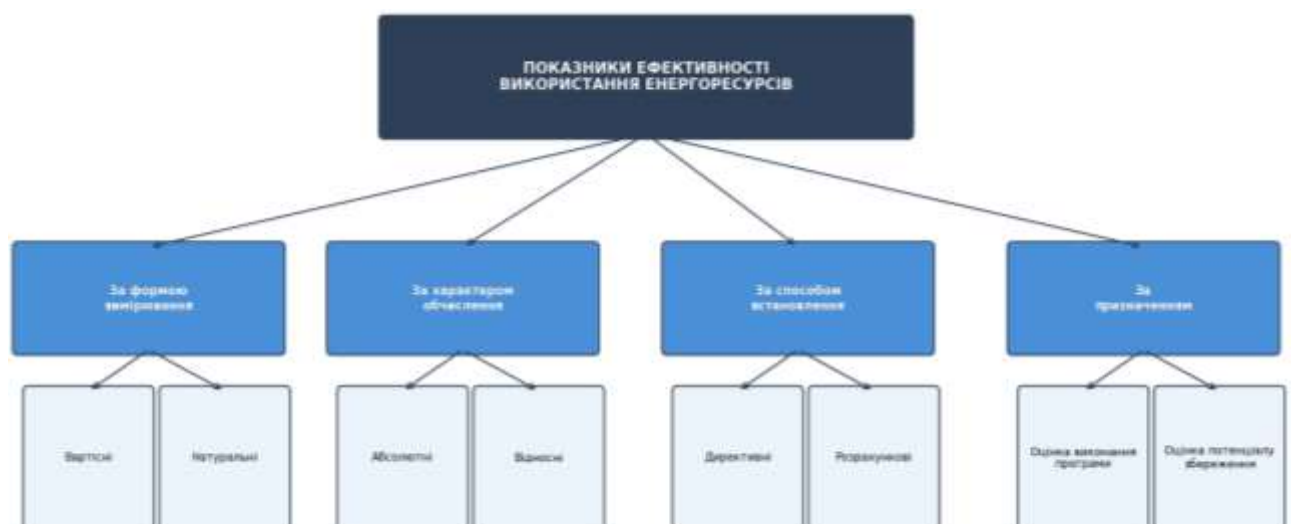


Рисунок 7.1 – Класифікація показників ефективності використання енергетичних ресурсів

За формою вимірювання показники бувають вартісними (грошові одиниці) та натуральними (м³/год, кДж/кг тощо). За характером обчислення — абсолютними (загальний обсяг споживання) та відносними (питоме споживання на одиницю продукції). За способом встановлення розрізняють директивні та розрахункові, що формуються підприємством самостійно.

Показник енергоефективності використовується для зіставлення результативності до і після реалізації заходів. Різниця між базовим та звітним значенням є мірою змін в енергетичній результативності:

$$\Delta ПЕЕ = ПЕЕ_{звіт} - ПЕЕ_{баз} \quad [м^3/т \text{ або } \%] \quad (7.1)$$

де $ПЕЕ_{звіт}$ - показник за звітний період; $ПЕЕ_{баз}$ - показник за базовий (еталонний) період. Від'ємне значення $\Delta ПЕЕ$ свідчить про покращення результативності.

Таблиця 7.1 – Класифікація показників енергетичної результативності

Ознака класифікації	Вид показника	Приклад для хлібопекарні
За формою вимірювання	Вартісний	Витрати на газ, грн/місяць
	Натуральний	Витрата газу, м³/год
За характером обчислення	Абсолютний	Загальний обсяг, м³/місяць
	Відносний	Питоме споживання, м³/т продукції
За способом встановлення	Директивний	Ліміт, затверджений нормативом
	Розрахунковий	Базова лінія за даними підприємства
За призначенням	Оцінка виконання програми	Відповідність плановому показнику
	Оцінка потенціалу	Резерв зниження витрат, %

Як цільовий індикатор для поточного моніторингу обрано абсолютну витрату природного газу у натуральних одиницях (м³/год). Базовий рівень споживання (БРЕ) формується відповідно до ISO 50006:2014 як еталонний часовий

інтервал. Нормалізація показників при зміні значущих змінних (обсяг виробництва, сезонні умови) є обов'язковою для коректного порівняння.

7.2 Побудова регресійної моделі споживання природного газу печами

Математичний опис об'єкта управління є необхідною умовою для побудови ефективної системи енергетичного моніторингу. Існує два підходи: детермінований (на основі фізичних законів) та статистичний (на основі реальних виробничих даних). В умовах безперервного виробництва застосовується пасивний статистичний експеримент - реєстрація параметрів у режимі нормальної роботи без внесення навмисних збурень. Усю сукупність параметрів поділяють на три групи: вхідні керовані параметри $X = (x_1, x_2, \dots, x_k)$; вихідні показники $Y = (y_1, \dots, y_n)$; неконтрольовані збурення $Z = (z_1, \dots, z_m)$. У загальному вигляді зв'язок між вихідною змінною та вхідними параметрами:

$$y(t) = f[x_1(t), \dots, x_k(t)] + e(t) \quad (7.2)$$

де $e(t)$ - еквівалентний шум, що відображає вплив усіх неконтрольованих чинників. Для практичних задач функцію f апроксимують поліномом:

$$y = a_0 + \sum_j a_j x_j + \sum_{jn} a_{jn} x_j x_n + \dots \quad (7.3)$$

Метод найменших квадратів (МНК) мінімізує суму квадратів відхилень між фактичними та модельними значеннями:

$$S = \sum_i (y_i - \hat{y}_i)^2 \rightarrow \min \quad (7.4)$$

Рівняння багатofакторної регресії:

$$\hat{y} = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + \dots + a_m x_m \quad (7.5)$$

де $\hat{y}$ - прогнозоване значення витрати газу, м³/міс; a_0 — вільний член; $a_1 \dots a_m$ - регресійні коефіцієнти; $x_1 \dots x_m$ - незалежні фактори-змінні. Загальна дисперсія результативного показника:

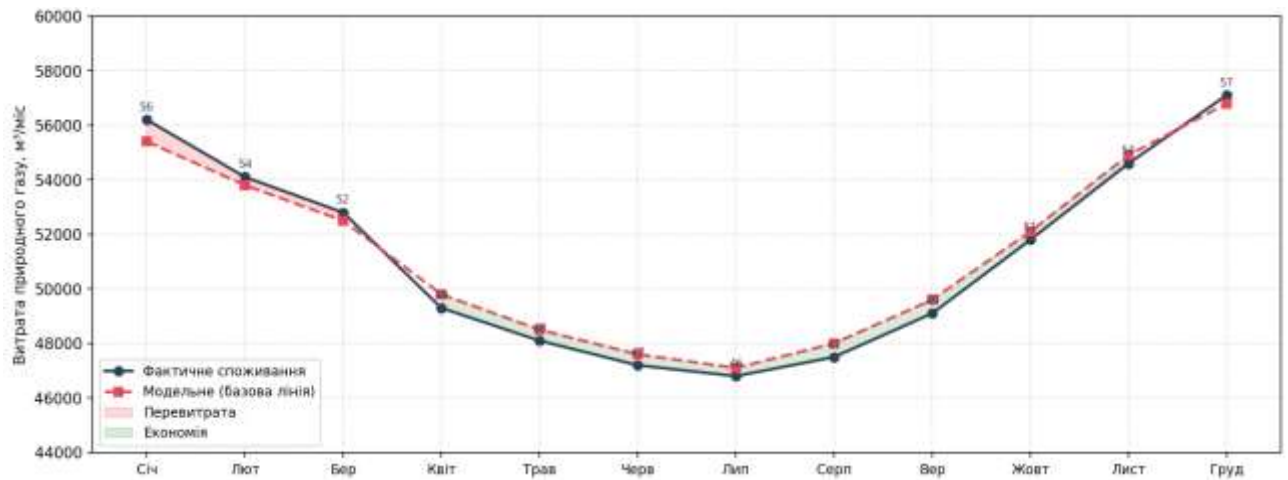
$$\delta y^2 = \sum (y_i - \bar{y})^2 / n \quad (7.6)$$

Факторна дисперсія та коефіцієнт детермінації як міра якості моделі:

$$R^2 = \sum (\hat{y}_i - \bar{y})^2 / \sum (y_i - \bar{y})^2 = 1 - \sum (y_i - \hat{y}_i)^2 / \sum (y_i - \bar{y})^2 \quad (7.7)$$

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		49

За результатами аналізу 12-місячних даних споживання газу піччю ПХС 25 визначено два найбільш значущих фактори: обсяг виробництва x_1 (кг/місяць) та кількість годин роботи печі x_2 (год/місяць). Динаміку фактичного та модельного споживання газу наведено на рисунку 7.2.



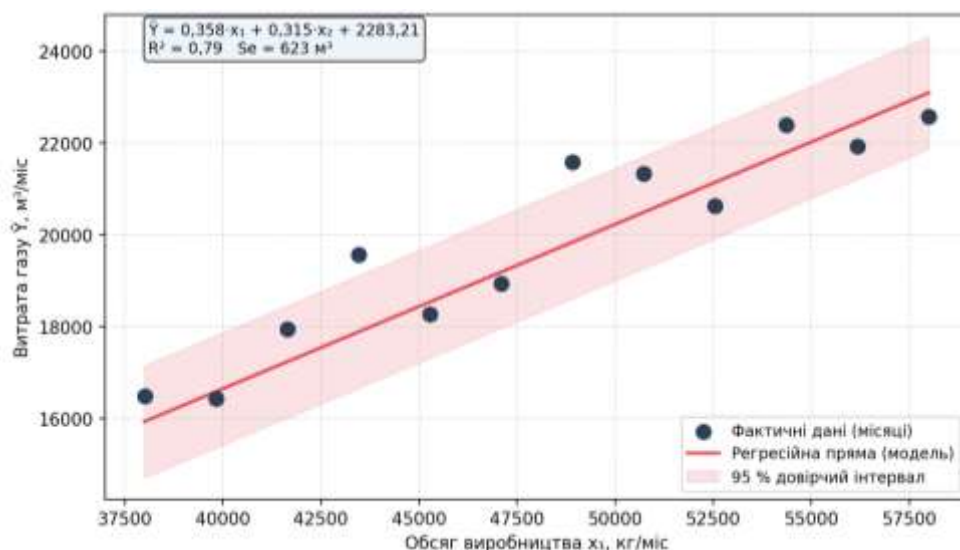
Рисунки 7.2 – Динаміка споживання природного газу піччю ПХС 25 (факт vs базова лінія)

Побудована модель базового рівня енергоспоживання:

$$\hat{Y} = 0,358 \cdot x_1 + 0,315 \cdot x_2 + 2283,21 \quad (7.8)$$

де x_1 - місячний обсяг виробництва, кг; x_2 - кількість годин роботи пічного агрегату, год; 2283,21 - константа, що відображає базове споживання газу на розігрів і підтримання температурного режиму.

Регресійна залежність споживання газу від обсягу виробництва з 95 % довірчим інтервалом наведена на рисунку 7.3.



Рисунки 7.3 – Регресійна залежність споживання газу від обсягу виробництва ($R^2 = 0,79$)

Таблиця 7.2 – Статистичні характеристики регресійної моделі

Показник	Позначення	Значення
Коефіцієнт детермінації	R^2	0,79
Коефіцієнт при обсязі виробництва x_1	a_1	0,358 м³/кг
Коефіцієнт при годинах роботи x_2	a_2	0,315 м³/год
Константа моделі	a_0	2283,21 м³
Стандартна похибка оцінки	Se	623 м³/міс
Критерій Фішера (розрахунковий)	F	17,4
Рівень значущості	α	0,05
Кількість спостережень	n	12

Коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,79$ підтверджує, що модель пояснює 79 % варіації фактичного споживання газу. Перевищення фактичного споживання над модельним більш ніж на 5 % є сигналом для позапланового технічного обстеження пічного агрегату.

7.3 Структура та процедури системи енергетичного моніторингу

Енергетичний моніторинг є ключовим механізмом системи енергетичного менеджменту хлібопекарського підприємства. Його мета - безперервне спостереження за споживанням ресурсів, порівняння фактичних показників з нормативними та виявлення резервів. Система будується на циклі PDCA (Plan–Do–Check–Act) відповідно до ISO 50001:2018, наведеному на рисунку 7.4.



Рисунок 7.4 – Цикл PDCA системи енергетичного менеджменту хлібопекарського підприємства

Ключові показники роботи газової печі розраховуються за такими формулами. Коефіцієнт корисної дії (ККД) пічного агрегату:

$$\eta = (Q_{\text{вих}} / Q_{\text{вхід}}) \times 100 \% \quad (3.9)$$

де $Q_{\text{вих}}$ - кількість теплоти, корисно використаної на випічку, кДж; $Q_{\text{вхід}}$ - загальна теплота від спалювання газу, кДж. Питоме споживання природного газу на одиницю продукції:

$$q_{\text{пит}} = B / Пс \quad [м^3/кг] \quad (3.10)$$

де B - витрата природного газу, м³/год; $Пс$ - продуктивність печі, кг/год.

Відносний коефіцієнт попереднього підігріву повітря ε :

$$\varepsilon = (\vartheta_{\text{нагр}} - \vartheta_{\text{вх}}) / (\vartheta_{\text{відх}} - \vartheta_{\text{вх}}) \quad (3.11)$$

де $\vartheta_{\text{нагр}}$ - температура попередньо нагрітого повітря, °С; $\vartheta_{\text{відх}}$ - температура відхідних газів, °С; $\vartheta_{\text{вх}}$ - температура зовнішнього повітря, °С. Залежність ефективності пального від температури відхідних газів при різних ε наведено на рисунку 7.5.

