

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

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

“ ___ ” _____ 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ

на тему:

«Проектування електропостачання заводу молокопродуктів з розробкою енергозберігаючих заходів в системах вентиляції та кондиціонування.

Design of power supply for a dairy plant with the development of energy-saving measures in ventilation and air conditioning systems»

Виконав здобувач IV курсу групи ЕЕ-21
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
_____ Дмитро СЕРГІЄНКО
« ___ » _____ 2025 р.

Керівник роботи
асистент
_____ Світлана ДУБЕНКО

« ___ » _____ 2025 р.

Рецензент

м. Кропивницький

Міністерство освіти і науки України
Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет будівництва, транспорту та енергетики

Кафедра електротехнічних систем та енергетичного менеджменту

Освітній ступінь бакалавр

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітньо-професійна програма Електротехнічні системи електроспоживання

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

_____ *Петро ПЛЄШКОВ*

«_____» _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

_____ *Сергієнка Дмитра Олександровича*

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи (проекту) *Проектування електропостачання заводу
молокопродуктів з розробкою енергозберігаючих заходів в системах
вентиляції та кондиціонування*

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

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

3. Строк подання студентом роботи до захисту *02.06.2025 р.*

4. Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи (проекту) _____
*Вступ; Розрахунок електричних навантажень; Картограма електричних
навантажень заводу молокопродуктів та місце розташування центрального
розподільного пункту; Вибір напруги і схем зовнішнього та внутрішнього
електропостачання підприємства молокопродуктів; Компенсація реактивної
потужності; Вибір кількості та потужності трансформаторів підприємства;
Розрахунок струмів коротких замкнень та вибір високовольтного обладнання і
високовольтних мереж системи електропостачання; Розробка
енергозберігаючих заходів в системах вентиляції та кондиціонування; Висновки*

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Вступ</i>	5.05.25	
2	<i>Розрахунок електричних навантажень</i>	9.05.25	
3	<i>Картограма електричних навантажень заводу молокопродуктів та місце розташування центрального розподільного пункту</i>	14.05.25	
4	<i>Вибір напруги і схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання підприємства молокопродуктів</i>	16.05.25	
5	<i>Компенсація реактивної потужності</i>	19.05.25	
6	<i>Вибір кількості та потужності трансформаторів підприємства</i>	22.05.25	
7	<i>Розрахунок струмів коротких замкнень та вибір високовольтного обладнання і високовольтних мереж системи електропостачання</i>	25.05.25	
8	<i>Розробка енергозберігаючих заходів в системах вентиляції та кондиціонування</i>	27.05.25	
9	<i>Висновки</i>	30.05.25	
10	<i>Оформлення пояснювальної записки ВКР</i>	01.06.25	
11	<i>Оформлення презентаційної частини ВКР</i>	02.06.25	

Дата видачі завдання

« ___ » _____ 2025р.

Підпис керівника _____

Завдання прийнято до виконання

« ___ » _____ 2025 р.

Підпис здобувача _____

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: 103 с.; 17 рис.; 18 табл.; 11 джерел.

Сергієнко Д.О. Проектування електропостачання заводу молокопродуктів з розробкою енергозберігаючих заходів в системах вентиляції та кондиціонування – Рукопис.

Кваліфікаційна робота за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», ОПП «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». – Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, 2025 рік.

У кваліфікаційній роботі здійснено проектування електропостачальної системи для підприємства з виробництва молочної продукції. З метою реалізації поставленого завдання виконано повний спектр техніко-економічних обчислень, включаючи розрахунок споживання електроенергії, вивчення режимів роботи реактивної потужності та аналіз струмів короткого замикання. Розглянуто та обґрунтовано вибір конфігурацій зовнішнього і внутрішнього електрозабезпечення заводу. Проведено вибір технічних засобів, серед яких — трансформаторні підстанції, установки з компенсації реактивної енергії, кабелі та елементи високовольтного устаткування.

У спеціальному розділі роботи розглянуто способи підвищення енергетичної ефективності систем вентиляції й кондиціонування повітря. Основна увага зосереджена на використанні обладнання з мінімальним споживанням електроенергії та застосуванні технологій регулювання обертів вентиляторів. Серед таких методів — перемикання швидкісних режимів, зміна параметрів живлення, а також впровадження автоматизованого керування за допомогою електронних пристроїв, зокрема ЕС - двигунів.

Ключові слова: електричні навантаження, трансформаторна підстанція, реактивна потужність, струми короткого замикання, електричне обладнання, вентиляційні установки, тиристорний перетворювач.

ABSTRACT

Qualification work: 103 p.; 17 fig.; 18 tables; 11 sources.

Serhiienko D.O. Design of power supply of a dairy plant with the development of energy-saving measures in ventilation and air conditioning systems – Manuscript.

Qualification work in specialty 141 “Electrical power engineering, electrical engineering and electromechanics”, OPP “Electrical power engineering, electrical engineering and electromechanics”. – Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, 2025.

In the qualification work, the design of a power supply system for a dairy production enterprise was carried out. In order to implement the task, a full range of technical and economic calculations was performed, including the calculation of electricity consumption, the study of reactive power operating modes and the analysis of short-circuit currents. The choice of configurations of the plant’s external and internal power supply was considered and justified. A selection of technical means was made, including transformer substations, reactive power compensation units, cables and elements of high-voltage equipment.

A special section of the work considers ways to increase the energy efficiency of ventilation and air conditioning systems. The main attention is focused on the use of equipment with minimal electricity consumption and the application of fan speed control technologies. Among such methods are switching speed modes, changing power supply parameters, and the introduction of automated control using electronic devices, in particular EC motors.

Keywords: electrical loads, transformer substation, reactive power, short-circuit currents, electrical equipment, ventilation units, thyristor converter.

ЗМІСТ

	ВСТУП	8
1	РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ	10
1.1.	Розрахунок силових електричних навантажень в електричних мережах до 1000 В.	10
1.2.	Розрахунок освітлювального навантаження	13
1.3.	Розрахунок електричних навантажень в мережі з напругою вище 1000 В	20
1.4.	Побудова графіків електричних навантажень заводу молокопродуктів	26
2	КАРТОГРАМА ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ЗАВОДУ МОЛОКОПРОДУКТІВ ТА МІСЦЕ РОЗТАШУВАННЯ ЦЕНТРАЛЬНОГО РОЗПОДІЛЬНОГО ПУНКТУ	33
3	ВИБІР НАПРУГИ І СХЕМ ЗОВНІШНЬОГО ТА ВНУТРІШНЬОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВА МОЛОКОПРОДУКТІВ	36
3.1.	Розрахунок зовнішнього електропостачання	37
3.2.	Розрахунок внутрішнього електропостачання	40
4	КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ	43
4.1.	Розрахунок балансу реактивної потужності та вибір пристроїв для її компенсації	43
4.2.	Вибір кількості, потужності і місця розташування пристроїв компенсації	43
5	ВИБІР КІЛЬКОСТІ ТА ПОТУЖНОСТІ ТРАНСФОРМАТОРІВ ПІДПРИЄМСТВА	47
5.1.	Вибір місця розташування цехових трансформаторних підстанцій	47

						КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА		
Розроб	Сергієнко Д					Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевірив	Дубенко С.							
Н.контр.						<i>ЦНТУ, зр.ЕЕ-21</i>		
Затв.								

Проектування електропостачання заводу молокопродуктів з розробкою енергозберігаючих заходів в системах вентиляції та кондиціонування.

5.2.	Вибір кількості та потужності трансформаторів	48
6	РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКИХ ЗАМКНЕНЬ ТА ВИБІР ВИСОКОВОЛЬТНОГО ОБЛАДНАННЯ І ВИСОКОВОЛЬТНИХ МЕРЕЖ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ	51
6.1.	Розрахунок струмів короткого замикання	51
6.2.	Вибір кабелів напругою 10 кВ для високовольтної мережі заводу	55
6.3.	Вибір електричних апаратів високої напруги	56
7	РОЗРОБКА ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ЗАХОДІВ В СИСТЕМАХ ВЕНТИЛЯЦІЇ ТА КОНДИЦІОНУВАННЯ	59
7.1.	Види вентиляційних систем для молокозаводу	59
7.2.	Вибір продуктивності вентиляції	67
7.3.	Енергозберігаючі технології в системах вентиляції приміщень	69
7.4.	Енергоефективне використання кондиціонерів	93
	ВИСНОВКИ	98
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	100
	Додаток А	102

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

ВСТУП

Молокопереробні підприємства розташовані по всій території України завдяки наявності достатньої сировинної бази. В умовах конкуренції, поряд із модернізацією виробництва, впровадженням європейських стандартів якості та розробкою нової продукції, ключовими стали питання скорочення собівартості. Особливу увагу приділяють скороченню витрат на паливо, електроенергію та воду, а також підвищенню ефективності очищення стічних комунікацій. Головним завданням на сьогодні є масштабна реконструкція виробничих процесів із застосуванням сучасних технологій, які забезпечують значну економію енергоресурсів.

Постачання електроенергії виконується через мережі енергокомпаній, тоді як тепло зазвичай виробляється на власних котельнях молокопереробних підприємств. Відсутність реальної конкуренції серед генеруючих компаній знижує зацікавленість у зниженні витрат на виробництво електроенергії. Енергопостачальні компанії, що фактично стали монополістами, постійно підвищують ціни на енергоносії, що негативно впливає на собівартість продукції.

Молочна промисловість відзначається одночасним споживанням електричної та теплової енергії, при цьому близько 60% електроенергії використовується для виробництва холоду. Обсяг енергоспоживання на одиницю переробленого молока значно варіюється в залежності від асортименту продукції, рівня завантаженості виробництва та технічного стану устаткування. В Україні витрати на енергоресурси у структурі собівартості молочної продукції досягають 10%, тоді як у країнах ЄС цей показник становить біля 0,8–2%. Для істотного зниження енергоємності та собівартості виробництва потрібно впроваджувати альтернативні, більш ефективні методи енергозабезпечення.

Розробка електропостачальної системи молокопереробного підприємства здійснюється відповідно до норм проектування і включає

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

визначення навантажень, як силових, так і освітлювальних. Проводиться побудова графіків активної, реактивної та повної потужності, а також техніко-економічне зіставлення можливих варіантів внутрішнього та зовнішнього електрозабезпечення. Виконується розрахунок необхідної компенсації реактивної потужності, що передбачає вибір оптимальної кількості трансформаторних підстанцій у цехах.

Також обирається високовольтне обладнання головного або центрального розподільного пункту, зокрема вимикачі, трансформатори напруги та струму, пристрої для споживання власних потреб, а також роз'єднувачі та розрядники. Окрім цього, розраховуються параметри високовольтних кабельних ліній на основі аналізу та розрахунків струмів короткого замикання.

При розрахунках враховуються параметри електроприймачів, їх орієнтовне розташування, а також можливі схеми підключення підприємства до зовнішніх джерел енергоживлення. Отримані дані визначають подальший напрямок проектування та функціонування електропостачальної системи.

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

1 РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Молочна галузь відіграє ключову роль у постачанні продуктів харчування населенню. Тому оновлення, реконструкція та оснащення сучасним обладнанням підприємств цієї сфери є важливими для її розвитку.

Обладнання для молокопереробних заводів має відповідати міжнародним стандартам, забезпечуючи всі етапи – від приймання та обробки молока до його переробки, зберігання та випуску готової продукції.

Виробничий процес включає кілька стадій:

- приймання, очищення та зважування свіжого молока;
- сепарування, гомогенізацію, пастеризацію;
- отримання вершків та виробництво сметани;
- внесення заквасок і виготовлення кисломолочної продукції;
- виробництво сирних виробів, зокрема плавлених і м'яких сирів, сирних паст;
- фасування й пакування готової продукції.

Для стабільної роботи кожного етапу потрібне різноманітне устаткування: фільтрувальні системи, установки швидкого охолодження, ванни та ванни-преси, пристрої для гомогенізації, пастеризатори, сепаратори, прилади для обліку молока, пакувальні лінії, лабораторне обладнання тощо.

1.1. Розрахунок силових електричних навантажень в електричних мережах до 1000 В.

Розрахунок силових електричних навантажень у мережах напругою до 1000 В здійснюється відповідно до методики, викладеної в [3].

Метод впорядкованих діаграм є підходом до визначення електричних навантажень, що ґрунтується на статистичному аналізі використання електрообладнання в конкретному приміщенні чи системі.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис			10

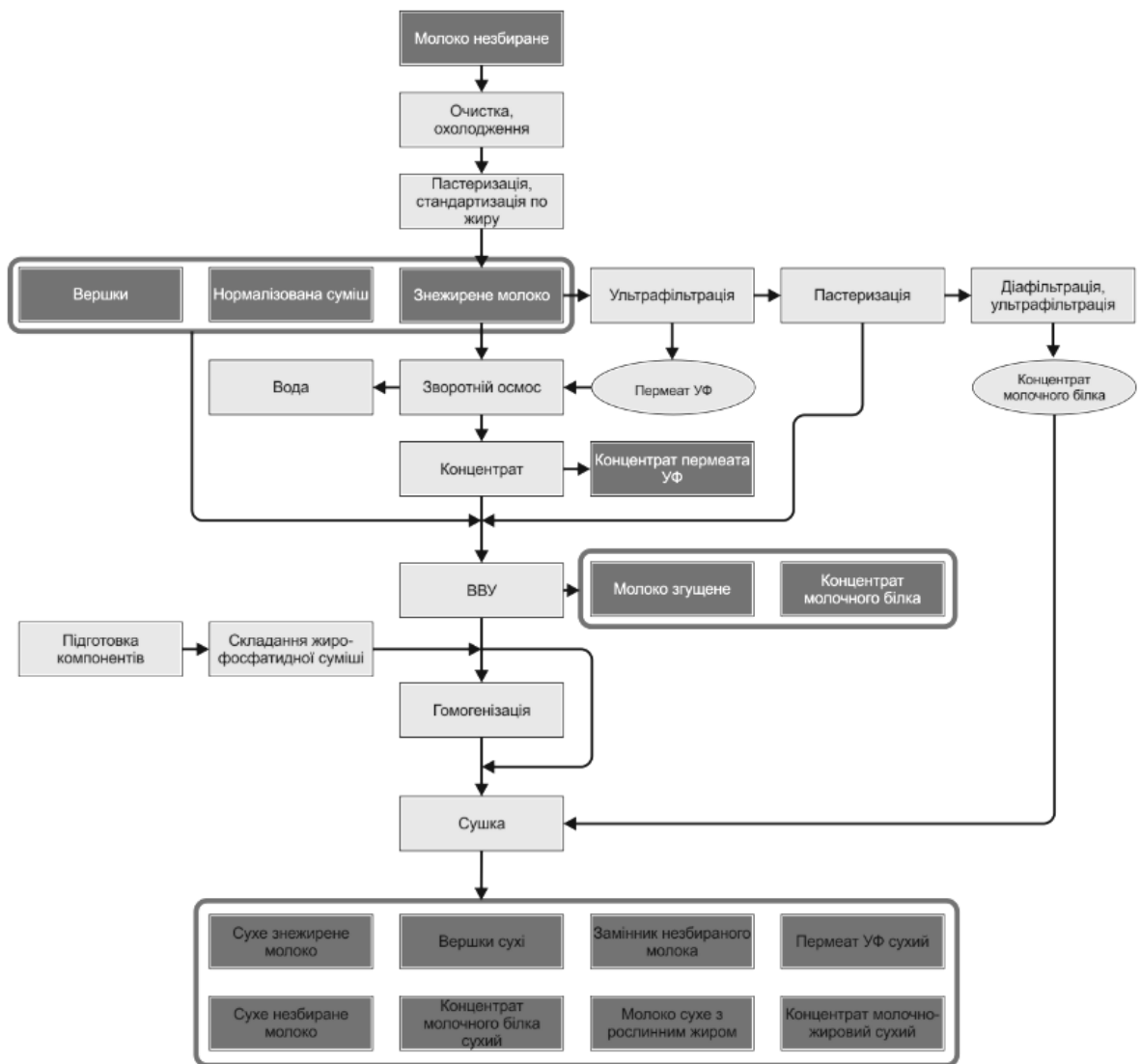


Рисунок 1.1 – Блок-схема етапів переробки молока

Основний принцип методу полягає у впорядкуванні електроустаткування відповідно до їхньої передбачуваної тривалості роботи та використанні цієї інформації для визначення сумарного навантаження.

Формула для обчислення електричного навантаження за цим методом може мати такий вигляд:

$$P_{\text{заг}} = P_{\text{макс}} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{T_i}{T_{\text{повн}}}$$

де:

$P_{\text{заг}}$ - сумарна потужність навантаження;

$P_{\text{макс}}$ - максимальна потужність i -го споживача;

T_i - час роботи i -го пристрою в межах заданого періоду (в годинах);

$T_{\text{повн}}$ - загальна тривалість розрахункового періоду (в годинах);

n - кількість електроспоживачів.

Альтернативний спосіб визначення розрахункового навантаження:

$$P_p = P_{\text{зм}} \cdot k_{\text{мах}},$$

де $P_{\text{зм}}$ – середньозмінне активне навантаження групи електроприймачів або вузла в найбільш завантажену зміну;

$k_{\text{мах}}$ – коеф-т максимуму:

Розрахункове активне навантаження декількох або групи електроспоживачів обчислюється за виразом [3]:

$$P_p = P_{\text{зм}} \cdot k_{\text{мах}},$$

де $P_{\text{см}}$ – значення середньозмінного активного навантаження декількох або групи електроприймачів за максимально навантажену зміну;

$k_{\text{мах}}$ – коеф-т максимуму навантаження.

$k_{\text{в}}$ – коеф-т використання:

$$k_{\text{в}} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{\text{с.зм}}}{\sum_{i=1}^n P_{\text{ном}}},$$

$P_{\text{с.зм}}$, $P_{\text{ном}}$ – значення середньозмінного навантаження та встановлена потужність електроспоживачів за аналогічним режимом роботи;

n – число груп електроспоживачів із різними режимами роботи.

Ефективне число $n_{\text{еф}}$ електроспоживачів у групі навантаження обчислюється відповідно від величини $k_{\text{в}}$ та відповідно відношення [3].

Значення розрахункового реактивного навантаження групи електроспоживачів чи вузла визначається наступним чином:

При $n_{\text{еф}} \leq 10$,

$$Q_p = 1,1 \cdot Q_{\text{зм}}$$

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис		12

$$n_{\text{эф}} > 10: Q_p = Q_{\text{зм}}$$

де $Q_{\text{зм}}$ – середнє значення реактивного навантаження за максимально навантаженою зміну.

де $Q_{\text{см}}$ – середнє значення реактивного навантаження за максимально навантаженою зміну

$$Q_{\text{см}} = P_{\text{см}} \cdot \text{tg}\varphi$$

Розрахункова величина максимуму повного навантаження:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} .$$

Розрахунок силового навантаження по підрозділам молокозаводу в мережі до 1000 В наведені в таблиці 1.1.

1.2. Розрахунок освітлювального навантаження

Розрахунок освітлювальних навантажень при проектуванні електропостачання молокопереробного підприємства виконується з урахуванням типу освітлення, потужності світильників, площі приміщень та питомих норм освітленості. Основні етапи розрахунку наступні:

1. Визначення потрібної освітленості.

Визначається необхідний рівень освітленості відповідно до діючих норм (ДБН, СНіП або інші регламентуючі документи). Освітленість відповідає типу приміщення, характеру робіт та вимог до зорового комфорту.

2. Вибір типу освітлювальних приладів.

Застосовуються світильники з відповідним світловим потоком, джерелами світла (світлодіодні, люмінесцентні, газорозрядні та ін.) та схемою їх розміщення.

3. Визначення загальної встановленої потужності освітлення.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис			13

Таблиця 1.1. Визначення електричних навантажень до 1000 В.

№ п/п	Найменування обладнання	п	Рн, кВт		Ки	Cos	tg	Середнє		№	Км	Розрахункове		
			Одного	Сумарна				Рср	Qср			Рр	Qр	Sp
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	<u>Молокоприймальне відділення</u>													
1.	Резервуари-охолоджувачі	10	4,5-10	160	0,8	0,9	1,7	128	217,6					
2.	Ваги	10	5	50	0,4	0,7	1,02	20	20,40408					
3.	Кран	8	10,5-40	315	0,35	0,65	1,17	110,25	128,8965					
4.	Автоматичні лінії з лічильниками	2	11,5-20	31,5	0,4	0,8	0,75	12,6	9,45					
	Всього по відділенню	30	4,5-40	556,5	0,65	0,8	0,75	361,725	271,2938	17	1,24	448,5	271,3	524,20
	<u>Пастеризаторна</u>													
1.	Пастеризатор	10	12.	120	0,7	0,81	0,7	84	60,81495					
2.	Вентилятори	5	2,0-10	30	0,5	0,7	1,0	15	15,30306					
3.	Інше обладнання	18	1,0-15	180	0,2	0,7	1,0	36	36,72735					
	Всього по пастеризаторній	33	1,0-15	330	0,42	0,77	0,8	135	112,8454	40	1,23	166,05	112,8	200,77
	<u>Мийне відділення</u>													
1.	СІР-мийка	3	2	6	0,8	0,9	0,5	4,8	2,32					
2.	Водонагрівачі	2	8	16	0,7	0,7	1,0	11,2	11,43					
3.	Насоси	3	1,0-10	11	0,5	0,7	1,0	5,5	5,61					
	Всього по мийному відділенню	8	1,0-15	33	0,65	0,74	0,9	21,5	19,36	11	1,6	34,40	19,36	39,47
	<u>Офіс адміністрації</u>													
1.	Кондиціонери	20	10,0-50,0	350	0,4	0,7	1,02	140	142,83					
2.	Вентилятори	40	1,0-20	75	0,4	0,65	1,17	30	35,07					
3.	Інше обладнання	18	5,0-40	92	0,25	0,7	1,02	23	23,46					
	Всього по офісу	78	1,0-50	517	0,37	0,69	1,04	193	201,37	51	1,24	239,32	201,37	312,77
	<u>Цех вафель</u>													
1.	Печі для випічки стаканчиків	10	2,0-12	210	0,8	0,75	0,88	168	148,16					
2.	Печі виірчки ріжків	5	7,0-15	150	0,8	0,8	0,75	120	90,00					
3.	Автоматична лінія	2	7,0-20	27	0,7	0,7	1,02	18,9	19,28					
4.	Автомат горизонтального пакув	4	5	20	0,5	0,7	1,02	10	10,20					

Продовження таблиці 1.1.