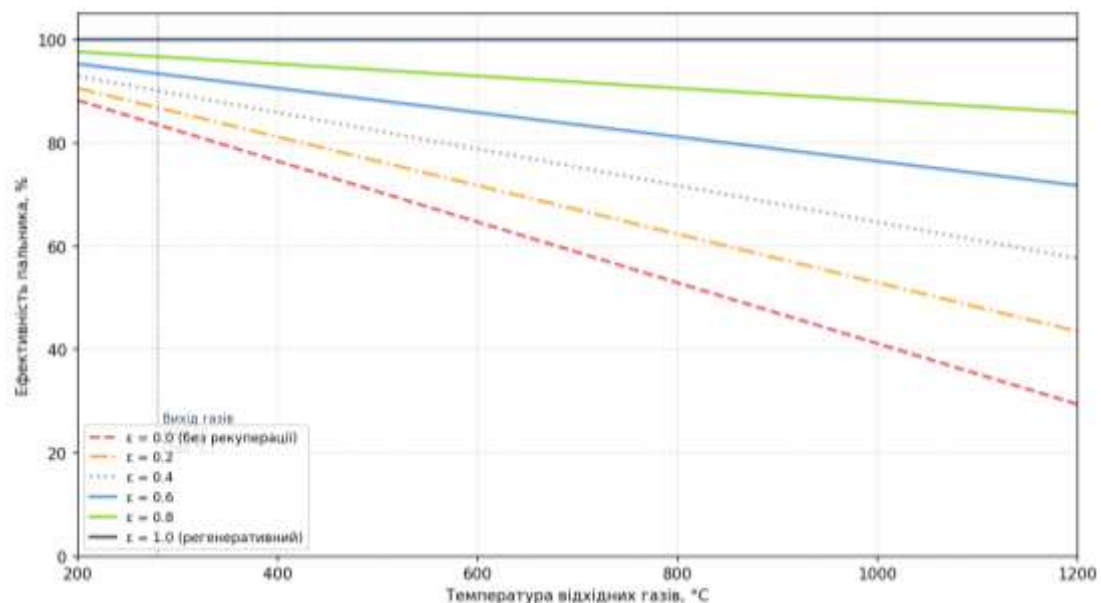


Рисунок 7.5 – Залежність ефективності пального від температури відхідних газів при різних ε

Кількість одиниць передачі тепла теплообмінника (КОП) та кількість переданої теплоти:

$$КОП = k \cdot A / (m \cdot Cp) \quad (7.12)$$

$$Q = m \cdot Cp \cdot (t_2 - t_1) \quad (7.13)$$

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

де k - коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м²·К); A - площа поверхні, м²; m - масовий потік, кг/с; C_p - питома теплоємність, кДж/(кг·К); t_2, t_1 — кінцева і початкова температури, °С.

Таблиця 7.3 – Етапи процедури енергетичного моніторингу

№	Етап	Зміст дій	Відповідальний
1	Збір первинних даних	Зняття показань лічильників газу та електроенергії	Оператор
2	Верифікація даних	Перевірка достовірності та повноти інформації	Енергоменеджер
3	Розрахунок ПЕЕ	Визначення показників за формулами (3.9)–(3.10)	Енергоменеджер
4	Порівняльний аналіз	Зіставлення з базовою лінією (3.8), розрахунок ΔПЕЕ	Енергоменеджер
5	Виявлення відхилень	Ідентифікація причин перевитрати ресурсів	Технолог, механік
6	Коригувальні заходи	Розробка плану усунення виявлених відхилень	Кер. виробництва
7	Звітування	Підготовка щомісячного звіту для керівництва	Енергоменеджер

7.4 Тепловий баланс газової хлібопекарської печі ПХС 25

Об'єктом теплотехнічного дослідження є тунельна конвеєрна піч ПХС 25, що обігрівается природним газом. Агрегат оснащено двома пальниками SPARKGAS 20P фірми Vultur із двоступеневим регулюванням потужності. Температура газів на вході в обігрівальні канали - 450–480 °С, на виході - 260–280 °С; у камері горіння - до 1500 °С. Технічні характеристики наведено в таблиці 7.4.

Таблиця 7.4 – Технічні характеристики печі ПХС 25

Технічна характеристика	Значення
Площа поду, м ²	26,2
Ширина сітки, мм	2 100
Продуктивність (нарізний батон 0,4 кг), кг/год	568
Продуктивність (подовий хліб 0,75 кг), кг/год	302
Змінна продуктивність, кг	800
Витрата природного газу, Нм ³ /год	16,9

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

Питома витрата умовного палива, кг/т продукції	21,4
Встановлена електрична потужність, кВт	12,5
Тривалість випічки (варіатор), хв	12–72
Кількість зон обігріву	2
Тип пальника	SPARKGAS 20P
Габаритні розміри Д×Ш×В, мм	15 290×3 500×2 930

Тепловий баланс печі виражає закон збереження енергії. У загальному вигляді:

$$Q_{\Sigma} = Q_{\text{кор}} + Q_{\text{втр}} \quad (7.14)$$

де Q_{Σ} - загальна теплота від спалювання газу, кДж/год; $Q_{\text{кор}}$ - корисно використана теплота, кДж/год; $Q_{\text{втр}}$ - сумарні теплові втрати, кДж/год. Деталізований баланс пекарної камери на 1 кг гарячої продукції:

$$q_{\text{пк}} = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6 + q_7 \quad (7.15)$$

де q_1 - теоретичні витрати на випічку 1 кг продукції, кДж/кг; q_2 - випаровування води та перегрів пари, кДж/кг; q_3 - підігрів вентиляційного повітря, кДж/кг; q_4 — нагрів транспортного конвеєра, кДж/кг; q_5 - втрати крізь зовнішні огороження, кДж/кг; q_6 - втрати через фундамент, кДж/кг; q_7 - втрати випромінюванням крізь отвори, кДж/кг.

Теоретичні витрати теплоти на власне випічку:

$$q_1 = W_{\text{вир}} \cdot (h_{\text{пп}} - h_{\text{в}}) + g_k c_k \cdot (t_k - t_m) + (g_{\text{ссв}} + g_{\text{всм}}) \cdot (t_m - t_m) \quad (7.16)$$

де $W_{\text{вир}}$ - питома кількість випареної води, кг/кг; $h_{\text{пп}}$, $h_{\text{в}}$ - питома ентальпія перегрітої пари і рідкої води, кДж/кг; g_k - маса скоринки, кг/кг; c_k - теплоємність сухої речовини скоринки, кДж/(кг·°C); t_k , t_t , t_m - температури скоринки, тіста і м'якушки, °C. Витрати теплоти на підігрів вентиляційного повітря:

$$q_3 = [(W_{\text{вир}} + g_n + g_v) / (d'_{\text{пк}} - d_{\text{пов}})] \cdot c_p \cdot (t'_{\text{пк}} - t_{\text{пов}}) \quad (7.17)$$

де c_p - питома теплоємність вологого повітря, кДж/(кг·°C); $d'_{\text{пк}}$ та $d_{\text{пов}}$ - вологовміст пароповітряної суміші в камері та зовнішнього повітря, г/кг; $t'_{\text{пк}}$ - температура в камері на виході, °C.

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

Теплотворна здатність природного газу. Молярна маса метану: $M(\text{CH}_4) = 1 \cdot 12 + 4 \cdot 1 = 16$ г/моль. Теплота горіння метану $Q_g = 882,6$ кДж/моль. Теплотворна здатність 1 кг:

$$Q = Q_g / M = 882,6 / 16 = 55\,163 \text{ кДж/кг} \quad (7.18)$$

При густині метану $\rho = 0,717$ кг/м³ об'ємна теплотворна здатність:

$$Q_{об} = 55\,163 \times 0,717 = 39\,552 \text{ кДж/м}^3 \approx 39,54 \text{ МДж/м}^3 \quad (7.19)$$

Витрата природного газу для забезпечення теплового балансу:

$$B = Q_{пк} / [Q_p \cdot (1 - q_2/100)] \quad [\text{м}^3/\text{год}] \quad (3.20)$$

де $Q_p = 39\,540$ кДж/м³ — нижча теплота згоряння.

Умовний ККД пекарної камери:

$$\mu_{тех}^{пк} = q_1 / q_{пк} = 19\,729 / 30\,584 = 0,645 \text{ (64,5 \%)} \quad (3.21)$$

Результати розрахунку теплового балансу пекарної камери наведено в таблиці 7.5 та на рисунку 7.6.

Таблиця 7.5 – Складові теплового балансу пекарної камери печі ПХС 25

Стаття балансу	Значення, кДж/кг	Частка, %	Фізична сутність
q_1	19 729	64,5	Корисна витрата на випічку
q_2	1 912	6,3	Випаровування вологи та пари
q_3	8 276	27,1	Нагрів вентиляційного повітря
q_4	23,5	0,08	Нагрів транспортного конвеєра
q_5	314	1,02	Втрати крізь стінки камери
q_6	9,1	0,03	Втрати через фундамент
q_7	320	1,05	Втрати випромінюванням з отворів
$q_{пк}$ разом	30 584	100	Загальна тепловіддача камери

Зведений тепловий баланс всього пічного агрегату наведено в таблиці 7.6 та на рисунку 7.7.

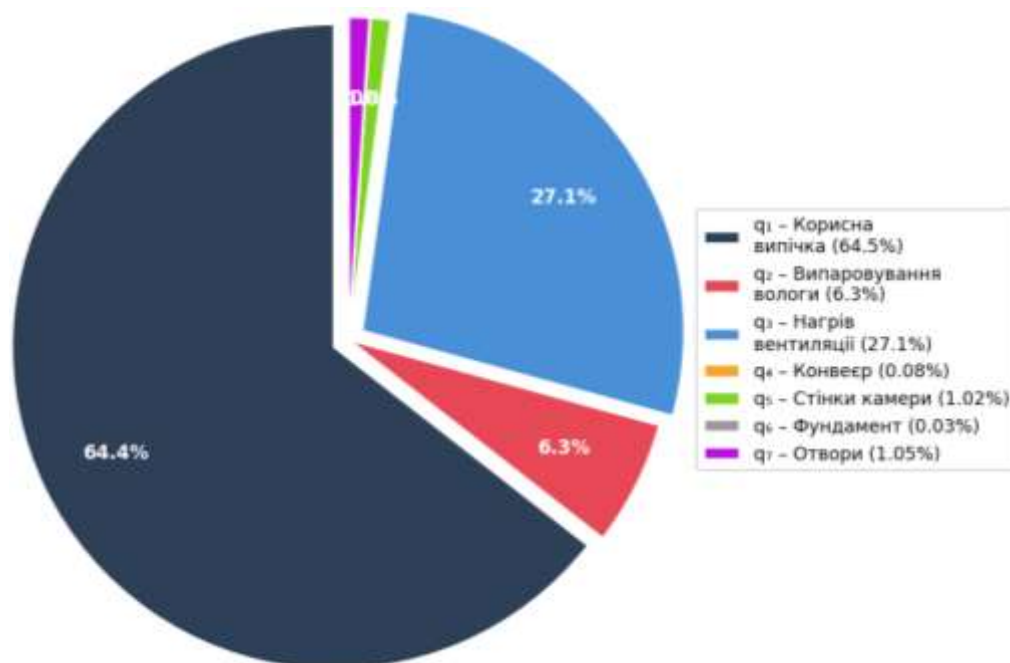


Рисунок 7.6 – Тепловий баланс пекарної камери печі ПХС 25

Таблиця 7.6 – Зведений тепловий баланс печі ПХС 25

Стаття теплового балансу	Значення, кДж/кг	Частка, %
Q _{кор} - корисна теплота (випічка)	19 729	59,4
Q _{пк} - втрати в пекарній камері	8 300	25,0
Q _{нс} - розсіювання в навколишнє середовище	3 789	11,4
Q _{тк} - втрати в топковому пристрої	1 413	4,2
Q _{печі} - разом	33 231	100

Загальний ККД газової хлібопекарської печі ПХС 25:

$$\mu_p = Q_{\text{кор}} / Q_{\text{печі}} = 19\,729 / 33\,231 = 0,594 \text{ (59,4 \%)} \quad (7.22)$$

Отримане значення свідчить, що майже 40 % теплоти витрачається нерационально. Найбільшими статтями є нагрів вентиляційного повітря (27 % від балансу камери) та розсіювання через огородження (11,4 % від загального балансу). На основі цих даних сформовано першочергові заходи з підвищення енергетичної ефективності: встановлення рекуператора відхідних газів; покращення теплоізоляції огорожень; оптимізація режиму роботи пальників.