	Всього по цеху	21	2,0-20	407	0,78	0,76	0,84	316,9	267,65	15	1,28	405,6	267,6	485,97
	<u>Цех морозива</u>													
1	Автомати фасовочні	3	90	360	0,25	0,7	1,02	90	91,82					
2	Лінія морозива на паличці	2	50	100	0,5	1	0,00	50	0,00					
3	Вакуумні установки	10	1,0-10	66	0,2	0,7	1,02	13,2	13,47					
4	Екструзійна машина	2	15-40	55	0,5	0,9	1,01	4	5,30					
	Всього по цеху	17	1,0-15	581	1,45	0,8	3,05	157,2	110,59	11	1,55	243,66	110,59	267,58
	<u>Відвантажувальна</u>													
1	Кран	2	10.-40	50	0,50	0,70	1,02	25	25,51					
2	Кондиціонери	4	1,0-10	20	0,20	0,70	0,84	4	3,38					
	Всього по відвантажувальній	6	1,0-40	70	0,41	0,71	1,00	29	28,88	5	1,25	36,25	28,9	46,35
	<u>Майстерня</u>													
1	Токарні верстати	5	2,0-15	49	0,40	0,72	0,96	19,6	18,89					
2	Фрезерні верстати	5	1,0-22	52	0,25	0,65	1,17	13	15,20					
3	Крани	1	20	20	0,40	0,65	1,17	8	9,35					
4	Насоси	2	10	20	0,50	0,68	1,08	10	10,78					
5	Вентилятори	2	10.	20	0,60	0,75	0,88	12	10,58					
	Всього по майстерні	15	1,0-22	161	0,39	0,69	1,04	62,6	64,81	18	1,25	78,3	64,8	101,60
	<u>Вакуум-вигарювальне відділення</u>													
1.	Компресори	8	4,5-80	550	0,35	0,55	1,7	192,5	327,25					
3.	Преси	10	10.-40	300	0,2	0,7	1,02	60	61,21					
4.	Автоматичні лінії, конвеєри	2	10.-40	50	0,8	0,75	0,88	40	35,28					
5.	Вакуумне устаткування	6	11.-80	220	0,55	0,65	1,17	121	141,46					
6.	Вентилятори	12	15	180	0,55	0,8	0,75	99	74,25					
7.	Нагрівачі	10	20	160	0,35	0,7	1,02	56	57,13					
8.	Крани	10	20	200	0,25	0,7	1,02	50	51,01					
	Всього по відділенню	58	4,5-80	1660	0,373	0,64	1,21	618,5	747,60	37	1,05	649	748	990,28
	<u>Цех розливу та фасування</u>													
1	Лінія розливу пляшок ПЕТ	15	2,0-15	220	0,6	0,75	0,88	132	116,41					
2	Автомат фасувальний вершковс	20	1,0-22	230	0,3	0,8	0,75	69	51,75					

Загальну потужність освітлення визначають за формулою:

$$P_{\text{осв}} = \frac{E \cdot S \cdot k_{\text{зап}}}{\eta}$$

де:

$P_{\text{осв}}$ – встановлена потужність освітлення (Вт),

E – нормативна освітленість даного приміщення (лк),

S – площа даного приміщення (м^2),

$k_{\text{зап}}$ – коефіцієнт запасу (1,1–1,5),

η – світлова віддача світильників (лм/Вт).

4. Визначення коефіцієнта попиту.

Фактичне навантаження розраховується з урахуванням коефіцієнта попиту k_n , який враховує одночасність роботи всіх світильників. Тоді розрахункове навантаження буде:

$$P_p = P_{\text{осв}} \cdot k_n$$

k_n зазвичай приймається в межах 0,8–0,9.

5. Визначення реактивної складової навантаження.

Оскільки газорозрядні лампи і люмінесцентні світильники мають реактивну складову, визначається реактивна потужність:

$$Q_{\text{осв}} = P_{\text{осв}} \cdot \tan \varphi$$

де $\tan \varphi$ залежить від типу джерел світла (для люмінесцентних ламп він становить 0,5–0,7).

Розрахунок освітлювальних навантажень виконаний за питомою потужністю освітлювального навантаження. Результати представлені в табл. 1.2.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис			18

Таблиця 1.2. Розрахунок освітлювального навантаження.

№ п/п	Найменування підрозділу	F, м ²	P ₀ , кВт/м	P _y , кВт	tg	Q _y , кВар	K _c	P _p , кВт	Q _p , кВт	S _p , кВа
1	Молокоприймальне відділення	7845	23	180,4	0,7	126,3	0,8	144,348	101,0436	176,20
2	Пастеризаторна	7254	12	87,0	0,7	60,9	0,9	78,3432	54,84024	95,63
3	Мийне відділення	2536	18	45,6	0,8	36,5	0,9	41,0832	32,86656	52,61
4	Офіс адміністрації	9213	22	202,7	0,7	141,9	0,9	182,4174	127,6922	222,67
5	Цех вафель	5678	18	102,2	0,84	85,9	0,9	91,9836	77,26622	120,13
6	Цехморозива	5948	20	119,0	0,7	83,3	0,8	95,168	66,6176	116,17
7	Відвантажувальна	6578	19	125,0	0,7	87,5	0,9	112,4838	78,73866	137,30
8	Майстерня	4112	15	61,7	0,7	43,2	0,9	55,512	38,8584	67,76
9	Вакуум-випарювальне відділення	4514	20	90,3	0,8	72,2	0,8	72,224	57,7792	92,49
10	Цех розливу та фасування	3212	25	80,3	0,79	63,4	0,9	72,27	57,0933	92,10
11	Сепараторна	7958	21	167,1	0,7	117,0	0,8	133,6944	93,58608	163,19
12	Цех виробництва незб-мол продукту	9652	18	173,7	0,8	139,0	0,9	156,3624	125,0899	200,24
13	Цех виробництва масла	9311	21	195,5	0,8	156,4	0,8	156,4248	125,1398	200,32
14	Камера дозрівання сиру	2592	23	59,6	0,8	47,7	0,8	47,6928	38,15424	61,08
15	Лабораторія	4860	25	121,5	0,8	97,2	0,9	109,35	87,48	140,04
16	Склад	1578	12	18,9	0,7	13,3	0,9	17,0424	11,92968	20,80
17	Кафе	2365	20	47,3	0,7	33,1	0,8	37,84	26,488	46,19
18	Цех відновлення сухого молока	4895	21	102,8	0,8	82,2	0,8	82,236	65,7888	105,31
19	Склад тари та автоцистерн	3657	15	54,9	0,8	43,9	0,8	43,884	35,1072	56,20
20	Сироварне відділення	6547	22	144,0	0,8	115,2	0,9	129,6306	103,7045	166,01
21	Освітлення території заводу	87797	0,3	26,3	0,8	21,1	0,9	23,70519	18,96415	30,36
		198102		2206,0		1667,2		1883,7	1424,2	2361,511

1.3. Розрахунок електричних навантажень в мережі з напругою вище 1000 В

При визначенні навантажень в мережах напругою понад 1000 В основними розрахунковими точками виступають шини напругою 10 кВ. Тому на початку потрібно встановити кількість трансформаторних підстанцій (ТП), їх потужність і місце розташування на території підприємства.

Для цього використовують картограму навантажень, яка дозволяє визначити необхідну кількість і характеристики трансформаторів, а також оптимальні місця їх встановлення. На основі цієї схеми розробляють плани електропостачання підрозділів. Якщо монтаж власних ТП недоцільний, електроживлення може відбуватися від трансформаторних підстанцій сусідніх об'єктів при напрузі 0,4 кВ, за умови, що рівень напруги на електроприймачах залишається в припустимих межах.

Розрахунок навантажень у високовольтних мережах передбачає наступні етапи:

1. Додавання номінальних потужностей усіх електроспоживачів, що працюють від розподільного пункту (РП) або трансформаторної підстанції (ТП).
2. Оцінка середніх навантажень та групового коефіцієнта використання.
3. Розрахунок ефективної кількості електроспоживачів, коефіцієнта максимуму та визначення потрібного навантаження.
4. Додавання споживаної потужності освітлювальних систем.
5. Врахування втрат енергії у силових трансформаторах.

Втрати в трансформаторах можна рахувати за формулами:

$$\Delta P = n \cdot (\Delta P_X + \Delta P_K \cdot K_3^2)$$

$$\Delta Q = n \cdot \left(\frac{I_X}{100} \cdot S_H + \frac{U_K}{100} \cdot S_H \cdot K_3^2 \right)$$

де n – число силових трансформаторів:

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис		20

$\Delta P_x, \Delta P_k$ – втрати потужності хх та кз, кВт;

S_H – ном. потужність тр-ра, кВА;

I_x – струм х х, %; U_k – напруга короткого замикання, %:

K_3 – коеф-т завантаження тр-ра;

6. Додаються усі середні та розрахункові силові навантаження, освітлювальні навантаження і втрати в трансформаторах для ТП (РП).

Результати розрахунку навантажень вище 1000 В представлені в таблиці 1.3.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис			21

Таблиця 1.3. Визначення електричних навантажень в мережі вище 1000 В.

№ п/п	Найменування обладнання	п	Рн, кВт		Ки	Cos	tg	Середнє		пс	Км	Розрахункове			
			Одного	Сумарна				Рср	Qср			Рр	Qр	Sp	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
	ТП 1														
	<u>Цех виробництва незбираномолочних продуктів</u>														
	Силове	29	1,0-160	716	0,6	0,7	0,81	355,75	300,0174	9	1,2	426,9	300,0		
	Освітлювальне											156,36	125,1		
	Всього по цеху											583,3	425,1	721,75	
	<u>Сепараторна</u>														
	Силове	38	1,0-22	545	0,56	0,67	1,1	307	338,1	40	1,12	343,8	338,1		
	Освітлювальне											133,69	96,6		
	Всього по цеху											477,5	434,7	645,75	
	<u>Пастеризаторна</u>														
	Силове	33	1,0-15	330	0,42	0,77	0,8	135	112,85	40	1,23	166,1	112,8		
	Освітлювальне											78,34	54,8		
	Всього по цеху											244,4	167,6	296,34	
	<u>Молокоприймальне відділення</u>														
	Силове	30	4,5-40	556,5	0,65	0,8	0,75	361,725	271,2938	17	1,24	448,5	271,3		
	Освітлювальне											144,35	101,04		
	Всього по цеху											592,9	372,3	700,11	
	<u>Камера дозрівання сиру</u>														
	Силове	13	1,0-2,0	20	0,38	0,81	0,74	7,6	5,590	10	1,35	10,26	5,6	11,68	
	Освітлювальне											47,7	38,2		
	Всього по лабораторії											58,0	43,7	72,61	
	Всього по ТП 1														
	Силове	143	1,0-160	2168	0,54	0,75	0,88	1167,1	1027,9	48	1,05	1225,4	1027,9		
	Освітлювальне											560,4	415,7		
	Всього по ТП 1,2,3,4											1785,9	1443,5	2296,33	

1.4. Побудова графіків електричних навантажень заводу молокопродуктів

Побудова графіків навантаження заводу молокопродуктів дає змогу детально проаналізувати особливості споживання електроенергії, що є ключовим етапом у раціональному керуванні електричними мережами.

Процес створення таких графіків навантаження передбачає кілька кроків:

1. Збір інформації про використання електроенергії за певний часовий проміжок. Це можуть бути показники лічильників за добу, тиждень, місяць або рік, залежно від цілей дослідження.

2. Оцінка навантаження, під час якої аналізуються середні та пікові значення електроспоживання. Визначаються моменти максимального та найменшого навантаження.

3. Формування таблиці, в якій відображаються дані про значення навантаження у визначені часові проміжки.

4. Графічне відображення отриманої інформації: на горизонтальній осі відкладаються годинні інтервали (години, дні, місяці), а на вертикальній – споживана потужність (кВт, МВт тощо).

5. Дослідження основних характеристик графіка навантажень, включаючи максимальні навантаження, їх тривалість, а також періоди спадання. Це допомагає оцінити роботу електромережі та виявити імовірні проблеми.

6. Прийняття рішень на основі аналізу графіків: можливе коригування режимів роботи обладнання, застосування заходів для зменшення навантаження в пікові години та підвищення ефективності використання електроенергії.

На основі добових графіків активного і реактивного навантаження будуємо річний графік по тривалості активної і реактивної потужності.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис			26

Таблиця 1.4 – Погодинні величини потужностей для побудови графіків навантаження

№	Робочі дні		Вихідні дні	
	P, %	Q, %	P, %	Q, %
1	50,0	50,0	25,0	35,0
2	50,0	50,0	25,0	35,0
3	50,0	50,0	25,0	35,0
4	55,0	50,0	25,0	35,0
5	90,0	90,0	25,0	35,0
6	95,0	95,0	25,0	35,0
7	80,0	75,0	25,0	35,0
8	70,0	75,0	15,0	25,0
9	75,0	75,0	15,0	25,0
10	65,0	65,0	15,0	25,0
11	60,0	65,0	15,0	25,0
12	70,0	75,0	15,0	25,0
13	75,0	75,0	15,0	25,0
14	80,0	80,0	15,0	25,0
15	90,0	95,0	15,0	25,0
16	95,0	95,0	15,0	25,0
17	100,0	100,0	15,0	25,0
18	95,0	95,0	25,0	35,0
19	85,0	80,0	25,0	35,0
20	75,0	80,0	25,0	35,0
21	50,0	45,0	25,0	35,0
22	45,0	45,0	25,0	35,0
23	45,0	45,0	25,0	35,0
24	45,0	45,0	25,0	35,0

Таблиця 1.5 - Дані для побудови графіків навантаження

№	Зимові дні						Літні дні					
	Робочі дні			Вихідні дні			Робочі дні			Вихідні дні		
	$P_{jз}$, кВт	$Q_{jз}$	$S_{jз}$, кВА	$P_{jз}$, кВт	$Q_{jз}$	$S_{jз}$, кВА	$P_{jл}$, кВт	$Q_{jл}$	$S_{jл}$, кВА	$P_{jл}$, кВт	$Q_{jл}$	$S_{jл}$
1	4926	2740	5637	2463	1918	3122	4187	2329	4791	2093	1630	2653
2	4826	2740	5637	2463	1918	3122	4187	2329	4791	2093	1630	2653
3	4926	2740	5637	2463	1918	3122	4187	2329	4791	2093	1630	2653
4	5418	2740	6071	2463	1918	3122	4605	2329	5160	2093	1630	2653
5	8866	4932	10145	2463	1918	3122	7536	4193	8624	2093	1630	2653
6	9358	5206	10709	2463	1918	3122	7955	4426	9103	2093	1630	2653
7	7881	4110	8888	2463	1918	3122	6699	3494	7555	2093	1630	2653
8	6896	4110	8028	1478	1370	2015	5861	3494	6823	1256	1165	1713
9	7388	4110	8454	1478	1370	2015	6280	3494	7187	1256	1165	1713
10	6403	3562	7327	1478	1370	2015	5443	3028	6229	1256	1165	1713
11	5911	3562	6901	1478	1370	2015	5024	3028	5866	1256	1165	1713
12	6896	4110	8028	1478	1370	2015	5861	3494	6823	1256	1165	1713
13	7388	4110	8454	1478	1370	2015	6280	3494	7187	1256	1165	1713
14	7881	4384	9018	1478	1370	2015	6699	3727	7666	1256	1165	1713
15	8866	5206	10281	1478	1370	2015	7536	4426	8740	1256	1165	1713
16	9358	5206	10709	1478	1370	2015	7955	4426	9103	1256	1165	1713
17	9851	5480	11273	1478	1370	2015	8373	4658	9581	1256	1165	1713
18	9358	5206	10709	2463	1918	3122	7955	4426	9103	2093	1630	2653
18	8373	4384	9451	2463	1918	3122	7117	3727	8034	2093	1630	2653
20	7388	4384	8591	2463	1918	3122	6280	3727	7303	2093	1630	2653
21	4926	2466	5509	2463	1918	3122	4187	2096	4682	2093	1630	2653
22	4433	2466	5073	2463	1918	3122	3768	2096	4312	2093	1630	2653
23	4433	2466	5073	2463	1918	3122	3768	2096	4312	2093	1630	2653
24	4433	2466	5073	2463	1918	3122	3768	2096	4312	2093	1630	2653

На основі табличних даних та за допомогою програми будуюмо добові і річний графіки навантажень.

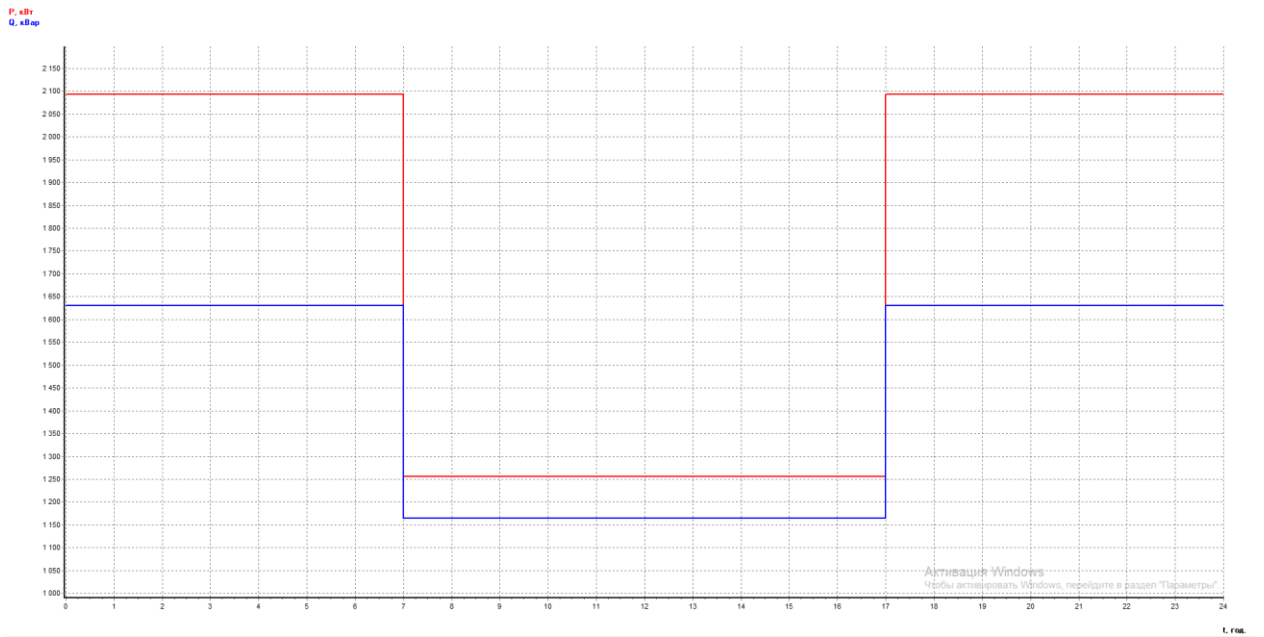


Рисунок 1.4 - Добові графіки літнього вихідного дня

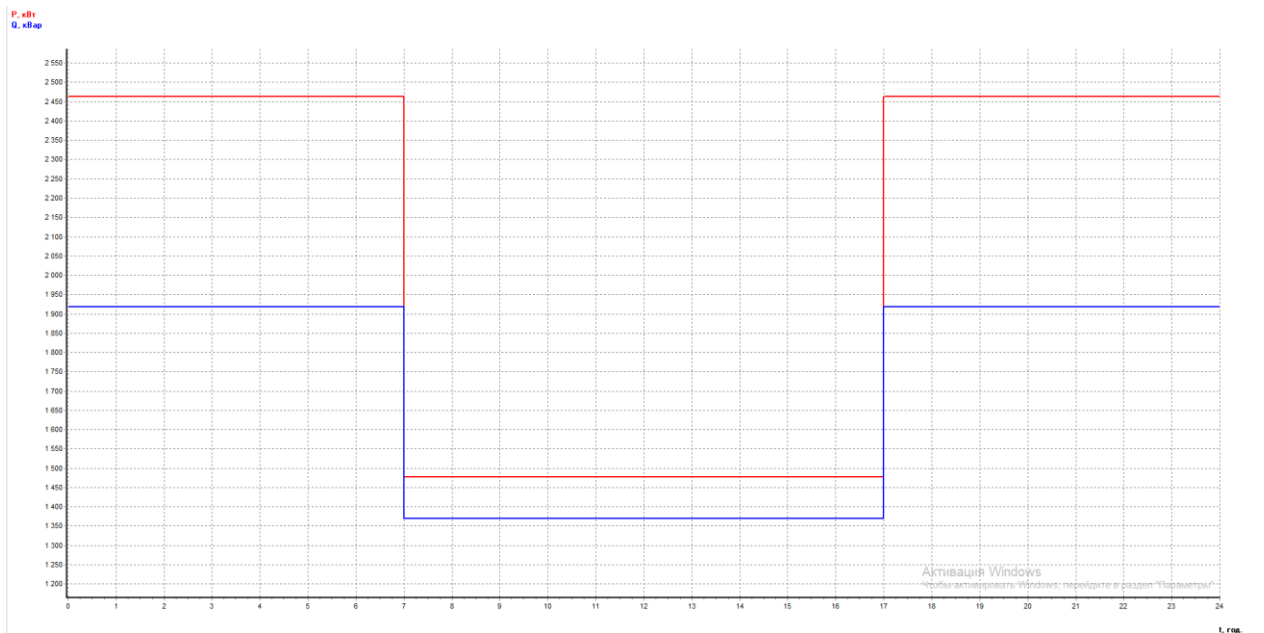


Рисунок 1.5 - Добові графіки зимового вихідного дня

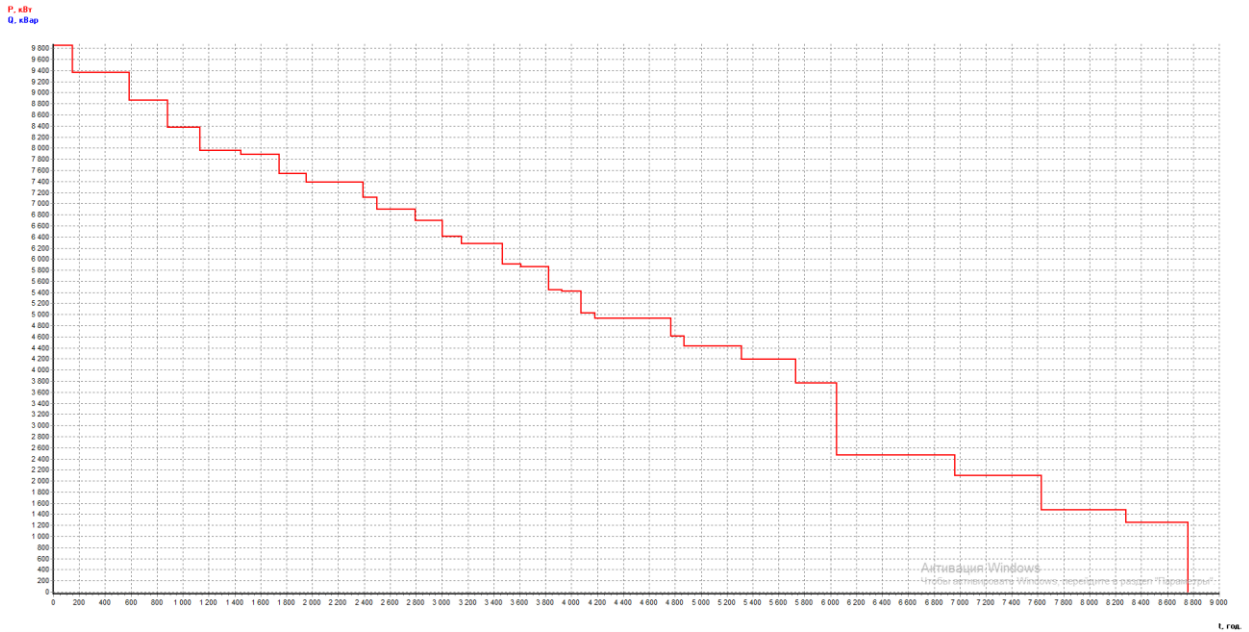


Рисунок 1.6 - Річний графік навантаження

Визначимо, використовуючи річні графіки, річні витрати активної та реактивної енергії:

$$W_p = \sum_{i=1} P_i \cdot \tau_i = 44543062 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

$$V_p = \sum_{i=1} Q_i \cdot \tau_i = 26235692 \text{ кВАр}\cdot\text{год.}$$

Кількість годин застосування максимального навантаження

визначимо за виразом:

$$T_m = \frac{\sqrt{W_p^2 + V_p^2}}{S_m} = \frac{\sqrt{44543062^2 + 26235692^2}}{1127289} = 4585,8 \text{ год,}$$

$$S_p = 1127289 \text{ кВА.}$$

Значення τ_m визначаємо за допомогою виразу Кезевича:

$$\tau_m = \left(0,124 + \frac{T_m}{10000}\right)^2 \cdot 8760 = \left(0,124 + \frac{4585,8}{10000}\right)^2 \cdot 8760 = 2973,139 \text{ год.}$$

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис		
					31

Наводимо розрахункові параметри графіків електричних навантажень

$S_p =$	11272,89	МВА
$W_{з.р.} =$	24473001	кВт· год
$V_{з.р.} =$	13654242	кВар· год
$W_{з.в.} =$	3202030	кВт· год
$V_{з.в.} =$	2635880	кВар· год
$W_{л.р.} =$	14858655	кВт· год
$V_{л.р.} =$	8291010	кВар· год
$W_{л.в.} =$	2009376	кВт· год
$V_{л.в.}$	1654560	кВар· год
$W_p =$	44543062	кВт· год
$V_p =$	26235692	кВар· год
$T_{max} =$	4585,8	год.
$\tau_m =$	2973,139	год.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис		32

2 КАРТОГРАМА ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ЗАВОДУ МОЛОКОПРОДУКТІВ ТА МІСЦЕ РОЗТАШУВАННЯ ЦЕНТРАЛЬНОГО РОЗПОДІЛЬНОГО ПУНКТУ

Картограма електричних навантажень надає візуальне уявлення про розподіл споживання електроенергії. Картограма електричних навантажень – це графічне зображення розподілення електричних навантажень у просторі підприємства. Вона допомагає визначити місця концентрації споживання електроенергії та оптимізувати розподіл електричних мереж.

Визначення центру електричних навантажень проводиться для раціонального розташування енергетичного обладнання так, щоб мінімізувати витрати та покращити ефективність електромережі.

Ці методи застосовуються для проектування та оптимізації електропостачання на підприємстві.

Метод розрахунку центру електричних навантажень:

1. Визначаються координати кожного електроспоживача на площині підприємства (x_i, y_i).
2. Визначаються активні (P_i) та реактивні (Q_i) потужності кожного споживача.
3. Обчислюють координати центру електричних навантажень за формулами:

$$X_{\text{ц}} = \frac{\sum(X_i \cdot P_i)}{\sum P_i}$$

$$Y_{\text{ц}} = \frac{\sum(Y_i \cdot P_i)}{\sum P_i}$$

4. Аналогічно можна розрахувати для реактивної потужності Q , якщо це необхідно.

Отримані координати (X, Y) визначають місце, де розміщення трансформаторної підстанції буде найоптимальнішим.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис			33

Для створення картограми навантажень підрозділів підприємства визначаються для кожного підрозділу радіуси кіл R_i площа πR_i^2 , котрі у вибраному масштабі дорівнюють повному навантаженню цеху P_i , кВт:

$$P_i = \pi R_i^2 m,$$

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

де m - масштаб кола на генплані, кВт/мм².

Окрім силового на картограмі навантаження також наноситься освітлювальне навантаження у вигляді сектора з кутом α .

Сектор з кутом α відповідає площі освітлюваного навантаження і визначається кутом:

$$\alpha_i = \frac{P_{i.осв} \cdot 360}{P_{i.сил}}.$$

Для прикладу наведемо побудову для молокоприймального відділення:

$$R_1 = \sqrt{\frac{P_1}{\pi m}} = \sqrt{\frac{P_{р.о.о} + P_{р.сил}}{\pi m}} = \sqrt{\frac{144 + 426,9}{3,14 \cdot 0,2}} = 30,7 \text{ мм},$$

$$\alpha_1 = \frac{P_{i.осв} \cdot 360^\circ}{P_{i.сил}} = \frac{144 \cdot 360^\circ}{426,9} = 121,5^\circ.$$

Розрахунок даних для картограми інших підрозділів заводу молокопродуктів зводимо в таблицю 2.1.

де $m = 0,2$ кВт/мм² – масштаб.

При розрахунку центра навантаження встановлено, що він знаходиться на координатах $X=327$ м, $Y=152,8$ м. При співставленні цієї точки з генпланом підприємства стає питання розміщення ЦРП. Питання стосується того, що ЦРП за своїм розміщенням сприяє перетокам електричної енергії. Зважаючи на дану причину ЦРП підприємства потрібно змістити згідно рекомендацій в бік живлення. Розміщення підстанції показано на генплані.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис		34

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n X_i P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} = \frac{2109657}{6452} = 327 \text{ м}, \quad Y = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} = \frac{985945,7}{6452} = 152,8 \text{ м}.$$

Таблиця 2.1 Розрахунок картограми електричних навантажень

№ п/п	Назва підрозділу	m	Pp осв i	Pp сил i	Pp сил +Pp осв	Pp вис	R	α	Xi	Yi	Pi*Xi	Pi*Yi
1	Молокоприймальне відділення	0,2	144,3	448,5	592,8	1400	30,7	17,5	72	188	42685,1	111455,4
2	Пастеризаторна	0,2	78,3	166,1	244,4		19,7	23,1	128	190	31281,9	46434,1
3	Мийне відділення	0,2	41,1	34,4	75,5		11,0	39,2	335	307	25285,8	23172,4
4	Офіс адміністрації	0,2	182,4	239,3	421,7		25,9	31,1	127	49	53561,0	20665,3
5	Цех вафель	0,2	92,0	405,6	497,6		28,1	13,3	415	190	206495,7	94540,2
6	Цехморозива	0,2	95,2	243,7	338,8		23,2	20,2	571	190	193470,8	64377,3
7	Відвантажувальна	0,2	112,5	36,3	148,8		15,4	54,5	456	68	67830,0	10115,0
8	Майстерня	0,2	55,5	78,3	133,8		14,6	29,9	473	307	63292,1	41079,7
9	Вакуум-випарювальне відділення	0,2	72,2	649,0	721,2		33,9	7,2	288	23	207711,4	16588,1
10	Цех розливу та фасування	0,2	72,3	318,2	390,4		24,9	13,3	385	68	150311,7	26548,6
11	Сепараторна	0,2	133,7	343,8	477,5		27,6	20,2	193	190	92165,2	90732,6
12	Цех виробництва незб-мол продуктів	0,2	156,4	426,9	583,3		30,5	19,3	268	190	156313,7	110819,4
13	Цех виробництва масла	0,2	156,4	202,3	358,7		23,9	31,4	349	190	125197,5	68159,1
14	Камера дозрівання сиру	0,2	47,7	10,3	58,0		9,6	59,3	24	223	1391,0	12925,1
15	Лабораторія	0,2	109,4	29,6	139,0		14,9	56,7	554	307	76983,8	42660,7
16	Склад	0,2	17,0	37,5	54,6		9,3	22,5	598	12	32620,9	654,6
17	Кафе	0,2	37,8	72,0	109,8		13,2	24,8	200	35	21968,0	3844,4
18	Цех відновлення сухого молока	0,2	82,2	632,9	715,1		33,7	8,3	522	190	373287,4	135870,9
19	Склад тари та автоцистерн	0,2	43,9	29,8	73,7		10,8	42,9	529	68	38976,7	5010,2
20	Сироварне відділення	0,2	129,6	187,7	317,3		22,5	29,4	469	190	148827,8	60292,7
							6452				2109657	985945,7

$$X_0 = 326,98$$

$$Y_0 = 152,81$$

3 ВИБІР НАПРУГИ І СХЕМ ЗОВНІШНЬОГО ТА ВНУТРІШНЬОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВА МОЛОКОПРОДУКТІВ

Раціональна організація зовнішнього електропостачання промислового підприємства значною мірою залежить від оптимального вибору рівня напруги та схеми живлення.

На процес схвалення рішення щодо напруги і конфігурації електропостачання впливає багато чинників. Основні із них:

- розрахункове споживання електричної енергії;
- рівень напруги доступних джерел електроживлення;
- дистанція між джерелом живлення та розглядаємим підприємством;
- необхідний ступінь надійності електропостачання і т.д.

Вибір рівня напруги для зовнішнього постачання зводиться до визначення оптимального стандартного значення, яке відповідає технічним вимогам та економічно виправдане. Під час проектування кількість можливих варіантів в основному обмежується двома-трьома, в залежності від наявних рівнів напруги в самих ближчих точках підключення до енергосистеми. На початковому етапі орієнтовні величини напруги можуть бути визначені за допомогою номограм. Використання номограм дає можливість швидко оцінити можливі варіанти та в окремих випадках виключити деякі з них без проведення громіздких розрахунків.

У даній роботі в якості джерела живлення розглядається підстанція енергосистеми, що обладнана двома трансформаторами потужністю 40 МВА кожен, з рівнями напруги 115/35/10,5 кВ. Обидва трансформатори працюють незалежно один від одного. Відстань від підстанції до підприємства молокопродуктів складає 2 км. У рамках дослідження розглядаються два можливі варіанти електропостачання:

1. Із використанням напруги 10 кВ;
2. Із застосуванням напруги 35 кВ.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис			36

Остаточний вибір проектного рішення здійснюється на основі порівняння зведених витрат для кожного з можливих варіантів.

3.1. Розрахунок зовнішнього електропостачання

Спираючись на теоретичні положення, викладені у [2], проводиться техніко-економічний аналіз варіантів схем зовнішнього електропостачання (рис. 3.1).

Згідно з обраними варіантами, електроживлення підприємства здійснюється від підстанції енергосистеми, яка забезпечує два рівні напруги: 35 кВ і 10 кВ.

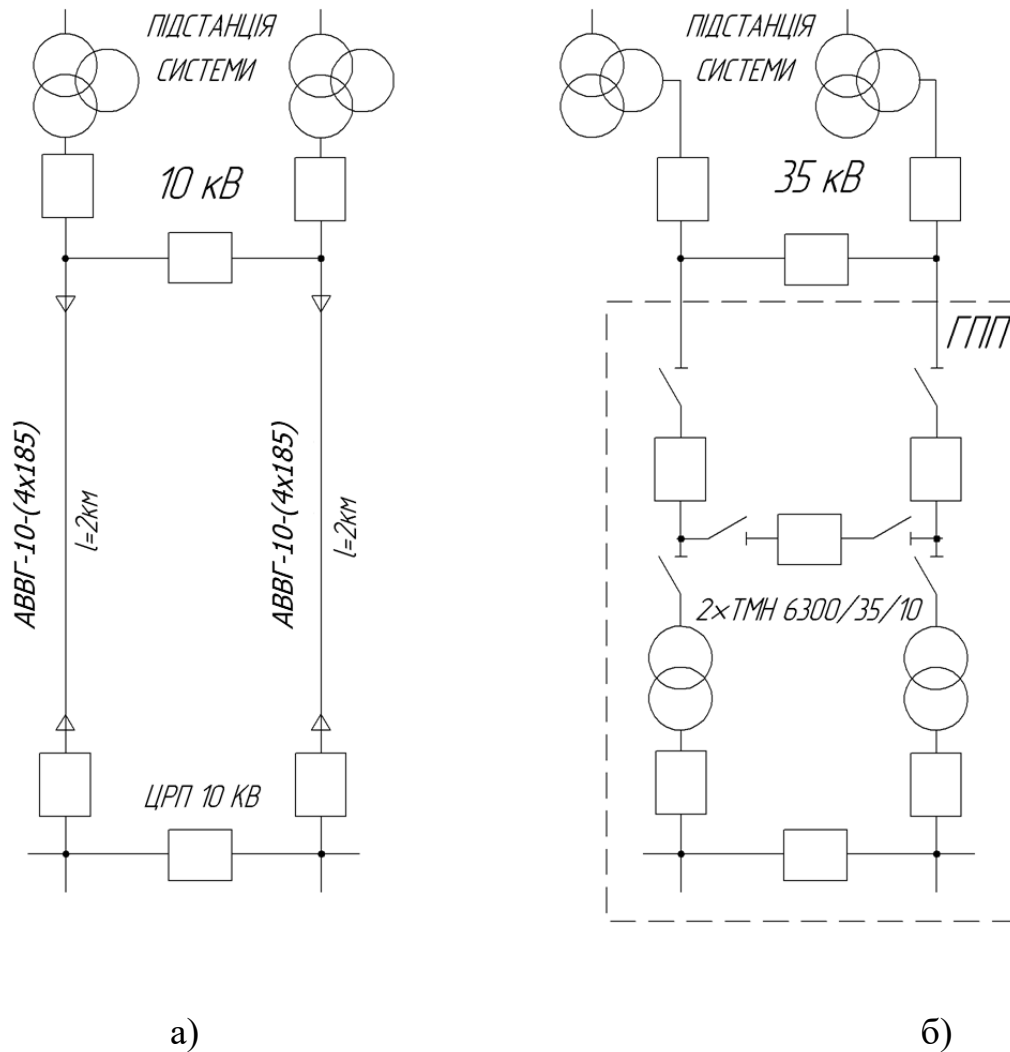


Рисунок 3.1 - Схеми порівняння для зовнішнього електропостачання

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис		
					37

Варіант 1 Електроживлення здійснюється із застосуванням напруги 10 кВ (рис 3.1,а).

Обчислення розрахункового струму в лінії:

$$I_p = \frac{S_p}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10,5} = \frac{6297}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10,5} = 173,3 \text{ А}$$

Приймаємо до прокладання кабель АВВГ 10 кВ 4x185 із тривалим допустимим струмовим навантаженням $I_{\text{доп}} = 290 \text{ А}$, втратами потужності на 1 км $\Delta P_{1\text{км}} = 57 \text{ кВт}$.

Вартістю 2 км кабелю $K_0 = 607 \cdot 2000 = 1214 \text{ тис. грн}$.

Коефіцієнт завантаження кабелю при нормальному режимі роботи:

$$K_3 = \frac{I_p}{I_{\text{доп}}} = \frac{173,3}{290} = 0,6.$$

Якщо виходить з роботи одна лінія, то та, що залишається, буде працювати з перевантаженням:

$$I_{\text{ав.р}} = 2 \cdot I_p = 2 \cdot 173,3 = 346,6 \text{ А.}$$

Проводимо перевірку:

$$I''_{\text{доп}} = I_{\text{доп}} \cdot K_{\text{ап}} = 290 \cdot 1,3 = 377 \text{ А}$$

Перевірка на перевантаження в аварійному режимі обчислюється за умовою: $I_{\text{ав.р}} \leq I''_{\text{доп}}$

$$346,6 \text{ А} < 377 \text{ А} \text{ – умова вірна.}$$

Це означає, що в аварійному режимі електроживлення підприємства забезпечується.

Розраховуємо втрати відповідно потужності ΔP і енергії ΔW в кабелі при $T_{\text{max}} = 4585,8 \text{ год}$.

$$\Delta P_{\text{л}} = \Delta P_{1\text{км}} \cdot l_{\Sigma} \cdot K_3^2 = 57 \cdot 2 \cdot 0,6^2 = 41,04 \text{ кВт},$$

$$\Delta W = \Delta P_{\text{л}} \cdot \tau = 41,04 \cdot 2973 = 122012 \text{ кВт}\cdot\text{год}$$

Розраховуємо вартість втрат енергії:

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис		38

$$C_{\text{втр}} = \Delta W \cdot C_0 = 217826,5 \cdot 2,7 = 329,4 \text{ тис. грн/рік.}$$

Варіант 2

Електроживлення відбувається із застосуванням напруги 35 кВ (рис 3.1, б)

$$I_p = \frac{S_p}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 35} = \frac{6297}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 35} = 52 \text{ А.}$$

Приймаємо дволанцюгову повітряну лінію марки АС з площею перерізу 70 мм².

$$I_{\text{доп}} = 166 \text{ А,}$$

$$\Delta P_{1\text{км}} = 98 \text{ кВт/км.}$$

Вартість 2 км лінії: $K_0 = 261 \cdot 2000 = 522 \text{ тис. грн.}$

$$K_{\text{зав}} = \frac{I_p}{I_{\text{доп}}} = \frac{52}{166} = 0,313.$$

Вибір силових трансформаторів:

$$S_{\text{тр.ном}} = \frac{S_{\text{лп}}}{(n-1) \cdot 1,4} = \frac{6297}{(2-1) \cdot 1,4} = 4498 \text{ кВ}\cdot\text{А}$$

Приймаємо до встановлення силовий трансформатор: $S_{\text{т. ном.}} = 6300 \text{ кВА.}$

Визначимо завантаження трансформатора при максимальному режимі, коли в роботі обидва трансформатори.