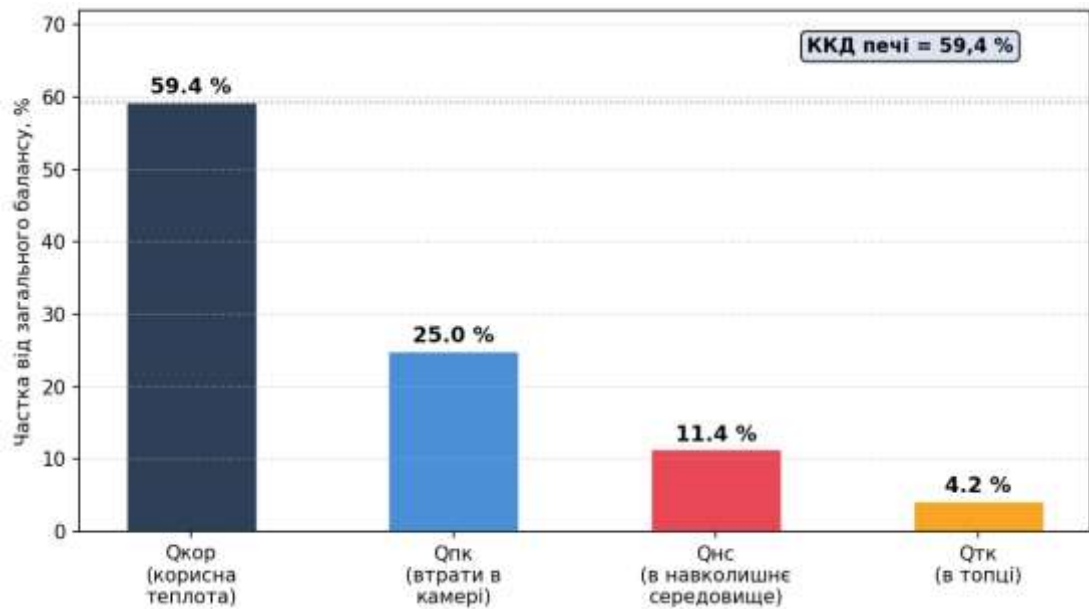


Рисунок 7.7 – Зведений тепловий баланс печі ПХС 25 (ККД = 59,4 %)

7.5 Інформаційне забезпечення та статистичний контроль якості в системі енергоменеджменту

Ефективне функціонування СЕНМ неможливе без відповідного інформаційного забезпечення. Автоматизовані інформаційні системи (АІС) організовують безперервний збір, зберігання та обробку даних у реальному часі. Для виявлення аномальних відхилень у споживанні газу застосовуються контрольні карти Шухарта. Контрольні межі:

$$UCL = \mu + 3\sigma; \quad LCL = \mu - 3\sigma \quad (7.23)$$

де μ - середнє значення показника за базовий період; σ - стандартне відхилення. Вихід фактичного споживання за UCL є тривожним сигналом для енергоменеджера. Оцінку АІС проводять за ДСТУ ISO/IEC 9126-1:2013.

Таблиця 7.7 – Порівняльна оцінка АІС енергомоніторингу

Критерій	АІС «АСЕМ»	АІС «Енергосервіс»	АІС «UMUNI»	EManagement24	АІС «Енергоплан»
Функціональність	Висока	Висока	Середня	Середня	Висока
Зручність інтерфейсу	Висока	Середня	Висока	Висока	Середня
Надійність / захист даних	Висока	Висока	Середня	Середня	Висока
Супроводжуваність	Середня	Висока	Середня	Висока	Середня
Мобільний доступ	Так	Ні	Так	Так	Ні
Авто-формування звіту	Так	Так	Ні	Так	Так

7.6 Енергозбереження на хлібопекарському підприємстві: аналіз та техніко-економічне обґрунтування заходів

7.6.1 Аналіз потенціалу енергозбереження та класифікація заходів

Результати теплотехнічного аналізу показали, що близько 40 % теплоти, що виробляється при спалюванні природного газу в печі ПХС 25, витрачається нерационально. Це визначає значний потенціал для впровадження заходів з енергозбереження, що дозволить знизити собівартість продукції та зменшити екологічне навантаження від виробничої діяльності підприємства.

За своєю природою заходи з енергозбереження поділяються на три категорії: організаційні (не потребують капітальних вкладень), маловитратні технічні (незначні інвестиції — ущільнення, регулювання, ізоляція) та капіталомісткі технічні (модернізація обладнання, системи рекуперації). Ідентифікацію потенціалу проведено методом теплового аудиту.

Таблиця 7.8 – Ідентифікований потенціал енергозбереження печі ПХС 25

Стаття витрат / втрат	Частка балансу, %	Технічно знижувана частка, %	Економія газу, м³/рік	Захід
Нагрів вентиляційного повітря (q_3)	27,1	~12,5	≈ 22 100	Рекуператор відхідних газів
Розсіювання крізь огороження (q_5)	11,4	~4,8	≈ 8 480	Додаткова теплоізоляція
Неповнота згоряння в топці	4,2	~3,2	≈ 5 650	Оптимізація пальників
Режимні перевитрати	—	~2,1	≈ 3 710	Оптимізація режиму роботи
Хибні витрати (облік)	—	~1,5	≈ 2 650	АІС моніторингу
Разом	—	~24,1	≈ 42 590	—

Загальний потенціал зниження споживання природного газу при реалізації всіх виявлених заходів становить близько 24 % від базового рівня (197 000 м³/рік), що еквівалентно ~42 590 м³/рік. Прогноз споживання при різних сценаріях реалізації заходів наведено на рисунку 7.8.

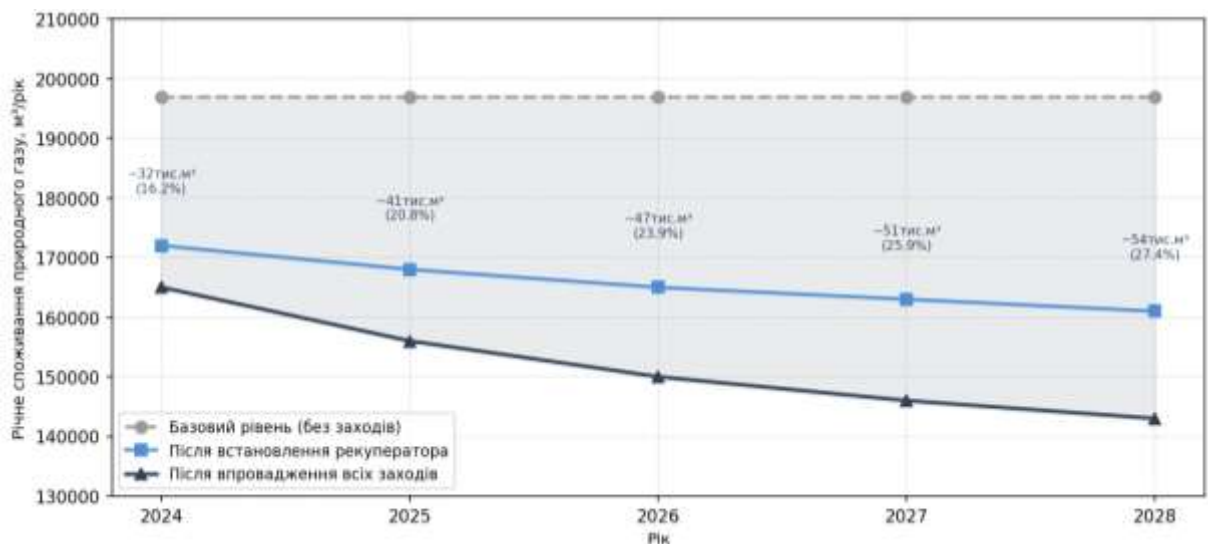


Рисунок 7.8 – Прогноз споживання природного газу піччю ПХС 25 при різних сценаріях реалізації заходів

7.6.2 Технічний розрахунок рекуперативного теплообмінника

Найбільший потенціал зниження споживання газу має встановлення рекуперативного теплообмінника для підігріву повітря горіння теплотою відхідних газів (~12,5 %). Вихідні дані: температура відхідних газів $t_{відх} = 280$ °С; температура зовнішнього повітря $t_{пов} = 20$ °С; витрата газу $V_0 = 16,9$ Нм³/год; коефіцієнт надлишку повітря $\alpha = 1,08$; масовий потік повітря $m_{пов} = 19,2$ кг/год.

Цільове значення температури підігрітого повітря при $\varepsilon = 0,60$:

$$\vartheta_{нагр} = \vartheta_{вх} + \varepsilon \cdot (\vartheta_{відх} - \vartheta_{вх}) = 20 + 0,6 \cdot (280 - 20) = 176 \text{ °С} \quad (7.24)$$

Кількість теплоти, що передається від відхідних газів до повітря горіння:

$$Q_{рек} = m_{пов} \cdot C_p \cdot (\vartheta_{нагр} - \vartheta_{вх}) = 19,2 \cdot 1,005 \cdot (176 - 20) \approx 3\,011 \text{ кДж/год} \quad (7.25)$$

де $C_p = 1,005$ кДж/(кг·К) — питома теплоємність повітря.

Середньологарифмічна різниця температур для протиточного теплообмінника:

$$\Delta T_{сл} = (\Delta T_1 - \Delta T_2) / \ln(\Delta T_1 / \Delta T_2) \quad (7.26)$$

де $\Delta T_1 = t_{відх} - \vartheta_{нагр} = 280 - 176 = 104$ К;

$\Delta T_2 = t_{відх,вих} - \vartheta_{вх} = 166 - 20 = 146$ К.

$$\Delta T_{сл} = (104 - 146) / \ln(104/146) \approx 124 \text{ К} \quad (7.27)$$

Необхідна площа поверхні теплообміну при $k = 35$ Вт/(м²·К):

$$A = Q_{рек} / (k \cdot \Delta T_{сл}) = (3011/3600) / (35 \cdot 124) \approx 0,19 \text{ м}^2 \quad (7.28)$$

З урахуванням запасу надійності 1,5 приймаємо $A = 0,30 \text{ м}^2$. Зниження температури відхідних газів після теплообмінника:

$$t_{\text{відх, нова}} = t_{\text{відх}} - Q_{\text{рек}} / (m_{\text{газ}} \cdot C_{p, \text{газ}}) = 280 - 3011 / (24,5 \cdot 1,08) \approx 166 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (7.29)$$

Річна економія природного газу від рекуперації при 8 500 год/рік роботи:
 $\Delta V_{\text{рік}} = Q_{\text{рек}} \cdot \tau / Q_{\text{пн}} = 3011 \cdot 8500 / 39540 \approx 646 \text{ Нм}^3/\text{добу} \rightarrow \sim 22 \text{ } 100 \text{ Нм}^3/\text{рік} \quad (7.30)$

7.6.3 Розрахунок додаткової теплоізоляції огорожувальних конструкцій

Другим за потенціалом є захід з підвищення якості теплоізоляції огорожувальних конструкцій пекарної камери. Тепловий потік через плоску стінку (закон Фур'є):

$$q = \lambda \cdot (t_1 - t_2) / \delta \quad [\text{Вт}/\text{м}^2] \quad (7.31)$$

де λ - коефіцієнт теплопровідності матеріалу, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$; δ - товщина шару, м; t_1, t_2 - температури внутрішньої і зовнішньої поверхонь, $^{\circ}\text{C}$. Повний термічний опір багатошарової конструкції:

$$R\Sigma = 1/\alpha_{\text{вн}} + \Sigma(\delta_i/\lambda_i) + 1/\alpha_{\text{зовн}} \quad (7.32)$$

де $\alpha_{\text{вн}} = 12 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ і $\alpha_{\text{зовн}} = 8 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ - коефіцієнти тепловіддачі з внутрішньої і зовнішньої сторін. Поточний стан (вогнетривка цегла 100 мм + мін. вата 50 мм):

$$R_{\text{поч}} = 1/12 + 0,10/0,87 + 0,05/0,05 + 1/8 \approx 1,323 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт} \quad (7.33)$$

Після додавання PIR-плити $\delta = 50 \text{ мм}$ ($\lambda = 0,022 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$):

$$R_{\text{нов}} = 1,323 + 0,05/0,022 \approx 3,596 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт} \quad (7.34)$$

Зниження питомих тепловтрат через стінки ($t_{\text{вн}} = 250 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{\text{зовн}} = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$):

$$\Delta q = (t_1 - t_2) \cdot (1/R_{\text{поч}} - 1/R_{\text{нов}}) = 225 \cdot (0,756 - 0,278) \approx 107,6 \text{ Вт}/\text{м}^2 \quad (7.35)$$

При загальній площі зовнішніх поверхонь пекарної камери $A_{\text{заг}} \approx 112 \text{ м}^2$ річна економія теплоти та газу:

$$Q_{\text{річн}} = 107,6 \cdot 112 \cdot 8500 / 10^6 \approx 102,4 \text{ МДж}/\text{рік} \quad (7.36)$$

$$\Delta V_{\text{ізол}} = 102 \text{ } 400 \text{ } 000 / 39 \text{ } 540 \approx 2 \text{ } 590 \text{ Нм}^3/\text{рік} \quad (7.37)$$

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		60

7.6.4 Оптимізація роботи газових пальників

Хімічно стехіометрична кількість повітря на спалювання 1 м³ природного газу:

$$L_o = (1/0,21) \cdot [CH_4 \cdot (1 + 4/4)] \approx 9,52 \text{ м}^3/\text{м}^3 \quad (7.38)$$

де 0,21 - вміст кисню в повітрі. Фактична витрата повітря:

$$L\phi = \alpha \cdot L_o = 1,08 \cdot 9,52 \approx 10,28 \text{ м}^3/\text{м}^3 \quad (7.39)$$

Відносна економія газу при оптимізації α з 1,12 до 1,05:

$$\delta B_{\text{нал}} = (1,12 - 1,05)/1,12 \cdot 0,52 \cdot 100 \approx 3,2 \% \quad (7.40)$$

Річна економія газу від оптимізації пальників:

$$\Delta B_{\text{нал}} = 0,032 \cdot 16,9 \cdot 8500 \approx 4\,590 \text{ Нм}^3/\text{рік} \quad (7.41)$$

7.6.5 Техніко-економічне обґрунтування заходів з енергозбереження

Вихідна ціна природного газу для промислових споживачів прийнята на рівні Ц_г = 8,20 грн/Нм³. Річний економічний ефект від впровадження і-го заходу:

$$E_i = \Delta B_i \cdot C_g \quad [\text{грн/рік}] \quad (7.42)$$

Простий термін окупності капітальних вкладень:

$$T_{\text{ок}} = K_i / E_i \quad [\text{роки}] \quad (7.43)$$

Чиста приведена вартість (NPV) за розрахунковий строк T = 10 років при ставці дисконтування r = 0,15:

$$NPV = \sum_t E_i / (1+r)^t - K \quad [\text{грн}] \quad (7.44)$$

Зведену техніко-економічну оцінку всіх запропонованих заходів наведено в таблиці 7.9, а їх порівняльний аналіз - на рисунку 7.10.