На ГЗП передбачаємо встановлення 2 трансформаторів ТМН-6300/35/10 з параметрами:

$$I_x = 0,9\%, \Delta P_x = 9,4 \text{ кВт, } u_k = 7,5\%, \Delta P_k = 46,5 \text{ кВт.}$$

Нормальний режим:

$$K_s = \frac{S_p}{2 \cdot S_{\text{ном}}} = \frac{6297}{2 \cdot 6300} = 0,5$$

Перевіряємо на аварійне перевантаження трансформатор:

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис		

$$K_{зав} = \frac{S_p}{S_{ном}} = \frac{6297}{6300} = 0,99 < 1,4$$

Знаходимо втрати енергії в кабелі:

$$\Delta P_{л} = \Delta P_{1 км} l_{\Sigma} K^2_{з} = 98 \cdot 2 \cdot 0,5^2 = 49 \text{ кВт}$$

$$\Delta W = \Delta P_{л} \tau = 49 \cdot 2973 = 145677 \text{ кВт}\cdot\text{год}$$

Знаходимо втрати енергії в трансформаторі:

$$\Delta W = n(\Delta P_{xt} + \Delta P_k K^2_{з} \tau) = 2(12 \cdot 8760 + 60 \cdot 0,5^2 \cdot 2973) = 299430 \text{ кВт}\cdot\text{год}$$

Разом втрати енергії:

$$\Delta W_{\Sigma} = \Delta W_{л} + \Delta W_{т} = 145677 + 299430 = 445107 \text{ кВт}\cdot\text{год}$$

Знаходимо вартість втрат:

$$C_{втр} = \Delta W_{\Sigma} \cdot C_0 = 445107 \cdot 2,7 = 1201,7 \text{ тис.грн/рік}$$

3.2. Розрахунок внутрішнього електропостачання

Таблиця 3.1 - Обчислення капітальних вкладень

№ вар.	Найменування елемента схеми	Одиниці	Кількість	Вартість одиниці, тис. грн	Всього, тис.грн
1	Шафа КРУ з вакуум.вимикачами	шт	2	200	200
	Кабель АБВГ 10 кВ 4х185	км	2	607	1214
	Траншея (вартість робіт)	км	2	85	170
	Всього:				1584
2	Вимикачі 35 кВ п/ст енергосистеми	шт	5	100	500
	ПЛ 35 кВ на з/б опорах АС 50/10, 35 кВ	км	2	2600	5200
	ВРП 35 кВ	компл.	1	1310	1310
	Силові тр-ри ТМН-6,3/35/10	шт	2	4000	8000
	Всього:				15010

Таблиця 3.2 - Обчислення поточних витрат

№ вар	Найменування елемента схеми	К, тис. грн	Pa, %	Ca, тис.грн	Pe, %	Се, тис.грн	С, тис.грн
1	Кабель АБВГ 10 кВ 4x185 з ур.траншеї	1384	5	69,2	5	69,2	138,4
	Шафа КРУ із вакуумними вимикачами	200	15	30	5	10	40
	Всього:						178,4
2	Вимикачі 35 кВ підстанції	500	15	75	5	25	100
	ВЛ 35 кВ (2-х ланці) АС-50/10	5200	5	260	5	260	520
	ВРП 35 кВ	1310	15	196,5	5	65,5	262
	Силові трансформатори ТМН-6,3/35/10	8000	15	1200	5	400	1600
	Всього:						2482

Виконуємо обчислення коефіцієнту планового простою одного ланцюга, в.о. :

$$K_{\text{п}} = 1,2 K_{\text{п max}} = 1,2 \cdot 2,1 \cdot 10^{-3} = 2,52 \cdot 10^{-3}$$

Коефіцієнт аварійного простою одного ланцюга:

$$K_{\text{а}} = \lambda T_{\text{в}} = 0,171 \cdot 1,522 \cdot 10^{-4} = 0,26 \cdot 10^{-4}$$

Коефіцієнт аварійного простою при одночасному відімкненні одного ланцюга для планового ремонту і другого через пошкодження:

$$K_{\text{ап}} = 0,5 \lambda K_{\text{п}} = 0,5 \cdot 0,171 \cdot (2,52 \cdot 10^{-3})^2 = 5,4 \cdot 10^{-7}$$

Коефіцієнт аварійного простою обох кабелів:

$$K_{\text{а}}^{(2)} = K_{\text{а}}^2 + 2K_{\text{ап}} = (0,26 \cdot 10^{-4})^2 + (2 \cdot 5,4 \cdot 10^{-7}) = 10,1 \cdot 10^{-7}$$

Знаходимо середньорічний час аварійного простою:

$$T_{\text{а}} = K_{\text{а}}^{(2)} \cdot 8760 = 10,1 \cdot 10^{-7} \cdot 8760 = 0,0088 \text{ год}$$

Знаходимо середньорічне активне навантаження підприємства молокопродуктів:

$$P_{\text{ср}} = \frac{P_{\text{р}} T_{\text{м}}}{8760} = \frac{3499,8 \cdot 4585,8}{8760} = 1,832 \text{ МВт}$$

Очікуємий збиток від перерви електропостачання на підприємстві молокопродуктів:

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис		

$$Y = Y_0 P_{\text{ср}} T_a = 1,71 \cdot 1,832 \cdot 0,0088 = 0,028 \text{ тис. грн/рік}$$

Розрахунок збитку для другого варіанту виконується аналогічно. Результати в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 - Техніко-економічні показники варіантів порівняння

Найменування	Варіант 1 (10кВ)	Варіант 2 (35кВ)
Капіталовкладення, тис. грн	1584	15010
Поточні витрати, тис. грн/рік.	178,4	2482
Вартість втрат, тис. грн/рік.	329,4	1201,7
Збитки від недовідпуску, тис. грн/рік.	0,028	0,00113
Всього: тис. грн/рік.	2091,828	18693,70113

Знаходимо мінімум приведених витрат, тис. грн./рік. по обох варіантах за формулою:

$$Z = p_n K + C + C_{\text{втр}} + Y$$

Варіант 1.

$$Z_1 = 0,12 \cdot 1584 + 1748,4 + 329,4 + 0,028 = 697,8 \text{ тис. грн/рік.}$$

Варіант 2.

$$Z_2 = 0,12 \cdot 15010 + 2482 + 1201,7 + 0,00113 = 5484,9 \text{ тис. грн/рік.}$$

$$Z_1 < Z_2,$$

$$697,8 \text{ тис. грн/рік} < 5484,9 \text{ тис. грн/рік.}$$

Після проведення економічних розрахунків по варіантам та порівняння встановлено, що перший варіант за заданими параметрами є вигіднішим, тому обираємо напругу живильної мережі для підприємства молокопродуктів 10 кВ.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис		42

4 КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ

4.1. Розрахунок балансу реактивної потужності та вибір пристроїв для її компенсації

Розрахунок балансу реактивної потужності здійснюємо відповідно методиці, викладеній в [2].

Знаходимо сумарне низьковольтне електронавантаження:

$$P_{\text{н}} = \sum P_{\text{ТП}} = 4170 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{н}} = \sum Q_{\text{ТП}} = 3499 \text{ квар.}$$

Знаходимо сумарні втрати в ТП:

$$\Delta P_{\text{н}} = \sum \Delta P_{\text{ТП}} = 150,2 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q_{\text{н}} = \sum \Delta Q_{\text{ТП}} = 928 \text{ квар.}$$

Знаходимо сумарне низьковольтне електронавантаження:

$$P_{\text{в}} = \sum P_{\text{ВП}} = 0 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{в}} = \sum Q_{\text{ВП}} = 0 \text{ квар.}$$

Знаходимо сумарне споживання активної та реактивної потужностей:

$$P_{\text{р}} = P_{\text{нв}} + \Delta P_{\text{тр}} + P_{\text{вв}} = 4170 + 150 + 0 = 4320 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{р}} = Q_{\text{нн}} + \Delta Q_{\text{тр}} + Q_{\text{вн}} = 3499 + 928 + 0 = 4427 \text{ квар.}$$

Знаходимо економічно обґрунтовану потужність, що передається з системи до заводу: $Q_{\text{е}} = Q'_{\text{ек}} = P_{\text{р}} \cdot \text{tg} \varphi = 4320 \cdot 0,15 = 648 \text{ квар.}$

Знаходимо потужність компенсуючих пристроїв:

$$Q_{\text{кп}} = Q_{\text{р}} - Q_{\text{ек}} = 4427 - 648 = 3779 \text{ квар.}$$

4.2. Вибір кількості, потужності і місця розташування пристроїв компенсації.

Вибір кількості, потужності та місця розташування компенсуючих пристроїв проводиться на підставі економічного порівняння варіантів. Критерієм економічності є мінімум приведених витрат.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис		43

Даний розрахунок необхідно провести для кількох варіантів з різною кількістю трансформаторів (N_0 ; N_{0+1} ; N_{0+2}).

Визначаємо мінімальну кількість трансформаторів:

$$N_0 = \frac{P_{\text{НОМ}}}{\beta \cdot S_{\text{НОМ}}} = \frac{5902}{0,7 \cdot 1000} = 5,95 \approx 6.$$

Розглядались варіанти компенсації при кількості трансформаторів $N=N_0$, $N=N_0+1$, $N=N_0+2$.

Кількість трансформаторів $N=N_0+1=7$

Визначається реактивна потужність, яка може передаватися із мережі 10 кВ в мережу 0,4 кВ.

$$Q_1 = \sqrt{(N \cdot K_3 \cdot S_{\text{НОМ}})^2 - P_{\text{н}}^2} = \sqrt{(7 \cdot 0,7 \cdot 1000)^2 - 4170^2} = 501,1 \text{ квар.}$$

Потужність КУ, що встановлюється в мережі до 1000 В $Q_{\text{КН}}$, визначається умовою балансу потужності на шинах ТП:

$$Q_{\text{КН}} = Q_{\text{н}} - Q_1 = 3799 - 501,1 = 2998 \text{ квар.}$$

КТП-1: (2×1000)

$$Q_1 = \sqrt{(N \cdot K_3 \cdot S_{\text{НОМ}})^2 - P_{\text{НОМ}}^2} = \sqrt{(2 \cdot 0,7 \cdot 1000)^2 - 1225^2} = 677,8 \text{ квар.}$$

$$Q_{\text{КН1}} = Q_{\text{н}} - Q_1 = 1027,9 - 677,8 = 350 \text{ квар.}$$

Приймаємо до установки: 2×АКУ-0,4-160-20

$$\Sigma Q_{\text{КН1}} = 320 \text{ квар.}$$

КТП-2: (2×1000)

$$Q_1 = \sqrt{(N \cdot K_3 \cdot S_{\text{НОМ}})^2 - P_{\text{НОМ}}^2} = \sqrt{(2 \cdot 0,7 \cdot 1000)^2 - 1307,4^2} = 500,7 \text{ квар.}$$

$$Q_{\text{КН2}} = Q_{\text{н}} - Q_1 = 1737,4 - 500,7 = 1236,7 \text{ квар.}$$

Приймаємо до установки: 2×АКУ-0,4-540-60

$$\Sigma Q_{\text{КН2}} = 1080 \text{ квар.}$$

КТП-3,4: (3×1000)

$$Q_1 = \sqrt{(N \cdot K_3 \cdot S_{\text{НОМ}})^2 - P_{\text{НОМ}}^2} = \sqrt{(3 \cdot 0,7 \cdot 1000)^2 - 1859^2} = 976,8 \text{ квар.}$$

$$Q_{\text{КН3}} = Q_{\text{н}} - Q_1 = 1726 - 976,8 = 749,2 \text{ квар.}$$

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис		44

Приймаємо до установки: 2×АКУ-0,4-240-40

1×АКУ-0,4-260-40

$$\Sigma Q_{\text{КНЗ}} = 740 \text{ квар.}$$

Встановлюємо на ТП 1-4: $\Sigma Q_{\text{КН}} = 2140$ квар.

Потужність КУ, які встановлюються в мережі 10 кВ $Q_{\text{КВ}}$ – визначається умовою балансу потужності на шинах 10 кВ:

$$Q_{\text{КВ}} = Q_{\text{р}} - Q_{\text{КН}} - Q_{\text{ек}} = 3499,6 - 2140 - 648 = 711,6 \text{ квар.}$$

Приймаємо: 2×КРМ-750 10,5 $\Sigma Q_{\text{ВВ}} = 600$ квар.

Втрати активної потужності в низьковольтних КУ:

$$\Delta P_{\text{КН}} = \Delta P_{\text{пт}}^{\text{КН}} \cdot Q_{\text{КН}} = 0,0045 \cdot 2140 = 9,63 \text{ кВт.}$$

Втрати активної потужності в високовольтних КУ:

$$\Delta P_{\text{КВ}} = \Delta P_{\text{пт}}^{\text{КВ}} \cdot Q_{\text{КВ}} = 0,003 \cdot 600 = 1,8 \text{ кВт.}$$

Втрати активної потужності при передачі реактивної потужності через трансформатори цехових ТП:

$$\Delta P_{\text{ТП}} = \frac{Q_{\text{пр}}^2}{U_{\text{н}}^2} \cdot R_{\text{ск}}' = \frac{1359^2}{10^2} \cdot 1,7 \cdot 10^{-4} = 3,14 \cdot 10^{-4} \text{ кВт.}$$

$$Q_{\text{пр}} = Q_{\text{н}} - Q_{\text{КН}} = 33499,6 - 2140 = 1359,6 \text{ квар.}$$

Вартість низьковольтних КП знаходимо за формулою:

$$K_{\text{КН}} = \sum_{i=1}^n N_{\text{кні}} \cdot K_{\text{кку}}^{0,4}$$

$$K_{\text{КН}} = 2 \cdot 86 + 2 \cdot 210 + 2 \cdot 81 + 1 \cdot 82 = 836 \text{ тис.грн}$$

Вартість високовольтних КП:

$$K_{\text{КВ}} = \sum_{i=1}^n N_{\text{кв}} \cdot K_{\text{кку}}^{10} = 2 \cdot 525 = 1050 \text{ тис.грн.}$$

Вартість комплектних трансформаторних підстанцій:

$$K_{\text{кп}} = N_{\text{тп(1)}} \cdot K_{\text{тп(1)}} + N_{\text{тп(2)}} \cdot K_{\text{тп(2)}} = 6 \cdot 2245 + 1 \cdot 160 = 1630 \text{ тис.грн.}$$

Розрахункові втрати компенсації реактивної потужності визначаємо за формулою:

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис		45

$$Z = E_n \cdot (K_{кн} + K_{кв} + K_{кпп}) + (\Delta P_{кн} + \Delta P_{кв} + \Delta P_{пп}) \cdot C_0 \cdot T =$$

$$= 0,12 \cdot (836 + 1050 + 1630) + (9,63 + 1,8 + 3,14 \cdot 10^{-3}) \cdot 2,7 \cdot 10^{-3} \cdot 4585,8 =$$

$$= 563,5 \text{ тис. грн.}$$

Розрахунок варіантів $N=N_0$, $N=N_0+2$ виконується аналогічно.

Результати розрахунку зведено в таблицю 4.1- 4.4.

Таблиця 4.1. Вибір типу та потужності БК з числом трансформаторів $N=7$

№	n	P_p , кВт	Q_p , квар	Тип та кіл.	$Q_{кп}$, квар	$Q_p - Q_{кп}$, квар	K_3	K_i , тис. грн
ТП1	2	1225	1027,9	2×2160	320	707	0,71	94
ТП2	2	1507,4	1139,8	2×540	1080	59,8	0,70	160
ТП3,4	2+1	1321	1332	2×240	710	622	0,69	282,5

Таблиця 4.2. Вартість комплектних ТП

Найменування	Вартість тис.грн	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3
ТП 1	160	0	1	0
ТП 2	245	6	6	7
Всього тис. грн Σ		1680	1630	1715

Таблиця 4.3. Розрахунок балансу РП

Варіант	1	2	3
Потужність компенсуючих пристроїв в мережі 0,4 кВ, квар	0	2140	2580
Потужність компенсуючих пристроїв в мережі 10 кВ, квар	0	711,6	820
Споживання реактивної потужності із системи	645	648	648
Всього по балансу, квар	645	3499,6	4048

Таблиця 4.4. Зведені витрати на компенсацію РП, тис.грн./рік.

Варіант	1	2	3
Затрати на компенсацію, тис.грн./рік.	0	536,5	613,71

З розрахунку видно, що самим економічним є варіант 2 із сумарними витратами $Z=536,5$ тис.грн./рік

5 ВИБІР КІЛЬКОСТІ ТА ПОТУЖНОСТІ ТРАНСФОРМАТОРІВ ПІДПРИЄМСТВА

Методика вибору трансформаторів для цехових підстанцій базується на розрахунках потужності, умов експлуатації, резервування і економічної доцільності.

5.1. Вибір місця розташування цехових трансформаторних підстанцій

Правильний вибір місця для цехової трансформаторної підстанції (ЦТП) забезпечує ефективний розподіл електроенергії, мінімізує втрати та підвищує надійність роботи електромережі. Враховуються такі фактори:

1. Основні критерії вибору місця розташування
2. Типові варіанти розміщення ЦТП
3. Розрахунок оптимального розташування

Підстанція повинна розташовуватися якомога ближче до центру електричних навантажень для зменшення втрат у проводах. Рекомендується, щоб найдаальший споживач знаходився не більше ніж за 100–150 м від підстанції.

Відстань до робочих зон та приміщень повинна відповідати нормам безпеки та санітарним нормам (ДБН, ПУЕ). Уникати встановлення поблизу місць з підвищеною вологістю, хімічно активних середовищ або вибухонебезпечних зон.

Підстанція повинна мати зручний під'їзд для транспорту (ремонтних машин, кранів для заміни трансформатора). Повинен передбачатися безпечний прохід для персоналу.

Масляні трансформатори розташовують в спеціальних відсіках з вогнестійкими перегородками. У приміщеннях передбачається система вентиляції і пожежогасіння.

Не можна розміщувати підстанцію в тих місцях, де вона може заважати руху транспорту або технологічним процесам. Сухі трансформатори можна

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис			47

встановлювати безпосередньо у цехах для зменшення довжини кабельних ліній.

Типові варіанти розміщення ЦТП:

Окреме приміщення всередині цеху

- Використовується для сухих трансформаторів або вогнестійких масляних трансформаторів.
- Зручно для швидкого обслуговування та мінімізації втрат електроенергії.
- Не підходить для приміщень з агресивним середовищем або вибухонебезпечних виробництв.

Окремо стояча будівля поруч із цехом

- Застосовується для великих підстанцій з масляними трансформаторами.
- Забезпечує кращу пожежну безпеку, але збільшує довжину кабельних ліній.
- Вимагає додаткових земельних ресурсів.

Підвісні або дахові підстанції

- Використовуються у багатоповерхових приміщеннях або при обмеженій площі.
- Дозволяють скоротити довжину кабельних ліній, але вимагають окремих заходів безпеки.

Контейнерні (модульні) підстанції

- Мобільні рішення для тимчасових виробничих майданчиків або змінних технологічних зон.
- Простий монтаж та можливість швидкого переміщення.

5.2. Вибір кількості та потужності трансформаторів

Один трансформатор використовується, якщо навантаження невелике (до 630–1000 кВА), цехові споживачі не потребують високої надійності (III

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис			48

категорія електропостачання), допускається короточасний простій при аварії. Із недоліків: - відсутність резервування, у разі виходу з ладу споживачі залишаються без електроенергії.

Два трансформатори використовується, якщо навантаження понад 1000 кВА, виробництво вимагає безперебійного живлення (II або I категорія електропостачання), є велика кількість потужних споживачів, що утворюють пускові струми.

Три і більше трансформаторів використовується на великих промислових об'єктах (металургія, хімічна промисловість), це дозволяє рівномірно розподіляти навантаження, забезпечує високу надійність та резервування навіть при аварії.

Рекомендації:

При $S_p > 2500-3000$ кВА зазвичай встановлюються три трансформатори, для стратегічних об'єктів (I категорія) застосовують чотири або більше трансформаторів.

Розрахункова потужність визначається за даною формулою:

$$S_p = \frac{P_p}{\cos \varphi}$$

де P_p — розрахункове активне навантаження (кВт),

$\cos \varphi$ — коефіцієнт потужності (зазвичай 0,8–0,9).

Із урахуванням коефіцієнта завантаження k_3 номінальна потужність трансформатора визначається:

$$S_{тр} = \frac{S_p}{k_3}$$

(рекомендовано $k_3=0,7-0,8$ для нормального режиму роботи).

Якщо встановлюються два трансформатори, потужність кожного з них вибирають із умови:

$$S_{тр} \geq 0,75 \cdot S_p$$

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис		49

щоб при виході одного з роботи інший міг покрити основне навантаження.

Вибір трансформатора залежить від:

- Рівня напруги (наприклад, 6/0,4 кВ, 10/0,4 кВ).
- Способу живлення (повітряна чи кабельна мережа).
- Типу охолодження (масляні чи сухі).
- Рівня шуму та місця встановлення (наприклад, сухі трансформатори використовують у закритих приміщеннях).

В даній роботі приймаються до встановлення комплектні трансформаторні підстанції ТП - 10/0,4кВ внутрішнього встановлення. Приймається також умова, що трансформатори завантажені рівномірно.

Вибір трансформаторів на ТП 1,2,3,4 представлено у вигляді таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 Вибір трансформаторів підприємства

№ ТП	К.- ть	Spоз, кВА	Марка	Kз	$\frac{S_{ном}}{>S_p/K_1}$	$S_{ном} > S_p/K_2$	Тип КТП
1	2	1989,1	ТМЗ-1000-10/0,4	0,67	1358	1025	Вбудована
2	2	1418,2	ТМЗ-1000-10/0,4	0,59	1329	1022	Вбудована
3,4	3	2269,57	ТМЗ-1000-10/0,4	0,69	1315	1014	Вбудована

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

6.1. Розрахунок струмів короткого замикання.

Розрахунок струмів короткого замикання є одним важливих етапів вибору високовольтного і низьковольтного електрообладнання. Він дозволяє визначити потрібні параметри апаратури для забезпечення її надійної та безпечної роботи в аварійних режимах.

Розрахунок починається з визначення схеми електропостачання, параметрів джерел живлення, трансформаторів, повітряних та кабельних ліній. Визначаються номінальні напруги, потужності та опори елементів мережі.

Основним методом розрахунку є використання еквівалентної схеми заміщення, де всі елементи представляють у вигляді послідовного або паралельного з'єднання активних і реактивних опорів.

На початку визначають струм трьохфазного короткого замикання в найнебезпечнішій точці системи, зазвичай це шини розподільчих пристроїв або вихід вторинної обмотки трансформатора. Використовується формула:

$$I_k = U_H / (Z_c + Z_{л} + Z_T)$$

де I_k — струм короткого замикання, U_H — номінальна фазна напруга, Z_c — повний опір джерела живлення, $Z_{л}$ — повний опір лінії електропередачі, Z_T — повний опір трансформатора.

Далі визначаються струми короткого замикання у різних точках мережі, враховуючи вплив опорів проводів, шин, комутаційної апаратури. При цьому можуть застосовуватися методи приведення імпедансів до єдиної напруги або використання відносних параметрів.

Окремо розглядаються випадки однофазного та двофазного короткого замикання, які можуть мати менші значення струму, але створювати великі електродинамічні та термічні навантаження на обладнання.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис		51

Результати розрахунку використовуються для вибору вимикачів, запобіжників, шинопроводів, трансформаторів струму і напруги. Вимикачі повинні мати номінальну відключаючу здатність, що перевищує максимальний розрахунковий струм короткого замикання. Запобіжники повинні забезпечувати швидке відключення, щоб уникнути перегріву провідників.

Виконані розрахунки допомагають забезпечити стабільність і безпеку електромережі, підвищити надійність електропостачання і мінімізувати ризик пошкодження обладнання при аварійних ситуаціях.

Розрахунок струмів КЗ проводимо відповідно методиці, викладеній в [2].

Для вибору та перевірки електрообладнання, а саме струмопроводів і ізоляторів, у процесі розрахунку струмів короткого замикання слід визначити наступні характеристики:

1. Періодична складова короткозамкненого струму.

Визначається її діюче значення за перший період, його називають надперехідним струмом КЗ (I'').

2. Максимальне миттєве значення струму КЗ.

Оцінюється ударний струм КЗ (i_y), який показує найбільше значення повного струму під час аварійного режиму.

Алгоритм розрахунку струмів короткого замикання:

Перед виконанням розрахунків складається розрахункова схема, де позначаються ключові точки для визначення параметрів струму КЗ.

На основі цієї схеми формується схема заміщення, у якій всі елементи представлено у вигляді відповідних електричних опорів.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис			52

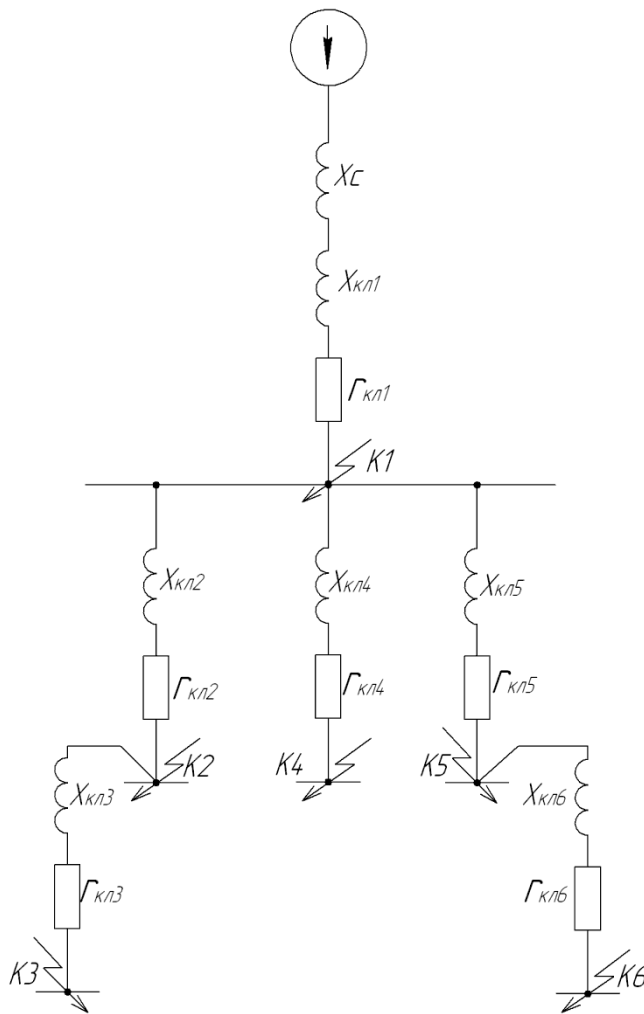


Рисунок 6.1 - Схема заміщення

Розрахуємо струми кз для кожної ТП.

Система:

$$x_{\text{сис}} = \frac{U_c}{\sqrt{3} \cdot I_{\text{кз}}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 8} = 0,759 \text{ Ом.}$$

Струм кз в точці К1:

ЦРП, $l=2$ км

$$x_0 = 0,078 \frac{\text{Ом}}{\text{км}}, \quad x_{\text{кл}} = x_0 \cdot l = 0,078 \cdot 2 = 0,156 \text{ Ом,}$$

$$r_0 = 0,21 \frac{\text{Ом}}{\text{км}}, \quad r_{\text{кл}} = r_0 \cdot l = 0,21 \cdot 2 = 0,42 \text{ Ом,}$$

$$r_{\Sigma 1} = r_{\text{кл}} = r_0 \cdot l = 0,21 \cdot 2 = 0,42 \text{ Ом,}$$

$$x_{\Sigma 1} = x_{\text{кл}} + x_c = 0,156 + 0,759 = 0,915 \text{ Ом,}$$

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис		

$$Z_{\Sigma K11} = \sqrt{r_{\Sigma 1}^2 + x_{\Sigma 1}^2} = \sqrt{0,42^2 + 0,915^2} = 0,915 \text{ Ом,}$$

$$I'' = I_{\text{но}} = \frac{U_H}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma K1}} = \frac{10}{\sqrt{3} \cdot 0,915} = 6,32 \text{ кА,}$$

$$T_a = \frac{x}{\omega \cdot r} = \frac{0,915}{314 \cdot 0,42} = 0,00694 \text{ с,}$$

$$K_y = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_a}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,00694}} = 3,22,$$

$$i_{\text{уд}} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{но}} \cdot K_{\text{уд}} = \sqrt{2} \cdot 6,32 \cdot 3,22 = 28,78 \text{ кА.}$$

Струм кз в точці К2:

ТП2, $l=0,01$ км

$$x_{\text{к}l2} = x_0 \cdot l = 0,078 \cdot 0,01 = 0,00078 \text{ Ом,}$$

$$r_{\text{к}l2} = r_0 \cdot l = 0,21 \cdot 0,01 = 0,0021 \text{ Ом,}$$

$$x_{\Sigma 2} = x_{\text{к}l2} + x_{\Sigma 1} = 0,00078 + 0,915 = 0,9157 \text{ Ом,}$$

$$r_{\Sigma 2} = r_{\text{к}l2} + r_{\Sigma 1} = 0,0021 + 0,42 = 0,4221 \text{ Ом,}$$

$$Z_{\Sigma K12} = \sqrt{x_{\Sigma 2}^2 + r_{\Sigma 2}^2} = \sqrt{0,9157^2 + 0,4221^2} = 0,916 \text{ Ом,}$$

$$I'' = I_{\text{но}} = \frac{U_H}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma 3}} = \frac{10}{\sqrt{3} \cdot 0,916} = 6,31 \text{ кА,}$$

$$T_a = \frac{x_{\Sigma}}{\omega \cdot r_{\Sigma}} = \frac{0,9157}{314 \cdot 0,4221} = 0,0069 \text{ с,}$$

$$K_y = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_a}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,0069}} = 3,26,$$

$$i_{\text{уд}} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{но}} \cdot K_{\text{уд}} = \sqrt{2} \cdot 6,31 \cdot 3,26 = 35,59 \text{ кА.}$$

Струм кз в точці К3:

ТП4, $l=0,205$ км

$$x_{\text{к}l3} = x_0 \cdot l = 0,095 \cdot 0,205 = 0,0194 \text{ Ом,}$$

$$r_{\text{к}l3} = r_0 \cdot l = 0,89 \cdot 0,205 = 0,1824 \text{ Ом,}$$

$$x_{\Sigma 3} = x_{\Sigma 2} + x_{\Sigma 1} + x_{\text{к}l3} = 0,9157 + 0,915 + 0,0194 = 1,85 \text{ Ом,}$$

$$r_{\Sigma 3} = r_{\Sigma 2} + r_{\Sigma 1} + r_{\text{к}l3} = 0,42 + 0,4221 + 0,1824 = 1,0245 \text{ Ом.}$$

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис		

$$Z_{\Sigma K3} = \sqrt{x_{\Sigma 3}^2 + r_{\Sigma 3}^2} = \sqrt{1,85^2 + 1,0245^2} = 2,11 \text{ Ом.}$$

$$I'' = I_{\text{но}} = \frac{U_{\text{н}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma K3}} = \frac{10}{\sqrt{3} \cdot 1,11} = 2,7 \text{ кА.}$$

$$T_a = \frac{x_{\Sigma}}{\omega \cdot r_{\Sigma}} = \frac{1,85}{314 \cdot 1,0245} = 0,00575 \text{ с.}$$

$$K_y = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_a}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,00575}} = 4,7,$$

$$i_{\text{уд}} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{но}} \cdot K_{\text{уд}} = \sqrt{2} \cdot 2,7 \cdot 4,7 = 17,89 \text{ кА.}$$

Аналогічно робимо розрахунок для точок К4,К5,К6.

Результати розрахунків представляємо у вигляді таблиці 6.1.

Таблиця 6.1. Результати розрахунку струмів КЗ

Точка КЗ	Ik,кА	iу,кА	Вк,кА ² ·с	Ta,с
K1	6,32	28,78	24,8	0,00694
K2	6,31	35,59	22,17	0,0069
K3	2,7	17,89	12,5	0,00575
K4	6,11	12,71	14,7	0,0583
K5	5,11	11,8	14,9	0,00178
K6	4,92	12,3	12,6	0,00321

6.2. Вибір кабелів напругою 10 кВ для високовольтної мережі заводу.

Приклад вибору кабельної лінії до ТП2:

$$I_p = \frac{S_{\text{р.ТП1,2}}}{\sqrt{3} \cdot 10} = \frac{2418,23}{\sqrt{3} \cdot 10} = 139,8 \text{ А.}$$

$$F_{\text{ек}} = \frac{I_p}{j_{\text{ек}}} = \frac{139,8}{1,4} = 99,8 \text{ мм}^2.$$

Обираємо: $F_{\text{ек}} = 120 \text{ мм}^2$, $I_{\text{доп}} = 240 \text{ А.}$

$$I_p \leq K_n \cdot I_{\text{доп}} = 0,92 \cdot 240 = 220,8 \text{ А.}$$

$$I_{p,ав} = \frac{2 \cdot S_{p,ТП1,2}}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{2 \cdot 2418,23}{\sqrt{3} \cdot 10} = 279,6 \text{ А.}$$

$$I_{p,ав} \leq K_{ав} \cdot K_n \cdot I_{доп}$$

$$279,6 \text{ А} \leq 1,3 \cdot 1 \cdot 240 = 312 \text{ А.}$$

Умова виконана.

$$t_{відкл} = t_{рзмакс} + t_{з} = (0,5 + 0,05) = 0,55 \text{ с.}$$

$$B_k = I_k^2 (t_{відкл} + T_a) = 6,31^2 \cdot (0,55 + 0,0069) = 22,17 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.}$$

$$F_{min} = \frac{\sqrt{B_k}}{C} = \frac{\sqrt{14,84 \cdot 10^6}}{94} = 41 \text{ мм.}$$

Обираємо кабель марки ААВГ-10-(3×120).

Аналогічно вибираємо переріз кабельних ліній до інших ТП. Вибір типів кабелів зводимо в таблицю 6.2.

Таблиця 6.2. Вибір типів та перерізів КЛ.

<i>Найменування</i>	<i>Тип</i>	<i>l, км</i>
<i>КЛ</i>	АВВГ-10-(4×185)	2
<i>ЦРП-ТП1</i>	АВВГ -10-(3×35)	0,01
<i>ЦРП-ТП2</i>	АВВГ -10-(3×120)	0,1
<i>ЦРП-ТП3</i>	АВВГ -10-(3×120)	0,065
<i>ТП3-ТП4</i>	АВВГ -10-(3×35)	0,14

6.3. Вибір електричних апаратів високої напруги.

Вибір вимикачів.

В РП 10 кВ доцільно використовувати вимикачі, що вбудовані в комірці КРП. Це як правило вакуумні вимикачі високовольної апаратури виробників РЗВА та „Таврида електрик”.

Вибір вимикачів напругою 10 кВ.

$$S_p = 6297 \text{ кВ} \cdot \text{А,}$$

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис		56

$$I_{\text{роб.макс}} = \frac{S_p}{3 \cdot U_n} = \frac{6297}{\sqrt{3} \cdot 10} = 363,98 \text{ А.}$$

$$\tau = t_{\epsilon} + t_{\text{рз.мін}} = 0,028 + 0,01 = 0,038 \text{ с,}$$

$$i_{a\tau} = \sqrt{2} \cdot I'' \cdot e^{\frac{-\tau}{T_a}} = \sqrt{2} \cdot 6,32 \cdot e^{-0,038/0,00575} = 8,1 \text{ кА.}$$

$\beta_n = 0,4$ – визначається з кривої [3].

$$t_{\text{відкл}} = (t_{\text{повн}} + t_{\text{рз.мін}}) = 0,057 + 0,5 = 0,557 \text{ с,}$$

$$B_k = I_k^2 (t_{\text{відкл}} + T_a) = 6,32^2 \cdot (0,557 + 0,00575) = 22,5 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.}$$

На вводі 10 кВ обираємо вакуумні вимикачі типу ВР0-10-12,5/630. Вибір параметрів вимикача зведений до таблиці А1 і представлений в Додатку А.

На лініях що відходять встановлюємо вакуумні вимикачі типу ВР0-10-12,5/630.

$$S_{p\text{ТПІ},2} = 2418,23 \text{ кВ} \cdot \text{А,}$$

$$I_{\text{роб.форс}} = \frac{S_{p\text{ТПІ},2}}{\sqrt{3} \cdot 10} = \frac{2418,23}{\sqrt{3} \cdot 10} = 139,8 \text{ А,}$$

$$\tau = t_{\epsilon} + t_{\text{рз.мін}} = 0,028 + 0,01 = 0,038 \text{ с,}$$

$$i_{a\tau} = \sqrt{2} \cdot I'' \cdot e^{\frac{-\tau}{T_a}} = \sqrt{2} \cdot 6,31 \cdot e^{-0,038/0,0069} = 2,2 \text{ кА.}$$

$\beta_n = 0,4$ – вибирається з кривої [10].

$$t_{\text{відкл}} = (t_{\text{повн}} + t_{\text{рз.мін}}) = 0,057 + 0,1 = 0,157 \text{ с,}$$

$$B_k = I_k^2 (t_{\text{відкл}} + T_a) = 6,31^2 \cdot (0,157 + 0,0069) = 6,5 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.}$$

Вибір параметрів вимикача зведений до таблиці А2 Додатку А.

Вибір розрядників.

Для обмеження атмосферних та внутрішніх перенапруг застосовують розрядники. Встановлення вентиляльних розрядників являється обов'язковим на всіх вводах силових трансформаторів.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис		57

Між розрядниками та вводом не припускається розміщення комутаційних апаратів. Підключення вентиляльних розрядників виконується до контуру заземлення підстанції по найкоротшому можливому шляху.

Для захисту обрано розрядник РВО15У1, технічні характеристики якого представлені в таблиці А3 Додатку А.

Вибір потужності та схем живлення трансформаторів власних потреб.

Визначаємо розрахункове навантаження трансформаторів власних потреб:

$$S_p = K_c \cdot S_n$$

де K_c - коефіцієнт спросу, для навантажень споживачів ВП рівний 0,7;

S_n - сумарна встановлена потужність споживачів ВП підприємства.

На підприємстві передбачається встановлення двох ТВП, приєднання яких виконується до різних джерел живлення. На стороні низької напруги ТВП працюють кожний на свою секцію, з АВР - на межсекційному зв'язку .

Потужність ТВП вибирається з умови, щоб їх коефіцієнт завантаження був приблизно $K_z = 0,7 \dots 0,75$.

Для живлення оперативних кіл заводу використовується змінний струм.

Розраховуємо розрахункову потужність ТВП:

$$S_p = K_c \cdot S_{\Sigma} = 0,7 \cdot 20,7 = 14,49 \text{ кВА.}$$

Вибираємо до встановлення 2 трансформатора власних потреб: ТМ – 25/10, з коефіцієнтом завантаження $k_z = S_p / n \cdot S_n = 14,49 / 2 \cdot 25 = 0,289$.

Приймаємо до установки трансформатор: ТМ 25/10

$$\Delta P_x = 0,25 \text{ кВт, } \Delta P_k = 0,6 \text{ кВт, } U_k = 4,5 \%$$

$$I_x = 3,2 \%$$

Технічні характеристики ТВП представлені в таблиці А4 Додатку А.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис			58

7 РОЗРОБКА ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ЗАХОДІВ В СИСТЕМАХ ВЕНТИЛЯЦІЇ ТА КОНДИЦІОНУВАННЯ

7.1. Види вентиляційних систем для молокозаводу.

У тих виробничих цехах, де під час роботи обладнання виділяється надлишок вологи, зазвичай встановлюють систему, яка не тільки виводить забруднене повітря, але й забезпечує подачу сухого та підігрітого повітря. Така вентиляція допомагає одночасно вирішувати кілька проблем.

Іноді у приміщеннях, де постійно видаляється волога, температура раптово знижується, що може спричинити утворення конденсату на техніці, корозію та поломки. Крім того, зміна температури може призвести до появи туману, що ускладнює роботу – працівники не зможуть нормально бачити, що відбувається в цеху, що збільшує ризик травм.

Щоб вирішити цю проблему, рекомендується подавати повітря температурою 30-35°C, причому воно має надходити лише в верхню частину приміщення. Для видалення вологого повітря використовується витяжна система вентиляції. Така схема підходить лише для приміщень з висотою понад 5 метрів, інакше тепле та сухе повітря може негативно вплинути на працівників та обладнання.

Холодне повітря може значно впливати на ефективність технологічних процесів, призводячи до зниження температури в приміщеннях і порушення нормальної роботи обладнання. Для того, щоб уникнути таких проблем, крім використання нагрівальних систем, можна застосовувати ще один ефективний метод — створення теплової завіси. Така система дозволяє підтримувати комфортні температурні умови в тих зонах, де існує високий ризик проникнення холодного повітря.

Теплова завіса встановлюється на молокозаводі в таких критичних точках:

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис			59

– у відділеннях приймання та видачі продукції, де необхідно підтримувати стабільну температуру для збереження якості молока та інших продуктів;

– біля спеціальних прорізів у зовнішніх стінах, через які здійснюється подача сировини та тари, що дозволяє зберегти тепло всередині приміщення і не допустити потрапляння холодного повітря ззовні;

– на мийках автоцистерн, де постійно відбувається процес миття техніки, і важливо підтримувати оптимальну температуру для ефективності очищення та забезпечення комфортних умов для працівників.

Застосування теплової завіси допомагає не лише уникнути температурних коливань, але й забезпечити енергозбереження на підприємстві, оскільки знижує потребу в додатковому обігріві і підтримує сталість температури в зонах з підвищеними вимогами до мікроклімату.

На молокозаводі та в його цехах використовується механічна система вентиляції, що поєднує припливну та витяжну вентиляцію. Її функціонування залежить від особливостей кожного виробничого приміщення.

В апаратному цеху, де відбувається приймання й фасування молока, встановлюють механічну припливну систему з компактними повітроводами у верхній частині приміщення. Додатково передбачають місцеві відсмоктувачі в найбільш забруднених зонах.

Для цехів, де виготовляють сирну продукцію, фасують сметану та сир, а також здійснюють миття тари, передбачена аналогічна вентиляційна система. У сольному цеху та камерах дозрівання додатково використовують обладнання для рециркуляції повітря, при цьому витяжна система залишається незмінною.

Для боротьби з пилом на молочному заводі, окрім вентиляційних систем, застосовують олійні фільтри або пристрої тонкого очищення. Вони переважно встановлюються в місцях відкритих технологічних процесів, у заквасочному цеху та на виробництві дитячого молока. Окрім фільтрації, здійснюється також санітарна обробка повітря.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис			60

У деяких випадках додатково монтують обладнання для кондиціонування, яке сприяє стабільному повітрообміну. Це особливо важливо для правильного дозрівання сирів.

Одним із головних негативних факторів, з яким необхідно боротися, є волога.

У зонах перетоплення масла, крім вологи, також присутні випари та підвищена теплота.

У приміщеннях, де здійснюється упаковка сировини, основними шкідливими факторами є випаровування поліетилену та теплова енергія.

Що стосується пилу, його найбільше утворюється в цехах, де фасують сухе молоко.

Таблиця 7.1. Розрахункові характеристики повітря у виробничих приміщеннях молочної промисловості

Приміщення	Температура повітря в приміщенні, °С	Відносна вологість повітря, %	Швидкість руху повітря	Кратність повітрообміну, обмінів/год
Приймальне відділення	16-18	60-75	0,2-0,4	8-12
Цех виробництва незбираномолочних продуктів	18-20	60-75	0,2-0,5	8-12
Сироварні, заквасочні відділення	18-22	60-75	0,2-0,5	8-12
Камери дозрівання сиру	10-14	85-90	0,2-0,5	3-5
Цех виробництва масла	18-22	60-75	0,5-1,0	8-12
Цех розливу та фасування	16-20	60-75	0,2-0,5	8-12
Цех сухого молока	22-25	40-50	0,5-1,0	8-12
Мийні відділення	16-20	60-75	0,2-0,4	10-15

У приміщеннях із підвищеним рівнем вологи важливо забезпечувати оптимальні параметри мікроклімату, оскільки навіть незначне зниження температури може спричинити утворення конденсату на охолоджувальних поверхнях, що є неприпустимим.

Для мінімізації надлишкової вологості та запобігання туманоутворенню рекомендується подавати в приміщення сухе повітря з температурою 30–35 °С у верхню зону. Видалення повітря здійснюється за допомогою витяжної вентиляції. Однак така система загальнообмінної вентиляції може застосовуватися лише за умови, що висота приміщення не менше 5 метрів. В іншому разі перегріте повітря поширюватиметься в робочу зону, створюючи дискомфорт для персоналу.

Щоб запобігти проникненню холодного повітря через ворота прийому-видачі продукції або через прорізи в зовнішніх стінах для завантаження тари та сировини, у приміщеннях мийки автоцистерн встановлюються повітряні теплові завіси. Це дозволяє зберігати стабільний мікроклімат і підвищувати енергоефективність виробничих процесів.

Підбір повітряно-теплової завіси:

Підбір повітряних теплових завіс здійснюється з урахуванням параметрів зовнішнього повітря. На практиці використовують різні типи повітряних завіс, зокрема:

- Односторонні та двосторонні (залежно від необхідного рівня ізоляції повітряного потоку);
- Верхні (розташовані над прорізами) та нижні бічні (встановлювані з боків отворів).

Правильний вибір і розміщення завіс забезпечує ефективний захист від холодного повітря, підтримання стабільного мікроклімату в приміщеннях і зменшення тепловтрат.

Розрахунок повітряної завіси шиберуючого (відсічного) типу передбачає визначення основних параметрів повітряного струменя, необхідного для ефективного блокування холодного повітря ззовні:

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис			62

$$G_{\text{зав}} = 16000 \cdot \bar{q} \cdot \mu_{\text{пр}} \cdot F_{\text{пр}} \cdot \sqrt{\Delta\rho \cdot \gamma_{\text{см}}}$$

де q - відношення витрати повітря завіси до об'єму повітря, що проходить через отвір під час її роботи. Для бічних завіс рекомендується приймати значення 0,6–0,7, а для нижніх – 1,0;

$\mu_{\text{пр}}$ - коефіцієнт витрати повітря через отвір під час роботи завіси. Він безпосередньо залежить від конструктивних особливостей завіси, типу отвору та об'єму поданого повітря;

$F_{\text{пр}}$ - площа прорізу, оснащеного завісою, м²;

$\Delta\rho$ - перепад тиску повітря між внутрішнім і зовнішнім середовищем на рівні отвору, кгс/м²;

$\gamma_{\text{см}}$ - питома вага повітряної суміші, що утворюється з повітря завіси та зовнішнього повітря при температурі в зоні воріт приміщення, кгс/м³.