Таблиця 7.9 – Техніко-економічна оцінка заходів з енергозбереження

Захід	Економія газу, Нм ³ /рік	Зниження, %	Капвитрати, тис. грн	Річний ефект, тис. грн	Термін окупності, р.	NPV (10 р.), тис. грн
Рекуператор відхідних газів	22 100	11,2	580	181,2	3,2	329
Додаткова теплоізоляція	8 480	4,3	120	69,5	1,7	229
Оптимізація пальників	4 590	2,3	85	37,6	2,3	117
Оптимізація режиму роботи	3 710	1,9	30	30,4	1,0	174
Впровадження АІС	2 650	1,3	95	21,7	4,4	50
Разом	41 530	21,1	910	340,4	2,7	899

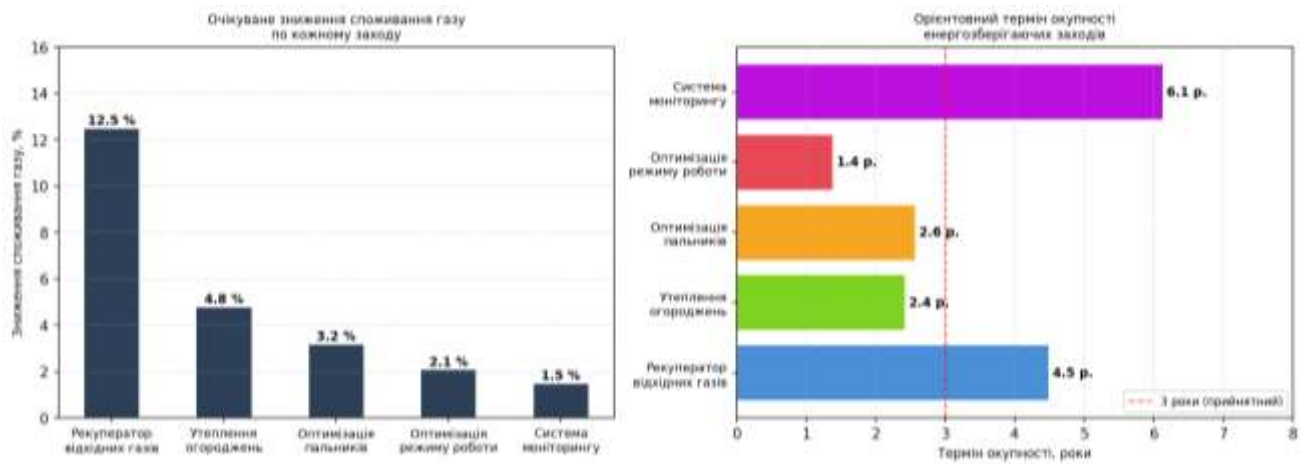


Рисунок 7.10 – Техніко-економічна оцінка заходів з енергозбереження печі ПХС 25 (а - зниження споживання газу, б - терміни окупності)

Сукупний річний економічний ефект становить 340 тис. грн/рік при капітальних вкладеннях 910 тис. грн. Середній термін окупності - 2,7 року; NPV за 10 років - 899 тис. грн. Це підтверджує економічну доцільність інвестицій.

7.6.6 Екологічний ефект від впровадження заходів з енергозбереження

Зниження споживання природного газу зменшує обсяг викидів парникових газів. Питомий коефіцієнт викидів CO_2 при спалюванні природного газу:

$$kCO_2 = 2,02 \text{ кг } CO_2 / \text{Нм}^3 \text{ природного газу} \quad (7.45)$$

Скорочення викидів CO_2 від реалізації заходів:

$$\Delta mCO_2 = \Delta V_{\text{рік}} \cdot kCO_2 = 41\,530 \cdot 2,02 \approx 83\,890 \text{ кг/рік} \approx 83,9 \text{ т } CO_2/\text{рік} \quad (7.46)$$

При питомих викидах $NO_x \approx 0,0015 \text{ кг/Нм}^3$ скорочення становить:

$$\Delta mNO_x = 41\,530 \cdot 0,0015 \approx 62,3 \text{ кг } NO_x/\text{рік} \quad (7.47)$$

Таблиця 7.10 – Екологічний ефект від заходів з енергозбереження

Показник	До заходів	Після заходів	Скорочення
Річне споживання газу, $\text{Нм}^3/\text{рік}$	197 000	155 470	41 530 (21,1 %)
Викиди CO_2 , т/рік	397,9	314,0	83,9 (21,1 %)
Викиди NO_x , кг/рік	295,5	233,2	62,3 (21,1 %)
Питоме споживання газу, $\text{Нм}^3/\text{т}$ продукції	24,6	19,4	5,2 (21,2 %)

7.7 Висновки до розділу 7

1. Встановлено та систематизовано показники енергетичної результативності газових печей хлібопекарського підприємства відповідно до ISO 50001:2018 та ISO 50006:2014. Як цільовий індикатор системи моніторингу визначено абсолютну витрату природного газу ($\text{м}^3/\text{год}$).

2. Побудовано багатofакторну регресійну модель споживання природного газу ($R^2 = 0,79$), що враховує обсяг виробництва та кількість годин роботи печі. Перевищення фактичного споживання більш ніж на 5 % - сигнал для технічного обстеження агрегату.

3. Виконано теплотехнічний розрахунок: ККД печі ПХС 25 становить 59,4 %. Найбільші статті втрат - нагрів вентиляційного повітря (27 %) і розсіювання через огороження (11,4 %).

4. Розроблено трирівневу структуру автоматизованого енергомоніторингу та процедуру щомісячного звітування. Проведено порівняльну оцінку п'яти АІС за критеріями ДСТУ ISO/IEC 9126-1:2013.

5. Проведено аналіз потенціалу енергозбереження на основі теплового балансу печі ПХС 25. Сукупний технічно досяжний потенціал зниження споживання природного газу становить близько 24 %, що еквівалентно $\sim 41\,530 \text{ Нм}^3/\text{рік}$.