Розрахункову різницю тиску визначає за формулою:

$$\Delta\rho = h \cdot (\gamma_{\text{н}} - \gamma_{\text{в}})$$

де h – величина висота нейтральної зони,

$\gamma_{\text{н}}$ и $\gamma_{\text{в}}$ - питома вага повітря при зовнішній та внутрішній температурі, кгс/м³.

Температура повітря завіси обчислюється за формулою:

$$t_{\text{з}} = t_{\text{н}} + \frac{t_{\text{см}} - t_{\text{н}}}{\bar{q} \cdot (1 - Q)}$$

де $t_{\text{н}}$ - температура зовнішнього повітря для холодної пори року, °С;

$t_{\text{см}}$ - температура повітряної суміші, що проходить через отвір, °С.

Q - відношення втрат тепла разом із повітрям, що виходить через відкритий отвір, до теплової потужності калориферів.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис		63



Рисунок 7.1 - Приклад установки повітряно-теплової завіси.

Основні принципи організації повітрообміну у виробничих приміщеннях сироробного та молочного виробництва:

Апаратний цех, молокоприймальне відділення, цех розливу продукції

1. Припливна система здійснюється механічним способом, при цьому повітроводи розміщують у верхній зоні приміщення, що забезпечує рівномірний розподіл повітряного потоку. Подавання повітря відбувається через обмежену кількість роздавальних пристроїв для оптимізації повітрообміну. Винятком є цехи, де виробничі процеси проходять у закритих умовах – там у теплий період року допускається використання природної вентиляції для подачі свіжого повітря.

2. Витяжна система працює в механічному режимі, а її повітроводи розташовуються у верхній зоні приміщення, що сприяє ефективному видаленню забрудненого повітря. Додатково, у цехах розливу продукції

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис		64

передбачено встановлення місцевих відсмоктувачів над технологічним обладнанням, які дозволяють локально усувати зайві випари та забруднення, покращуючи умови роботи персоналу.

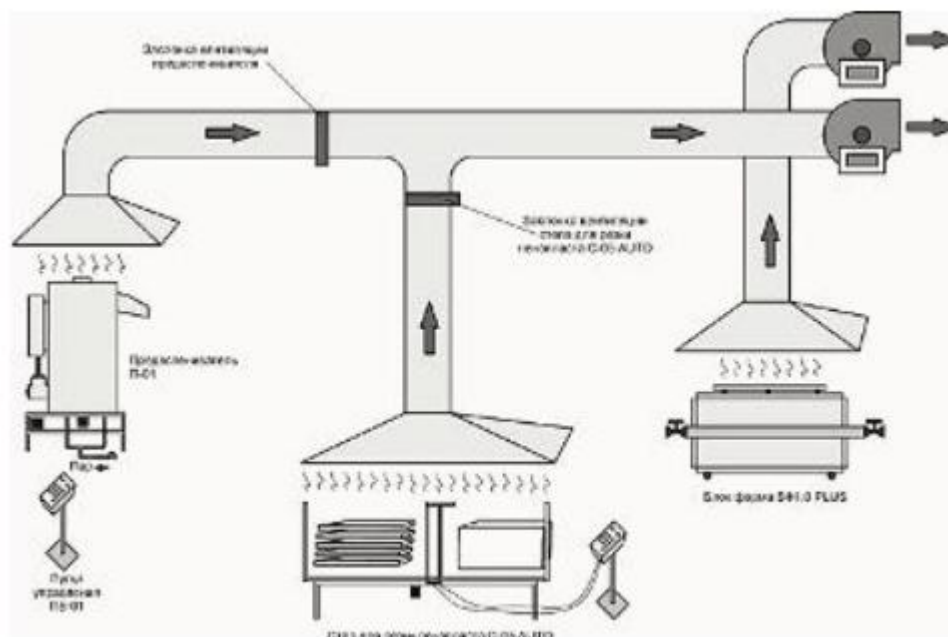


Рисунок 7.2 - Приклад роботи систем місцевих відсмоктувачів

Цехи виробництва сиру, глазуrowаних сирків, морозива, фасування сирної продукції, сметани

1. Припливна система виконується механічним способом, при цьому повітроводи монтуються у верхній зоні приміщення для забезпечення рівномірного розподілу повітря. Подавання повітря здійснюється через обмежену кількість роздавальних пристроїв, що сприяє оптимальному повітрообміну. Додатково передбачено очищення повітря перед його подачею в приміщення, що підвищує якість повітряного середовища та покращує умови праці.

2. Витяжна система працює механічним способом, а її повітроводи розміщуються у верхній зоні приміщення, що забезпечує ефективне видалення відпрацьованого повітря та підтримання належного мікроклімату.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис		65

Цех відновлення сухого молока, миття тари та автоцистерн:

1. Припливна система реалізується механічним способом, при цьому повітроводи встановлюються у верхній зоні приміщення, що сприяє рівномірному розподілу повітряного потоку. Подавання повітря здійснюється через обмежену кількість роздавальних пристроїв для ефективного повітрообміну. У теплий період року передбачена можливість природного надходження свіжого повітря, що дозволяє зменшити енергоспоживання вентиляційної системи.

2. Витяжна система функціонує механічним способом, а її повітроводи встановлюються у верхній зоні приміщення, що забезпечує ефективне видалення відпрацьованого повітря та підтримання оптимального мікроклімату.

Цех вафель:

1. Припливна система працює механічним способом, при цьому повітроводи розміщуються у верхній частині приміщення, забезпечуючи рівномірний розподіл повітряного потоку. Подача здійснюється через обмежену кількість роздавальних пристроїв, а перед надходженням у приміщення повітря проходить процес очищення.

2. Витяжна система діє механічним методом, а її повітроводи встановлюються у верхній зоні приміщення, що дозволяє ефективно видаляти відпрацьоване повітря та підтримувати необхідні параметри мікроклімату.

Виробничий цех:

1. Припливна система здійснюється механічним способом, при цьому повітроводи розміщуються у верхній частині приміщення. Подача повітря виконується через мінімальну кількість роздавальних пристроїв, при цьому струмінь має горизонтальний напрямок і подається на висоті не більше 4 м від рівня підлоги. Перед надходженням у приміщення повітря проходить процес очищення, що забезпечує необхідну якість повітряного середовища.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис			66

2. Витяжна система працює механічним способом, а її повітроводи встановлюються у верхній зоні приміщення, що дозволяє ефективно видаляти відпрацьоване повітря та підтримувати оптимальні умови для роботи.

Цех обробки сиру:

1. Припливна система функціонує механічним способом, при цьому повітроводи встановлюються у верхній частині приміщення. Подача повітря здійснюється через обмежену кількість роздавальних пристроїв, при цьому напрямок струменя має бути горизонтальним і розташовуватися на певній висоті від рівня підлоги ≤ 4 м.

Перед подачею повітря проходить процес очищення, що сприяє підтриманню належної якості повітряного середовища.

2. Витяжна система також працює механічним способом, а її повітроводи розміщуються у верхній зоні приміщення. Додатково використовується система місцевих відсмоктувачів, які встановлюються біля укріттів, призначених для обсушування сиру, що сприяє ефективному видаленню вологи та підтриманню необхідних умов у виробничому приміщенні.

Відділення соління, камера дозрівання:

1. Приток повітря здійснюється за допомогою системи технологічного кондиціонування з рециркуляцією. Частка зовнішнього повітря, що додається, визначається на основі технологічних вимог і наданих фахівцями даних.

2. Витяжна система працює механічним способом і розміщується у верхній зоні приміщення, забезпечуючи ефективне видалення відпрацьованого повітря.

7.2. Вибір продуктивності вентиляції.

Розробка вентиляційної системи починається з обчислення її продуктивності, що визначається обсягом переміщуваного повітря в кубічних метрах на годину. Для проведення такого розрахунку необхідно

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис			67

мати план поверхів із зазначенням експлікації, в якій вказані функціональне призначення кожного приміщення та його площа.

Таблиця 7.2 - Розрахункові температури та кратність повітрообмінів в деяких приміщеннях виробничих та підсобних будівель.

№	Найменування цехів	Температура повітря, °С	Кратність повітрообміну		Примітка
			Приплив	Витяжка	
1.	Приміщення фасування сухого молока	+15-16	6,0	6,0	
2.	Приміщення фасування морозива	+15-16	5,0	5,0	
3.	Мийні відділення тари та інвентаря	+15-16	7,0	8,0	
4.	Складські приміщення зберігання інвентарю та продуктів (опалювальні)	+5-14 за технологічними нормами	-	0,5	
5	Підсобні приміщення	+15-16	5,0	5,0	
6.	Лабораторії	+16-17	3,0	3,0	
Хімічно-бактеріологічні лабораторії					
	-за присутності місцевих відсмоктувачів	+18-19	По швидкостях в робочому отворі шафи		
	-за відсутності місцевих відсмоктувачів	+18-19	8,0	10,0	
	-бактеріологічна лабораторія	+18-19	4,0	5,0	

Спершу визначається кратність повітрообміну, яка показує, скільки разів за годину повітря у приміщенні повністю оновлюється. Наприклад, якщо площа приміщення становить 50 м², а висота стелі – 3 м, то його об'єм дорівнює 150 м³. За умови двократного повітрообміну необхідна подача повітря складатиме 300 м³/год.

Оптимальна кратність вентиляції залежить від призначення приміщення, кількості присутніх людей, а також тепловиділення від обладнання. Вона встановлюється відповідно до будівельних норм і правил (БНіП). Для більшості виробничих приміщень приймається показник у межах 2-3 оновлень на годину.

Щоб визначити потрібну продуктивність вентиляційної системи, виконують два розрахунки: за кратністю повітрообміну та за числом осіб, що перебувають у приміщенні. Підсумкове значення беруть за більшим із двох отриманих показників.

1. Розрахунок повітрообміну за кратністю:

$$L = n \cdot S \cdot H,$$

де L — потрібна продуктивність припливної вентиляції, м³/год;

n — кратність повітрообміну за нормованими критеріями: для житлових приміщень $n = 1$, для офісів $n = 2,5$.

S — площа виробничого приміщення, м²;

H — висота виробничого приміщення, м;

2. Розрахунок повітрообміну за кількістю людей:

$$L = N \cdot L_{\text{норм}},$$

де L — потрібна продуктивність вентиляції, м³/год;

N — чисельність людей;

$L_{\text{норм}}$ — нормована витрата повітря на одну людину

– в стані спокою — 20 м³/год;

– в стані фізичного навантаження — 60-100 м³/год.

Після визначення необхідного обсягу повітрообміну підбирають вентилятор або припливну установку з відповідною продуктивністю. Важливо враховувати, що через аеродинамічний опір повітропроводів можливе зниження ефективності роботи вентилятора. Співвідношення продуктивності та повного тиску можна знайти у вентиляційних характеристиках, що наведені в технічній документації на обладнання.

7.3. Енергозберігаючі технології в системах вентиляції приміщень.

7.3.1. Вибір енергоефективного вентиляційного обладнання.

Сучасний стан ринку енергоресурсів акцентує увагу на застосуванні економічного обладнання та повторному використанні відпрацьованої

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис			69

енергії. У вентиляційних системах утилізація вторинних теплових ресурсів сприяє зниженню експлуатаційних витрат.

Отримання вторинної енергії в системах вентиляції можливе такими методами:

- передача тепла або холоду від повітря, що видаляється (за умови відсутності рециркуляції);
- використання теплоти або холоду технологічного обладнання (за наявності відповідних умов).

Види теплоутилізаторів

Теплоутилізатори, які використовуються у вентиляційних системах, поділяються на такі основні типи:

- 1) *Пластинчасті теплообмінники* – відомі також як перехресні або рекуперативні;
- 2) *Роторні теплообмінники* – регенеративні, що функціонують за рахунок обертового ротора;
- 3) *Рекуператори з проміжним теплоносієм* – системи, що передають тепло через рідинний або газовий посередник.

Хоча існують й інші типи теплообмінників, їхня ефективність зазвичай нижча, тому основна увага приділяється саме цим трьом видам.

В умовах зростаючих витрат на енергоресурси оптимізація експлуатаційних витрат є ключовим завданням при проєктуванні вентиляційних систем. Важливо заздалегідь передбачити можливість використання додаткових пристроїв для підвищення енергоефективності. Вони можуть встановлюватися окремо або інтегруватися безпосередньо у вентиляційні установки, що значно покращує їхню продуктивність.

Перехресні (пластинчасті) теплообмінники

Пластинчасті рекуператори мають різну ефективність, яка коливається в межах 50–90%. Їхньою перевагою є відсутність рухомих елементів, а теплообмін відбувається через спеціальні пластини, між якими

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис			70

проходять два потоки повітря — припливний і витяжний. Хоча вони фізично не змішуються, повністю виключити можливість контакту не можна.

Регулювання рівня теплозбереження здійснюється за допомогою пропускного клапана, що змінює об'єм повітря, яке проходить крізь теплообмінник.

При використанні пластинчастих теплообмінників слід враховувати ризик утворення конденсату. З цієї причини такі рекуператори оснащуються спеціальними відводами для відведення вологи, герметичними затворами для захисту повітропроводів від води, а також системою розморожування, що запобігає накопиченню льоду в холодну пору року.

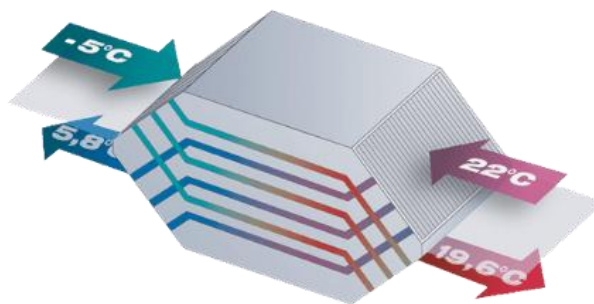


Рисунок 7.3 – Принцип роботи пластинчатого рекуператора

Пластинчастий рекуператор складається з набору металевих пластин, які розділяють припливний і витяжний потоки повітря. Тепло передається від теплого витяжного повітря до холодного припливного завдяки безперервному процесу теплообміну. Регулярне обтікання пластин повітряними потоками забезпечує стабільний та ефективний перехід теплової енергії.

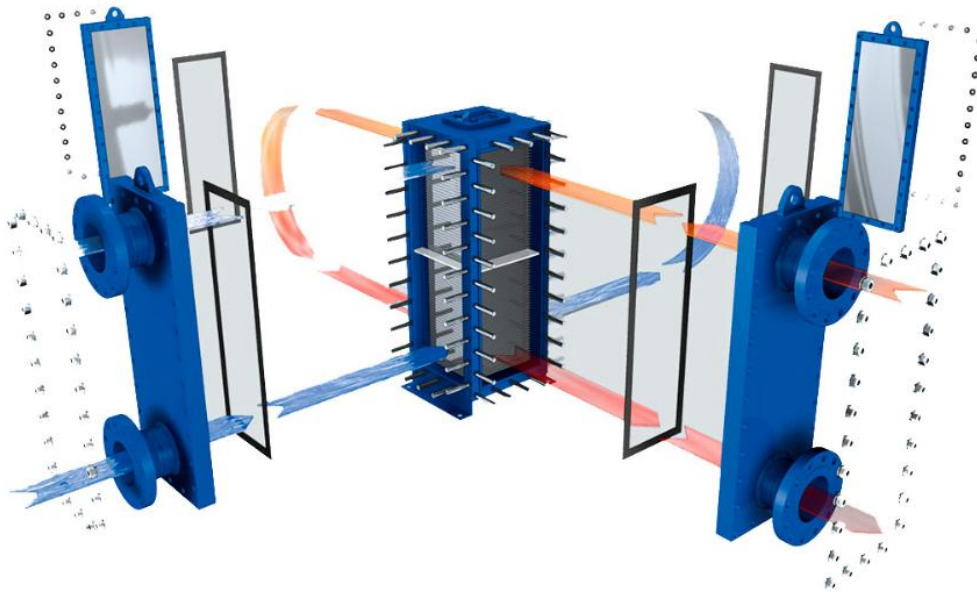


Рисунок 7.4 – Системи повітряобміну пластинчатого рекуператора

Припливно-витяжні установки, оснащені пластинчастими рекуператорами, дозволяють знизити витрати на нагрівання припливного повітря на 60-70%. В їх основі лежить перехресно-поточковий рекуператор, що складається з пакету тонких пластин (металевих, пластикових або з обробленої целюлози), між якими залишені повітряні канали. Витяжне повітря рухається через кожен другий канал, тоді як припливне – через сусідні, завдяки чому відбувається передача тепла.

Рекуператори з целюлозними пластинами мають додаткову здатність балансувати рівень вологості в приміщенні, адсорбуючи або віддаючи водяну пару. Це дозволяє зменшити навантаження на систему кондиціонування в літній період.

Окрім теплообмінника, конструкція припливно-витяжної установки включає вентилятори для припливу та витяжки, фільтри для очищення повітря від пилу, електронагрівач та систему автоматичного регулювання температури на основі датчиків.

Найбільші енерговитрати спостерігаються при плюсових та слабких мінусових температурах, коли можливе утворення льоду між пластинами рекуператора (-3...-8 °C). Це може знизити ефективність системи, тому перед

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис		

входом у установку встановлюють електронагрівач або обвідний канал (байпас) із керованою заслінкою.

Роторні рекуператори

Роторні теплообмінники відзначаються високою ефективністю, яка досягає 75-85%. Їх головною особливістю є наявність рухомої частини – ротора, що здійснює передачу тепла між припливним і витяжним повітрям. Інтенсивність рекуперації можна регулювати, змінюючи швидкість обертання ротора.

Оскільки в таких теплообмінниках потоки можуть частково змішуватися, що потенційно призводить до передачі запахів і забруднень, слід ретельно продумати розташування вентиляторів у системі. Однак ризик утворення льоду мінімальний, тому необхідність у додатковій системі розморожування зазвичай відсутня.

Розглянемо детальніше, як саме працює роторний рекуператор.

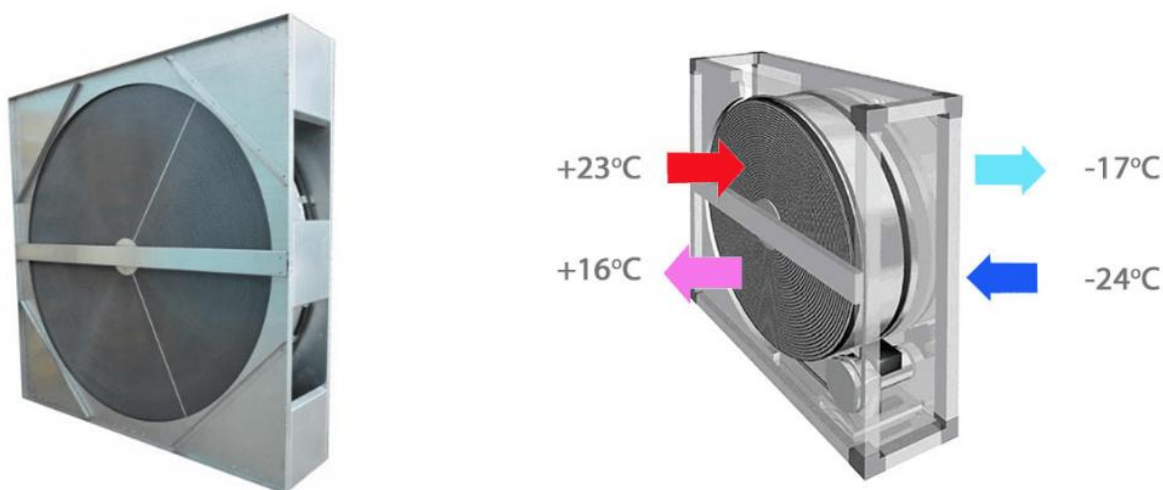


Рисунок 7.5 – Принцип роботи роторного рекуператора

Роторний рекуператор має складнішу конструкцію порівняно з іншими видами теплообмінників, оскільки містить рухомий елемент – ротор. Передача тепла здійснюється через постійне обертання цього елемента між каналами припливного і витяжного повітря. Сам ротор являє собою

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис			73

компактний циліндр, заповнений чергуючимися плоскими та гофрованими стрічками, що утворюють дрібні канали для проходження повітря. В процесі обертання ці канали по черзі нагріваються в теплому потоці та віддають тепло холодному. Такий принцип роботи характерний для регенеративних теплообмінників, які забезпечують ефективність до 80-85%.

Припливно-витяжні системи з роторним рекуператором можуть функціонувати без попереднього підігріву повітря, а висока ефективність теплозбереження часто дозволяє обійтися без додаткового повітрянагрівача. У регіонах із м'яким кліматом, зокрема на півдні України, а також у приватних будинках із власною системою опалення, додаткове підігрівання припливного повітря може не знадобитися протягом усього року.

Якщо температура зовнішнього повітря суттєво знижується, система автоматично регулює витрату припливного повітря, оптимізуючи роботу рекуператора. Обмерзання теплообмінника можливе лише при температурах нижче -20°C . Для розморожування сучасні пристрої використовують два методи: зменшення швидкості обертання ротора за допомогою частотного регулювання або тимчасове вимкнення припливного вентилятора із закриттям заслінки забору повітря.

Використання припливно-витяжних систем вентиляції з рекуперацією тепла є одним із ключових напрямків енергозбереження в сучасних будівлях.

Рекуператори з проміжним теплоносієм

У вентиляційній системі застосовуються два теплообмінники, розташовані у припливному та витяжному каналах, між якими циркулює теплоносій (вода або водно-гліколевий розчин). Коефіцієнт корисної дії таких рекуператорів варіюється в межах 45-60%, а рівень теплопередачі можна регулювати, змінюючи швидкість руху теплоносія.

Головна перевага теплообмінників із проміжним теплоносієм – повна ізоляція середовища, що унеможлиблює передачу забруднень між потоками повітря.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис			74

Сучасний ентальпійний рекуператор від Jablotron, який використовується у вентиляційних установках Futura M/L, демонструє ККД 91,4% та не замерзає навіть при низьких температурах завдяки здатності змінювати напрямки потоків повітря. Це дозволяє відмовитися від переднагрівача, підвищуючи енергоефективність системи.

Кожен тип рекуператора має як переваги, так і певні обмеження. Наприклад, пластинчасті теплообмінники можуть піддаватися обмерзанню, тоді як роторні позбавлені цього недоліку. Водночас пластинчасті моделі майже герметичні, а роторні можуть частково змішувати припливне і витяжне повітря.

Обидва види теплообмінників є ефективними та широко застосовуються в системах вентиляції. Вибір конкретного типу обладнання має здійснюватися індивідуально, залежно від особливостей експлуатації та вимог до повітрообміну.

Використання ЕС-двигунів

Одним із основних елементів механічної вентиляції є двигун. Сучасні виробники вентиляційного обладнання дедалі частіше переходять від традиційних асинхронних двигунів до ЕС-моторів (Electronically Commutated Motors).

Переваги ЕС-двигунів над асинхронними:

1. Вищий ККД і зниження енергоспоживання.

ЕС-двигуни демонструють значно вищу ефективність завдяки безщітковій конструкції та електронному комутуванню. Вони здатні скоротити споживання електроенергії до 40%, що робить їх більш економічними у використанні.

2. Точне регулювання швидкості.

На відміну від асинхронних аналогів, ЕС-двигуни дозволяють плавно і точно змінювати швидкість обертання без втрати ККД. Це дає змогу адаптувати продуктивність вентилятора до поточних потреб, зменшуючи

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис			75

витрати електроенергії та забезпечуючи оптимальний повітрообмін. Окрім цього, робота на низьких обертах супроводжується мінімальним рівнем шуму, що покращує акустичний комфорт у приміщенні.

3. Інтеграція у систему диспетчеризації.

Сучасні ЕС-двигуни підтримують підключення до централізованих систем керування вентиляцією. Це дозволяє здійснювати постійний контроль усіх елементів у режимі реального часу, оперативно виявляти відхилення у роботі вентиляторів і запобігати можливим несправностям. Завдяки такому моніторингу також можна швидко знаходити та усувати проєктні недоліки або дисбаланс у роботі системи, що сприяє її стабільній і ефективній експлуатації.

7.3.2. Застосування регулювання швидкості обертання приводів вентиляторів.

Основні принципи регулювання

Регулювання швидкості дає можливість точно налаштувати обсяг повітряного потоку відповідно до вимог проєкту вентиляційної системи. Фахівець проводить налаштування та тестування обладнання, підбираючи оптимальний режим роботи відповідно до реальних умов експлуатації. Це забезпечує стабільну, економічно вигідну та технічно виправдану ефективність, що відповідає як особливостям приміщення, так і встановленим нормативам.

У великих промислових або складських зонах умови експлуатації можуть змінюватися досить часто. Наприклад, у робочі години, коли обладнання працює на повну потужність, вентилятор функціонує з максимальною продуктивністю, оперативно оновлюючи повітря. Вночі або під час технологічних перерв швидкість обертання можна зменшити, щоб уникнути зайвих витрат електроенергії та знизити рівень шуму. Це лише один із прикладів застосування регульованої вентиляції в промисловості.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис			76

Швидкість обертання вентилятора визначається різними чинниками, серед яких напруга живлення, сила струму, частота електричного сигналу та можливості керуючої електроніки. Впливаючи хоча б на один із цих параметрів, можна суттєво змінити роботу пристрою.

Наприклад, зменшуючи напругу, вентилятор переходить у менш потужний режим, що уповільнює його обертання. Так само регулювання струму дозволяє знижувати інтенсивність роботи двигуна. Одним із найбільш ефективних способів керування є зміна частоти електроживлення, яку здійснюють інвертори або частотні перетворювачі. Це забезпечує більш точне та плавне регулювання, що особливо важливо для сучасних вентиляційних систем.

Сучасні керуючі електронні модулі використовують інтелектуальні алгоритми, які автоматично визначають оптимальні параметри для підтримки необхідного рівня продуктивності. Завдяки цьому система вентиляції може ефективно адаптуватися до різних умов експлуатації. У наступному розділі розглянемо основні методи регулювання швидкості.

Регулювання продуктивності вентиляції проводиться:

- Для підтримки постійного рівня якості повітря (CO₂, вологість, температура) — інтеграція з датчиками дозволяє автоматично змінювати швидкість вентиляції.
- В системах кондиціонування і опалення — оптимальне співвідношення вентиляції та температурного режиму.

Регулювання швидкості вентилятора дозволяє не тільки заощаджувати енергію, але й підвищувати комфорт, продовжувати ресурс обладнання та забезпечувати ефективний контроль за мікрокліматом. Сучасні рішення, такі як частотні перетворювачі та ЕС-двигуни, забезпечують гнучке та економічне управління вентиляційними системами, що є важливим кроком до енергоефективного будівництва.

Методи регулювання швидкості обертання вентилятора

Швидкість обертів вентилятора можна змінювати за допомогою різних електротехнічних методів, що дозволяють гнучко керувати його продуктивністю. Кожен із методів має свої особливості, переваги та сфери застосування.

1) Перемикання швидкостей.

Використовується в простих системах, де передбачено кілька рівнів швидкості (наприклад, 3-5 ступенів). Реалізується через ступеневі трансформатори або електронні перемикачі.

2) Регулювання напруги.

Використовується для асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором, але має обмежену ефективність, оскільки зниження напруги зменшує крутний момент.

Зменшення напруги призводить до зниження потужності двигуна, а отже, і до зменшення його швидкості обертання.

Переваги:

- Простий і недорогий спосіб регулювання.
- Підходить для невеликих вентиляторів із постійним навантаженням.

Недоліки:

- Неefективний для двигунів з високими вимогами до стабільності обертів.
- При зниженні напруги двигун може втрачати крутний момент.

3) Регулювання струму.

Контроль величини струму, що проходить через обмотки двигуна, дозволяє впливати на його продуктивність.

Переваги:

- Можливість більш точного налаштування швидкості.
- Підходить для деяких типів електродвигунів, зокрема ЕС-двигунів.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис			78

Недоліки:

- Вимагає спеціального обладнання для коректного керування.
- Менш ефективний, ніж частотне регулювання.

4) Зміна частоти живлення (частотні перетворювачі).

Найефективніший метод, що застосовується в сучасних вентиляційних системах. Частотні перетворювачі дозволяють плавно змінювати швидкість обертання двигуна без втрати ККД.

Переваги:

- Висока енергоефективність.
- Плавне регулювання швидкості без ривків.
- Довготривалий ресурс двигуна завдяки відсутності різких пускових навантажень.

Недоліки:

- Дорожче обладнання у порівнянні з іншими методами.
- Потрібна сумісність із двигуном.

5) Інтелектуальне керування через електронні схеми (застосування ЕС-двигунів).

ЕС-двигуни (Electronically Commutated Motors) мають вбудовану систему керування швидкістю. Вони дозволяють плавно і точно регулювати продуктивність вентилятора, забезпечуючи максимальну ефективність та енергозбереження.

Сучасні ЕС-двигуни обладнані електронними модулями, що дозволяють змінювати швидкість за допомогою сигналів керування.

Переваги:

- Висока точність та адаптивність до змінних умов.
- Мінімальне споживання енергії.
- Можливість інтеграції у системи «Розумний дім» або диспетчеризації вентиляції.

Недоліки:

- Вимагає складної електроніки та налаштування.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис			79

- Вища початкова вартість обладнання.

Вибір способу регулювання швидкості вентилятора залежить від особливостей системи, необхідної точності керування та бюджету. Для сучасних вентиляційних систем найефективнішими є ЕС-двигуни та частотні перетворювачі, оскільки вони забезпечують плавне регулювання, енергоощадність та високу адаптивність до умов експлуатації.

7.3.3. Типи пристроїв для регулювання швидкості.

Види регуляторів швидкості для вентиляторів:

Для однофазних моделей:

- Тиристорні регулятори
- Симісторні регулятори
- Ступінчасті пристрої з фіксованими режимами
- Однофазні трансформаторні регулятори

Для трифазних вентиляторів:

- Трифазні трансформаторні регулятори
- Частотні перетворювачі
- Для вентиляторів з ЕС-мотором:
- Регулятор для ЕС-двигунів

Тиристорні регулятори

Ці пристрої працюють за принципом зміни поданої напруги, відсікаючи частину електричного сигналу. Такий підхід дозволяє зменшувати швидкість вентилятора без використання складних перетворювачів. Основні переваги — доступна ціна та простота монтажу. Проте є й недоліки: на низьких обертах не завжди забезпечується рівномірна й стабільна робота, а окремі двигуни можуть функціонувати нерівномірно, викликаючи вібрації або шум. Цей тип регуляторів зазвичай використовується для керування повітряним потоком у побутових витяжних та однофазних каналних вентиляторах.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис			80

Ступінчасті регулятори

Якщо немає потреби у плавному регулюванні швидкості, а достатньо декількох встановлених рівнів, то цей варіант буде зручним рішенням. Такі пристрої дозволяють обирати один із заздалегідь визначених режимів роботи, наприклад, мінімальний, середній або максимальний. Це значно спрощує налаштування, оскільки користувач може легко встановити бажаний рівень. Такі регулятори відзначаються невисокою вартістю та простотою монтажу, хоча можуть виявитися не надто зручними, якщо часто виникає необхідність змінювати параметри повітрообміну.

Частотні регулятори

У промислових і комерційних системах вентиляції, де використовуються трифазні електродвигуни, доцільно застосовувати частотні регулятори. Вони змінюють частоту поданої напруги, що дає можливість плавно контролювати швидкість обертання вентилятора. Завдяки цьому забезпечується необхідна продуктивність, знижується споживання електроенергії та збільшується термін експлуатації обладнання. Таке рішення особливо ефективне для масштабних вентиляційних систем, які переміщують значні обсяги повітря на підприємствах або в великих торгових центрах.

Регулятори для вентиляторів з ЕС-двигунами

Сучасні вентиляційні установки, оснащені ЕС-моторами, можуть керуватися за допомогою контролера з сигналом 0-10 В або спеціальних регуляторів, здатних забезпечити відповідне управління. ЕС-двигуни (електронно-комутовані мотори) містять вбудовану електроніку, яка дозволяє точно і плавно регулювати швидкість обертання. На відміну від інших типів регуляторів, ці пристрої не просто змінюють напругу чи частоту, а контролюють увесь процес роботи вентилятора. Це забезпечує максимальну ефективність, знижує витрати електроенергії та гарантує стабільну роботу на різних режимах. Хоча такі технології коштують дорожче, їх використання виправдане завдяки тривалому терміну служби, економії ресурсів та відмінним експлуатаційним характеристикам.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис			81

Підбір регулятора швидкості залежить від кількох важливих параметрів. Насамперед необхідно врахувати характеристики двигуна, тип вентилятора та умови його роботи. Для потужних промислових або комерційних систем, що використовують трифазні мотори й забезпечують значний повітрообмін, знадобиться більш продуктивне та технологічне рішення.

Наступний аспект – рівень необхідного контролю швидкості. Чи достатньо кількох фіксованих режимів, або ж потрібне плавне регулювання обертів. Від цього залежить вибір між ступінчастим регулятором і складнішими пристроями, такими як частотні перетворювачі чи системи керування ЕС-двигунами.

Також варто враховувати бюджет, складність установки та можливість інтеграції в автоматизовані системи. У деяких випадках просте, але надійне рішення буде найкращим вибором. В інших ситуаціях доцільніше інвестувати у сучасні технології, які підвищують енергоефективність і забезпечать тривалий термін служби.

Під час вибору регулятора важливо враховувати запас потужності. Наприклад, якщо вентилятор споживає 200 Вт, регулятор повинен бути розрахований щонайменше на 250–300 Вт, щоб уникнути перевантажень. Це особливо актуально, оскільки напруга в мережі може коливатися, і при її підвищенні зростає енергоспоживання вентилятора, що може призвести до перегріву або виходу з ладу керуючого пристрою.

7.3.4. Способи регулювання робочого режиму ВУ.

Вентиляційні системи повинні забезпечувати необхідні параметри функціонування, адаптуючись до змін у роботі підприємства протягом усього терміну експлуатації. Режимми можуть змінюватися залежно від виробничого навантаження, циклічності процесів (вихідні, ремонтні періоди, зміни в графіку роботи) та зовнішніх чинників. Зокрема, на параметри впливають

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис			82

сезонні коливання природної тяги, зміни у витоках та підсосах повітря, що коригують характеристики вентиляційної системи.

Для ефективної роботи в таких умовах використовуються вентиляторні установки з можливістю регулювання. Одним із найпростіших методів є дроселювання потоку. Використання засувок та інших пристроїв для зміни опору повітропроводу дозволяє коригувати положення робочої точки системи.

– При нагнітальній схемі вентиляції дроселювання виконується на виході вентилятора.

– При всмоктувальній схемі регулювання здійснюється на вході у вентилятор.

У будь-якому з варіантів додатковий опір змінює характеристику вентиляційної мережі, залишаючи напірні параметри вентилятора без змін.

На рисунку 7.1 представлено $Q - H$ характеристики вентилятора (в), мережі (м) та дроселя (д), підключеного послідовно.

Якщо дросель відсутній, система працює в точці 1, де втрати тиску у вентиляційній мережі відповідають напору вентилятора:

$$H_{p1} = H_{\delta 1} = H_{m1} .$$

Після введення дроселя змінюється загальна характеристика вентиляційної системи (мережа + дросель), що призводить до зміщення робочої точки в точку 2. У цьому випадку напір, створюваний вентилятором, дорівнює сумі втрат у мережі та на дроселі:

$$H_{p2} = H_{\delta 2} = H_{m2} + H_{\delta 2} .$$

Таким чином, дроселювання збільшує опір вентиляційної мережі, що призводить до зниження витрати повітря та зміни робочих параметрів системи.

Той самий результат можна отримати, якщо розглядати введення дроселя як зміну характеристики вентилятора, еквівалентну роботі механізму, що складається з вентилятора та дроселя (в+д), при цьому характеристика мережі залишається незмінною (рис. 7.1).

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис			83

Еквівалентна характеристика визначається аналогічним способом. У цьому випадку робоча точка зміщується в точку 3, де подача повітря $Q_{p3}=Q_{p2}$, а втрати напору в мережі дорівнюють напору еквівалентного механізму (в+д):

$$H_{p3}=H_{m2}=H_{(в+д)2}=H_{в2}+H_{д2}$$

Оскільки вентилятор створює напір, а дросель викликає його втрати, підсумовування виконується алгебраїчно, шляхом віднімання значення втрат дроселя від початкової характеристики вентилятора:

$$H_{(в+д)2} = H_{в2} - |H_{д2}|$$

При аналізі схем із послідовним підключенням елементів алгоритм визначення нової робочої точки немає впливу на кінцевий результат.

Порядок підсумовування характеристик набуває особливого значення під час аналізу розгалужених схем. У таких випадках взаємодія між окремими гілками системи вентиляції може впливати на рівномірність розподілу повітряних потоків, зміну напірних втрат і робочих параметрів кожного елемента мережі.

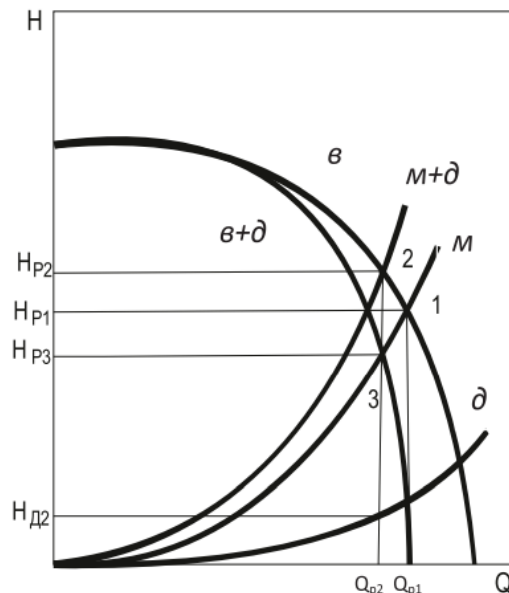


Рисунок 7.6 - Характеристики параметрів робочого режиму вентиляційної установки при дроселюванні

Зміна частоти обертання робочого колеса вентилятора вимагає використання регульованого приводу. Згідно з теорією подоби, при зміні швидкості вентилятора, подача (Q) змінюється пропорційно до швидкості обертання, а напір (H) змінюється пропорційно квадрату швидкості:

$$Q_1/Q_2 = n_1/n_2, H_1/H_2 = (n_1/n_2)^2$$

де n_1 і n_2 — відповідні частоти обертання.

Зміна вектору потоку на вході в робоче колесо відбувається через регулювання кута встановлення лопатей осьового направляючого апарату. Це змінює швидкість закручування потоку c_{u1} , що впливає на тиск вентилятора.

При закручуванні потоку за напрямком обертання (якщо $c_{u1} > 0$), згідно з рівнянням теоретичного тиску:

$$P_m = \rho u_2 c_{u2} \left(1 - \frac{D_1}{D} \times \frac{c_{u1}}{c}\right).$$

де:

Де P_m — теоретичний тиск вентилятора,

ρ — густина повітря,

u_1 та u_2 — швидкості на вході та виході вентилятора,

c_{u1} та c_{u2} — компоненти швидкості, що відповідають закручуванню потоку.

D_1 і D_2 — діаметри робочих коліс на різних швидкостях обертання.

При закручуванні потоку, тиск вентилятора зменшується, оскільки компонент закручування c_{u1} зменшує ефективність перетворення енергії потоку.

Щоб врахувати пропорційність переносної швидкості, що залежить від кількості обертів і діаметра робочого колеса, можна переписати рівняння, використовуючи відношення між обертами та діаметром:

Таким чином, зміна частоти обертання вентилятора та кута встановлення лопатей не тільки змінює потік і тиск, але й впливає на енергетичну ефективність і загальну продуктивність системи.

Зміна кута закручування потоку на вході в робоче колесо залежить від типу вентилятора: відцентрового чи осьового.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис		

У осьових вентиляторах відношення діаметрів робочого колеса до осьового напрямку потоку дорівнює одиниці, що означає вищу ефективність регулювання тиску через зміну напрямку потоку. Поворот лопатей робочого колеса осьових вентиляторів збільшує кут атаки, що, у свою чергу, підвищує циркуляцію в робочому колесі та збільшує тиск вентилятора.

У відцентрових вентиляторах лопаті звичайно нерухомі, але регулювання ефективності здійснюється через поворот периферійних частин лопатей, зокрема закрилок. Як показано на рисунку 7.7, є кілька положень закрилок. У середньому положенні закрилка займає позицію 4, а в положеннях 5 і 6 кут закрилки зменшується або збільшується. Коли кут закрилки збільшується, це призводить до збільшення зовнішнього діаметра робочого колеса D_2'' , а також змінюється кут β_2 . Це, згідно з рівнянням теоретичної напірної характеристики, збільшує тиск вентилятора.

Отже, у осьових вентиляторах ефективність регулювання тиску за допомогою зміни кута лопатей буде вищою, ніж у відцентрових вентиляторах, де ефект регулювання досягається через зміну кута закрилок, що менш ефективно порівняно з осьовими вентиляторам.

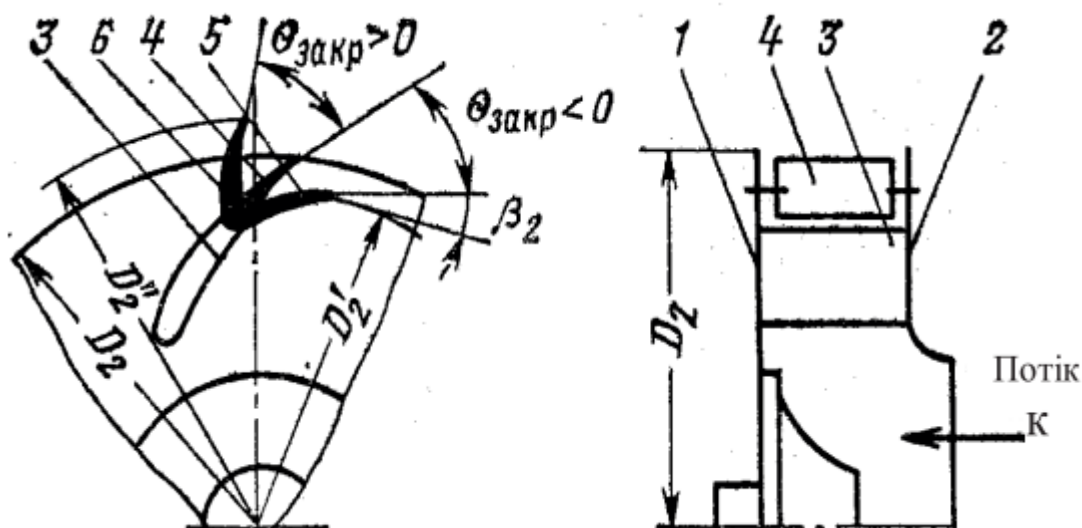


Рисунок 7.7 - Регулювання швидкості поворотом закрилок лопаток відцентрового робочого колеса

7.3.5. Порівнювальний аналіз з способів регулювання ВУ.

Серед перелічених методів дроселювання найпростіше впровадити на практиці, що сприяло його широкому застосуванню. Однак цей метод характеризується високими енерговитратами. Зростання цін на енергоресурси робить пріоритетним регулювання частоти обертання. На рисунку 7.3 показано напірну характеристику вентилятора (a1) та криву вентиляційної мережі (b1). Точка їх перетину відповідає робочому режиму з параметрами P_1 і Q_1 .