6. Виконано технічний розрахунок рекуперативного теплообмінника. При $\varepsilon = 0,60$ температура підігрітого повітря досягає 176°C , економія - $\sim 22\,100 \text{ Нм}^3/\text{рік}$ (11,2 %). Необхідна площа поверхні - $0,30 \text{ м}^2$.

7. Розраховано ефект від додаткової теплоізоляції огорожень. Після встановлення PIR-плити 50 мм термічний опір зростає з 1,32 до $3,60 \text{ м}^2 \cdot \text{K}/\text{Вт}$, економія - $\sim 8\,480 \text{ Нм}^3/\text{рік}$ (4,3 %).

8. Обґрунтовано оптимізацію режиму роботи пальників. Зниження коефіцієнта надлишку повітря з 1,12 до 1,05 забезпечує економію $\sim 4\,590 \text{ Нм}^3/\text{рік}$ (2,3 %).

9. Техніко-економічна оцінка підтвердила доцільність впровадження: сукупний річний ефект - 340 тис. грн/рік, термін окупності - 2,7 року, NPV за 10 років - 899 тис. грн. Скорочення викидів CO_2 - $83,9 \text{ т}/\text{рік}$.

					Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата	
					63

Висновки

У результаті виконання випускної кваліфікаційної роботи розроблено комплексну, надійну та енергоефективну систему електропостачання та електроспоживання підприємства з виробництва хліба та хлібобулочних виробів.

На основі технологічного плану діляниць хлібозаводу та методу впорядкованих діаграм (коефіцієнта максимуму) визначено силові та освітлювальні навантаження об'єктів напругою до і вище 1000 В. Побудовані добові та річні графіки навантажень відображають специфіку та безперервність хлібопекарського виробництва.

За результатами просторового аналізу розподілу потужностей побудовано картограму електричних навантажень та розраховано умовний центр електричних навантажень (ЦЕН) заводу з розрахунковими координатами. Це дозволило теоретично обґрунтувати оптимальне географічне розташування центрального розподільного пункту (ЦРП-10 кВ) підприємства.

Шляхом техніко-економічного порівняння двох варіантів доведено, що найбільш доцільною для хлібозаводу є схема зовнішнього живлення на напрузі 10 кВ двома паралельними кабельними лініями (марки ААШв 3х120 довжиною 3,01 км), оскільки вона забезпечує мінімальні зведені витрати і гарантує безперебійність для споживачів I та II категорій надійності.

Розраховано баланс реактивної потужності й доведено необхідність встановлення автоматизованих конденсаторних батарей. Оптимальним визначено перший варіант конфігурації із розгортанням 7 цехових трансформаторів потужністю по 630 кВА (тип ТМ-630-10/0,4), що забезпечує нормативний коефіцієнт їх завантаження.

За методом іменованих одиниць виконано детермінацію параметрів короткого замикання у визначених розрахункових вузлах мережі (від високовольтних шин К1 до низьковольтних зборок К3). За отриманими величинами початкових та ударних струмів, а також теплового імпульсу здійснено вибір і перевірку високовольтних кабелів розподільної мережі, вакуумного ввідного вимикача типу ВР1-10-20/630 У1, вимикачів навантаження, запобіжників, а також

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

вимірювальних трансформаторів струму ТЛК-10 та напруги НАМИ-10. Всі апарати та кабелі пройшли перевірку на тривалий нагрів, динамічну та термічну стійкість.

Розроблено та обґрунтовано впровадження системи енергетичного моніторингу на базі стандарту ISO 50001:2018 для основного газоспоживаючого агрегату тунельної конвеєрної печі ПХС 25. Побудована багатofакторна регресійна модель споживання природного газу з коефіцієнтом детермінації. На основі розрахованого теплового балансу камери (умовний ККД склав 59,4%) запропоновано та технічно обґрунтовано комплекс енергозберігаючих заходів: встановлення рекуперативного теплообмінника для підігріву повітря горіння відхідними газами; монтаж додаткової теплоізоляції пекарної камери на базі PIR-плит товщиною 50 мм дає економію коштів; оптимізація коефіцієнта надлишку повітря пальників SPARKGAS 20P з 1,12 до 1,05.

Реалізація всіх заходів забезпечує сукупний річний економічний ефект 340,4 тис. грн/рік при капіталовкладеннях 910 тис. грн із терміном окупності інвестицій 2,7 року, а також суттєвий екологічний ефект у вигляді зниження викидів парникових газів на 83,9.

Розроблений проект повністю задовольняє вимогам нормативних документів (ПУЕ, ДСТУ) та забезпечує високу надійність, гнучкість, експлуатаційну безпеку й високу енергетичну та економічну ефективність функціонування хлібопекарського підприємства в умовах 2026 року.

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

Перелік посилань

1. Навчальний посібник для виконання кваліфікаційного проекту для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / Укл.: П.Г.Плешков, В.В.Зінзура, Н. Ю. Гарасьова, А. І. Котиш.— Кривий Ріг: ЦНТУ, 2021 -196с.
2. Кваліфікаційна робота бакалавра: метод. рекомен. до структури та оформлення випускної кваліфікаційної роботи для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня зі спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / [уклад. П. Г. Плешков та ін.]; Міністерство освіти і науки України, Центральноукраїн.нац.техн.ун-т.—Кривий Ріг: ЦНТУ, 2023.— 80 с.
3. Методичні вказівки до виконання дипломного проекту електропостачання промислових підприємств. Кіровоград: КНТУ, 2004.
4. Гвоздев О., Ялпачик Ф., Олексієнко В. Машина та обладнання хлібопекарського виробництва : підручник. Київ : Вища освіта, 2010. 307 с.
URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/199662156.pdf>.
5. Самойчук К. Технологічне обладнання хлібопекарської і макаронної галузі : навч. посіб. Київ : Профкнига, 2021. 372 с.
6. Дробот В. Довідник з технології хлібопекарського виробництва: довідник. Київ: Профкнига, 2019. 580 с.
7. Вузенський В. І., Підвищення ефективності виробництва хлібобулочних виробів у ТОВ «Чернівецький хлібокомбінат», Тернопіль, 2022
8. Мірошніченко, Д. В. Підвищення енергоефективності систем енергозабезпечення сільгосппідприємства: Магістерська дис.: НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського». Київ, 2022. 102 с
9. Печі хлібопекарського виробництва. Короткий опис. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://studfiles.net/preview/5193779/page:15/>
10. В. В. Струнін, Т. М. Філоненко, Вітчизняний ринок хлібобулочних виробів: Сучасний стан та перспективи розвитку, Ефективна економіка, 2014, №12, [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://dspace.nuft.edu.ua/jspui/handle/123456789/20728>

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		66