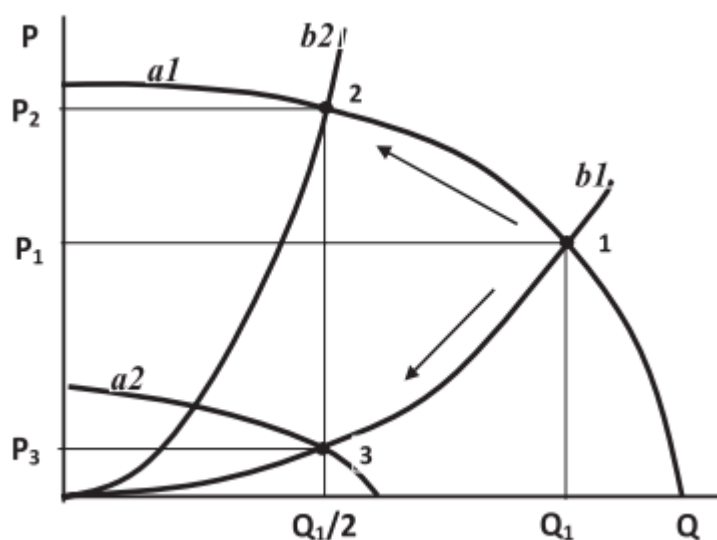


Рисунок 7.8 - Порівняльні характеристики регулювання дроселюванням і частотою обертання

Зменшення подачі вдвічі можливо шляхом дроселювання, що змінює характеристику мережі до b2 та переводить систему в робочу точку 2, або регулюванням частоти обертання, що коригує напірну характеристику до a2 і забезпечує перехід у робочу точку 3. Оцінити економічну ефективність цих методів при незмінному ККД вентилятора можна, порівнявши гідравлічну корисну потужність у точках 2 і 3:

$$N_{k2} = P_2 * Q_1/2; N_{k3} = P_3 * Q_1/2$$

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис		87

Отже, при дроселюванні гідравлічна корисна потужність буде в p_2/p_3 разів більшою, ніж при зміні швидкості обертання. Для наведеного співвідношення характеристик (рис. 7.2) цей метод виявляється більш ніж у шість разів енергоємнішим. Водночас, споживана електроприводом вентилятора потужність з електромережі буде дещо меншою через вищий ККД вентилятора в робочій точці 2 порівняно з точкою 3.

7.3.6. Управління та оптимізація системи вентиляції з використанням частотного перетворювача.

Основні функції частотних перетворювачів у вентиляційних системах.

Частотні перетворювачі відіграють ключову роль у регулюванні швидкості електродвигунів, що приводять у дію вентилятори. Вони забезпечують низку важливих функцій, які підвищують ефективність роботи, сприяють енергозбереженню та покращують контроль системи вентиляції. Основні можливості частотних перетворювачів включають:

1. Регулювання швидкості – забезпечують плавну зміну обертів вентиляторів, що дозволяє оптимізувати їх продуктивність відповідно до потреб системи.
2. Енергозбереження – дають змогу зменшити енергоспоживання шляхом зниження частоти обертання вентиляторів при часткових навантаженнях, що значно економить електроенергію порівняно з роботою на постійній максимальній швидкості.
3. Плавний запуск і зупинка – запобігають різким механічним навантаженням на обладнання, зменшують пускові струми та продовжують термін служби електродвигунів.
4. Точне керування – дозволяють підтримувати задані параметри вентиляційної системи (наприклад, тиск, температуру чи об'єм повітря) на необхідному рівні.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис			88

5. Інтеграція в автоматизовані системи – можуть підключатися до систем управління будівлею (BMS) або інших автоматизованих платформ, що забезпечує розширені можливості оптимізації та управління вентиляційною системою.

Завдяки цим функціям частотні перетворювачі значно покращують роботу вентиляційних систем, підвищуючи їхню гнучкість, надійність та енергоефективність.

Частотні перетворювачі виконують трансформацію постійного струму (ПС) у змінний струм (ЗС) завдяки використанню інвертора напруги. Цей пристрій перетворює постійну напругу від джерела живлення в змінну напругу з регульованими частотою та амплітудою. Така змінна напруга подається на електродвигун вентилятора, що дозволяє ефективно змінювати швидкість його обертання.

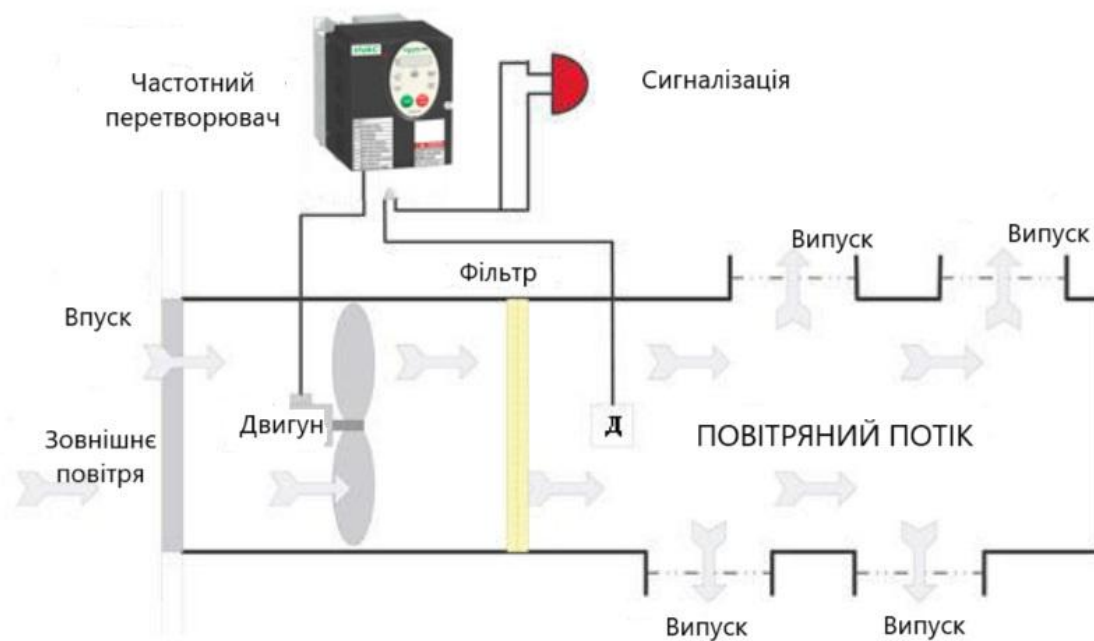


Рисунок 7.9 – Схема підключення частотного перетворювача

Частотний перетворювач змінює частоту змінного струму, що живить електродвигун, тим самим впливаючи на швидкість обертання вентилятора. Зі збільшенням частоти обертання зростає, а при її зменшенні – відповідно

знижується. Це дозволяє плавно і точно контролювати об'єм повітря, що подається вентилятором, відповідно до потреб системи.

Координація роботи вентиляторів для забезпечення оптимального потоку повітря

Для забезпечення оптимального потоку повітря в системах вентиляції з кількома вентиляторами використовуються різні методи координації роботи. Частотні перетворювачі (ЧП) дозволяють здійснювати ефективне регулювання потоку повітря та забезпечують точне управління вентиляційними процесами. Ось кілька основних стратегій координації:

1. Скоординоване керування із загальним сигналом.

– Всі частотники отримують один спільний сигнал керування, що дозволяє змінювати швидкість вентиляторів одночасно.

– Використовуються аналогові сигнали (4-20 мА) або цифрові протоколи (наприклад, Modbus).

– Це забезпечує просте синхронізоване регулювання швидкості повітряного потоку у всіх вентиляторах.

2. Управління по заданій різниці тиску.

– Кілька вентиляторів, встановлених у різних точках системи, можуть регулювати свою швидкість для підтримки заданої різниці тиску між точками.

– Це дозволяє забезпечити рівномірний потік повітря в різних частинах системи, враховуючи змінні умови навантаження.

3. Управління за температурою або рівнем CO₂.

– Для контролю об'єму повітря можна використовувати датчики температури або рівня CO₂ в приміщенні.

– Частотники автоматично змінюють швидкість вентилятора для підтримання заданої температури чи рівня CO₂, забезпечуючи комфортні умови для перебування людей у приміщенні.

4. Програмовані логічні контролери (ПЛК).

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис			90

– ПЛК дозволяє створювати складніші алгоритми для координації роботи вентиляторів.

– Вони можуть отримувати сигнали від різних датчиків та на основі цих даних керувати швидкістю вентиляційних систем для досягнення потрібних параметрів потоку повітря.

5. Автоматизовані системи керування будівлею (BMS).

– У великих або складних системах вентиляції можна застосовувати BMS для інтеграції управління вентиляцією з іншими системами будівлі.

– Це дозволяє здійснювати централізоване керування, враховуючи всі аспекти комфорту та енергоефективності в межах будівлі.

Вибір стратегії координації

Вибір конкретної стратегії залежить від таких факторів:

- Складність системи вентиляції
- Рівень автоматизації та необхідні параметри управління
- Наявність та тип сенсорів (температури, тиску, CO₂ тощо)
- Потреби в інтеграції з іншими системами будівлі (наприклад, BMS)

Ці фактори допомагають визначити найбільш ефективний метод для досягнення оптимального потоку повітря, забезпечуючи баланс між ефективністю та енергоефективністю.

Оптимізація роботи системи вентиляції за допомогою частотних перетворювачів

Оптимізація роботи системи вентиляції через частотні перетворювачі забезпечує енергоефективність, зменшує витрати на енергію та покращує загальну ефективність системи. Частотні перетворювачі дозволяють регулювати швидкість вентиляторів в реальному часі, що дозволяє точно відповідати на змінні умови. Ось як це працює:

1. Підстроювання швидкості вентиляторів під актуальні потреби.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис			91

Частотні перетворювачі дозволяють змінювати швидкість роботи вентиляторів залежно від поточного навантаження або потреби в повітрообміні. Якщо система потребує меншого обсягу повітря, швидкість вентиляторів можна знизити, що дозволить зекономити енергію. Наприклад, у годину пік або при підвищеному навантаженні вентилятори можуть працювати на повну потужність, а в менш навантаженні періоди — на знижених оборотах.

2. Плавний пуск та зупинка.

Використання частотних перетворювачів дозволяє здійснювати плавний пуск і зупинку вентиляторів, що має кілька важливих переваг:

- Зниження стартових струмів. Це значно зменшує навантаження на електричну мережу і на електродвигуни, що дозволяє зменшити енергетичні втрати під час запуску.

- Механічне навантаження. Плавний пуск знижує механічні навантаження на двигуни та інші компоненти вентиляційної системи, що також допомагає збільшити їхній термін служби.

3. Ефективне регулювання під допустимі межі.

Частотні перетворювачі забезпечують точне регулювання швидкості вентилятора. Це дозволяє підтримувати робочі параметри вентиляції в межах заданих норм і стандартів без необхідності використовувати надмірну енергію. Замість того, щоб вентилятори працювали на максимальних оборотах, навіть якщо цього не вимагають умови, частотний перетворювач автоматично регулює швидкість, підтримуючи енергоефективність.

4. Автоматичне регулювання швидкості вентиляторів залежно від потреби в повітрі.

Частотні перетворювачі можуть автоматично змінювати швидкість вентиляторів, враховуючи потребу в повітрі. Це може бути реалізовано за допомогою різних методів:

- Зворотний зв'язок від датчиків потоку повітря. Використання датчиків потоку повітря дозволяє визначити реальний об'єм повітря, який

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис			92

проходить через систему. Якщо рівень потоку змінюється, частотний перетворювач коригує швидкість вентиляторів для досягнення оптимального результату.

- Використання датчиків температури та вологості. Ці датчики забезпечують зворотний зв'язок про поточний клімат в приміщенні. Якщо температура або вологість змінюється, частотний перетворювач регулює швидкість вентиляторів для підтримки комфортних умов.

- Застосування програмних алгоритмів ПЛК. Програмовані логічні контролери (ПЛК) можуть автоматизувати управління вентиляторами за допомогою більш складних алгоритмів, що враховують різні фактори, включаючи температуру, вологість і об'єм повітря. Це дозволяє створити високоефективну та гнучку систему регулювання.

- Інтеграція з системою управління будівлею (БМС). У великих будівлях та складних системах вентиляції частотні перетворювачі можуть бути інтегровані в загальну систему управління будівлею. Це дає змогу координувати роботу вентиляції з іншими системами, такими як опалення, кондиціонування та освітлення, для досягнення максимальної енергоефективності.

Завдяки частотним перетворювачам можна досягти високої енергоефективності, що дозволяє знизити експлуатаційні витрати та забезпечити комфортні умови в будівлях.

7.4. Енергоефективне використання кондиціонерів.

Інверторне управління в кондиціонерах є технологією, яка дозволяє значно підвищити ефективність і комфорт роботи системи кондиціонування. Відмінність інверторних кондиціонерів від традиційних полягає в здатності плавно регулювати потужність компресора залежно від вимог приміщення, а не працювати на максимальних обертах весь час.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис			93

Принцип роботи інверторного кондиціонера: У кондиціонерах з інверторним управлінням компресор не включається і не вимикається повністю, як у традиційних моделях. Замість цього, інверторний компресор регулює свою швидкість обертання, забезпечуючи точний контроль над температурою в приміщенні. Коли температура наближається до заданої, компресор автоматично знижує свою потужність, щоб підтримувати стабільну температуру, замість того щоб вимикатися повністю. Це дозволяє зберігати постійну, комфортну температуру без різких коливань.

Інверторний кондиціонер працює за допомогою інвертора, який регулює частоту електричного струму, що подається на компресор. Завдяки цій технології компресор може змінювати швидкість обертання залежно від потреби в охолодженні або обігріві, що дозволяє знижувати енергоспоживання та забезпечувати стабільну температуру в приміщенні.

Принцип роботи інверторного кондиціонера:

1. Початковий етап. Коли кондиціонер вмикається, компресор працює на повну потужність для того, щоб швидко досягти заданої температури в приміщенні.

2. Досягнення бажаної температури. Після досягнення заданої температури компресор не вимикається, як це відбувається в традиційних кондиціонерах. Замість цього, він знижує свою потужність до мінімуму, необхідного для підтримки стабільної температури.

3. Автоматична адаптація потужності. Компресор постійно адаптує свою потужність в залежності від змін температури в приміщенні. Якщо температура підвищується, компресор може збільшити потужність для охолодження; якщо температура знижується, він знижує потужність.

Цей принцип роботи дозволяє кондиціонеру працювати з максимальною ефективністю, забезпечуючи комфортні умови в приміщенні та мінімізуючи енергоспоживання.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис			94

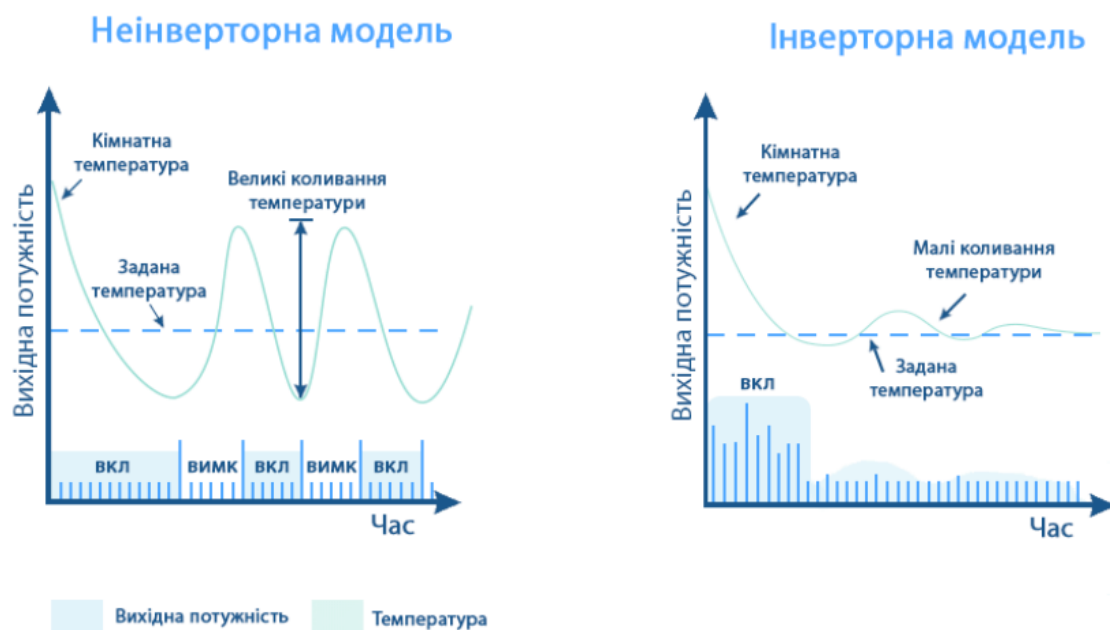


Рисунок 7.10 – Порівняння характеристик роботи неінверторного та інверторного двигунів.

Переваги інверторного управління:

1. Енергоефективність. Інверторні кондиціонери споживають на 30-50% менше електроенергії, ніж традиційні моделі. Це відбувається завдяки тому, що компресор працює лише з необхідною потужністю, а не на повну.
2. Точне підтримання температури. Інверторні кондиціонери забезпечують точність підтримки температури до 0,5°C, що дозволяє створити комфортні умови без різких коливань температури.
3. Тиха робота. Завдяки плавному регулюванню потужності компресора без частих вмикань та вимикань, інверторні кондиціонери працюють значно тихіше. Це особливо важливо для спалень та інших приміщень, де потрібна тиша.
4. Швидке досягнення бажаної температури. Інверторні кондиціонери здатні швидше досягти бажаної температури завдяки можливості збільшити потужність компресора на початку роботи, що забезпечує швидке охолодження або обігрів.
5. Триваліший термін служби. Плавний режим роботи компресора зменшує навантаження на деталі, що сприяє збільшенню терміну служби

кондиціонера. Менше знос компонентів дозволяє продовжити період експлуатації.

Завдяки цим перевагам інверторні кондиціонери є більш економічними, ефективними та комфортними в експлуатації, що робить їх популярними в сучасних системах кондиціонування.

Недоліки інверторних кондиціонерів:

1. Вища вартість. Інверторні кондиціонери зазвичай дорожчі за традиційні моделі. Однак їхня енергоефективність дозволяє компенсувати ці витрати протягом кількох років експлуатації завдяки зниженим витратам на електроенергію.

2. Чутливість до перепадів напруги. Інверторні кондиціонери більш чутливі до перепадів напруги в мережі, що може призвести до проблем з роботою. У таких випадках рекомендується використовувати стабілізатор напруги для захисту обладнання.

3. Різниця між інверторними кондиціонерами.

Інверторні кондиціонери можуть відрізнитися за діапазоном регулювання потужності компресора. У деяких моделях компресор може працювати в широкому діапазоні потужностей, наприклад, від 5% до 90%, що дозволяє більш точно налаштувати температуру і забезпечує високий рівень енергоефективності. Інші моделі мають більш обмежений діапазон, наприклад, від 40% до 70%. Чим більший діапазон регулювання потужності, тим ефективніше кондиціонер використовує енергію, підтримуючи оптимальні умови в приміщенні.

Інверторне управління кондиціонером є інноваційною технологією, яка забезпечує ефективне, тихе та економне охолодження або обігрів. Хоча початкова вартість таких кондиціонерів може бути вищою, вони дають значну економію електроенергії та покращують комфорт у приміщенні. Інверторні кондиціонери також мають довший термін служби завдяки меншому навантаженню на компресор.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис			96

ВИСНОВКИ

Проектування системи електропостачання підприємства з виробництва молочних продуктів здійснювалося із урахуванням вимог надійності, економічності та гнучкості, а також із перспективою подальшого зростання навантаження.

У ході роботи проведено розрахунок електричних навантажень енергоспоживачів, побудовано відповідні графіки, виконано техніко-економічний аналіз варіантів електропостачання і обрано оптимальну схему електропостачання. Досліджено режими функціонування системи електропостачання, підбрано сучасне високовольтне обладнання, впроваджено систему обліку електроспоживання. Також визначено оптимальні типи цехових трансформаторних підстанцій та пристроїв компенсації. Спроектowana схема перевірена на відповідність вимогам надійності і правилам улаштування електроустановок (ПУЕ).

Окрему увагу приділено заходам з підвищення енергоефективності в системах вентиляції та кондиціонування. Основний акцент зроблено на виборі обладнання з низьким енергоспоживанням, а також впровадженні методів регулювання швидкості вентиляторів. Серед таких методів наведено перемикання швидкостей, зміну напруги або струму, а також застосування інтелектуального керування за допомогою електронних схем (зокрема ЕС-двигунів).

Оптимізація вентиляційної системи за допомогою частотних перетворювачів забезпечує суттєве зниження енергоспоживання, підвищення надійності та тривалості експлуатації електрообладнання, покращення мікроклімату в приміщеннях, а також можливість інтеграції у автоматизовані системи управління.

Окрім цього, проаналізовано інверторне керування кондиціонерами як одне з сучасних технологічних рішень, що дозволяє забезпечити ефективне, безшумне

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис			98

та економічне охолодження або обігрів приміщень. Незважаючи на вищу початкову вартість, такі кондиціонери дозволяють значно скоротити витрати на електроенергію, створюють комфортні умови роботи та сприяють оптимальному зберіганню молочної продукції. Завдяки нижчому навантаженню на компресор, інверторні кондиціонери також мають довший термін експлуатації.

<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>			99

Таблиця А3. Вибір розрядників.

Тип	Ном. Напруга, кВ	Ном. допустима напруга (діюче значення),кВ	Пробивна напруга при $f = 50$ Гц		Імпульс пробивної напруги, не більше, кВ	Найбільше остаточна напруга, кВ, при імпульсі струму з довжиною фронту хвилі 8 мкс та амплітуді, А		
			Не менше	Не більше		3000	5000	10000
РВО 15У1	10	12,7	26	30,5	40,8	43	45	-

Таблиця А. Вибір трансформатора власних потреб.

Вид споживачів	Уст. потужність			$\cos \phi$	$\operatorname{tg} \phi$	Навантаження	
	одного, кВт · к-ть		всього			$P_{уст,к}$ Вт	$Q_{уст,квар}$ квар
Обігрів шафи КРПЗ	0,6	16	9,6	1	0	9,6	-
Обігрів шафи релейного захисту	0,5	16	8	1	0	8	-
Споживання операт. колами	3	1	3	1	0	3	-
Всього						20,6	-