

Луцький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет архітектури, будівництва та енергетики
(повне найменування факультету)

Кафедра електричної інженерії
(повне найменування кафедри)

**«Розробка електропостачальної системи маслозаводу встановленою
потужністю 1450 кВт»**

спеціальність	141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка (шифр і назва спеціальності)
освітня програма	«Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» (назва освітньої програми)

Ящук Назар Миколайович

(підпис)

Керівник: к.т.н., доцент
Грицюк Ірина Василівна

(підпис)

Кваліфікаційний проект
допущено до захисту
«__» _____ 20__ р.
Гарант освітньої програми:
к.т.н., доцент
Волинець Владислав Ігорович

(підпис)

Луцьк – 2026 року

ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет	архітектури, будівництва та енергетики
Кафедра	електричної інженерії
Ступінь вищої освіти	бакалавр
Галузь знань	14 Електрична інженерія
Спеціальність:	141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Освітня програма	Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

«__» _____ 202__ р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНИЙ ПРОЄКТ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Ящуку Назару Миколайовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційного проекту: Розробка електропостачальної системи
маслозаводу встановленою потужністю 1450 кВт

Керівник проекту: канд. техн. наук, доцент Грицюк Ірина Василівна
затверджені наказом ВНЗ від « 31 » грудня 2025 р. № 971/01-07

2. Строк подання здобувачем вищої освіти кваліфікаційного проекту 15 травня 2026 р.

3. Вихідні дані до проекту Генеральний план підприємства, план
розташування обладнання, відомості про електроприймачі підприємства
(номінальні параметри, режими роботи, категорія по надійності
електропостачання), класи пожежонебезпечних і вибухонебезпечних зон об'єктів,
умови компенсації реактивної потужності, час споживання максимальної
потужності, інформація про джерело живлення.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що потрібно розробити):

1. Коротка характеристика об'єкту проектування.

2. Основні проектні рішення.

3. Електропостачання вентиляційної установки.

4. САПР.

5. Електробезпека.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

1. Генеральний план підприємства.
2. Однолінійна схема електропостачання.
3. План розміщення обладнання.
4. Схема розподільних щитів 0,4 кВ.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис	
		завдання видав	завдання прийняв
1. Коротка характеристика об'єкту проектування	Грицюк І.В.		
2. Основні проектні рішення	Грицюк І.В.		
3. Електропостачання вентиляційної установки	Грицюк І.В.		
4. САПР	Грицюк І.В.		
5. Електробезпека	Грицюк І.В.		

7. Дата видачі завдання 3 січня 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційного проекту бакалавра	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1	Коротка характеристика об'єкту проектування	03.02.2026	
2	Основні проектні рішення	03.03.2026	
3	Електропостачання вентиляційної установки	17.03.2026	
4	САПР	24.03.2026	
5	Електробезпека	07.04.2026	
6	Оформлення пояснювальної записки	21.04.2026	
7	Оформлення графічного матеріалу	10.05.2026	
8	Перевірка на плагіат кваліфікаційного проекту	15.05.2026	

8. Затвердження відповідності графічного матеріалу вимогам нормативних документів

№ з/п	Назва креслення	Підпис	Дата
1	Генеральний план підприємства		
2	Однолінійна схема електропостачання		
3	План розміщення електрообладнання		
4	Схема розподільних щитів 0,4 кВ		

Здобувач вищої освіти _____ (Ящук Н.М.)
(підпис) (прізвище, ініціали)

Керівник
кваліфікаційного проекту _____ (Грицюк І.В.)
(підпис) (прізвище, ініціали)

АНОТАЦІЯ

Ящук Н.М. Розробка електропостачальної системи маслозаводу встановленою потужністю 1450 кВт. Рукопис.

Кваліфікаційний проєкт бакалавра ОП «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2026.

Кваліфікаційний проєкт бакалавра складається з п'яти розділів, списку використаних джерел, додатків.

У проєкті розроблено (запропоновано) систему електропостачання промислового підприємства. Проєктування виконане на основі електротехнічних розрахунків: розрахунку силових електричних навантажень з використанням методу впорядкованих діаграм на основі ієрархічного підходу; розрахунку освітлювальних навантажень на основі методу питомої густини освітлювального навантаження; розрахунку техніко-економічних показників прийнятих проєктних рішень на основі методу приведених затрат.

У результаті розрахунків отримали систему електропостачання даного підприємства з високими показниками економічної обґрунтованості.

Прийняті проєктні рішення дозволяють перейти до їх практичної реалізації й впровадження спроектованої системи електропостачання.

Ключові слова: система електропостачання (СЕП), лінія електропередач, електроприймачі, електричні навантаження, струми короткого замикання, компенсація реактивної потужності, електрична апаратура, електробезпека.

ANNOTATION

N. Yashchuk. Development of the power supply system of the butter plant with an installed capacity of 1450 kW. Manuscript.

Bachelor's qualification project of OP "Electrical power engineering, electrical engineering and electromechanics" specialty 141 Electrical power engineering, electrical engineering and electromechanics. Lutsk National Technical University. Lutsk, 2026.

The bachelor's qualification project consists of five sections, a list of used sources, and appendices.

The project developed (proposed) the power supply system of an industrial enterprise. The design is made on the basis of electrical engineering calculations: calculation of power electrical loads using the method of ordered diagrams based on a hierarchical approach; calculation of lighting loads based on the method of specific density of lighting load; calculation of technical and economic indicators of adopted project decisions based on the method of reduced costs.

As a result of the calculations, we received the electricity supply system of this enterprise with high indicators of economic validity.

Adopted design decisions allow to proceed to their practical implementation and implementation of the designed power supply system.

Key words: power supply system (SEP), power line, power receivers, electrical loads, short-circuit currents, reactive power compensation, electrical equipment, electrical safety.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ПРОЄКТУВАННЯ	9
РОЗДІЛ 2 ОСНОВНІ ПРОЄКТНІ РІШЕННЯ.....	11
2.1. Розрахунок силових електричних навантажень.....	11
2.2. Розрахунок освітлювальних навантажень.....	13
2.3. Визначення результуючих навантажень.....	14
2.4. Побудова картограми навантажень та визначення теоретичного центру навантажень.....	15
2.5. Вибір кількості та потужності трансформаторів ТП з врахуванням компенсації реактивної потужності.....	15
2.6. Компенсація реактивної потужності.....	16
2.7. Визначення електричних навантажень на вищих рівнях.....	17
2.8. Проектування мережі живлення підприємства.....	18
2.9. Проектування внутрішньої розподільної мережі.....	19
2.10. Розрахунок струмів короткого замикання.....	20
2.11. Вибір обладнання.....	22
2.11.1. Вибір комплектних розподільчих пристроїв.....	22
2.11.2. Вибір роз'єднувачів.....	23
2.11.3. Вибір вимикачів навантаження та запобіжників.....	23
2.12. Розрахунок низьковольтної мережі цеху.....	24
2.12.1. Вибір схеми електропостачання.....	24
2.12.2. Розрахунок струмів короткого замикання в мережі 0,4 кВ.....	26
2.12.3. Вибір трансформаторів струму.....	29

					ЛНТУ.971059.000 ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Розробка електропостачальної системи маслозаводу встановленою потужністю 1450 кВт. Пояснювальна записка.	Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.	Яшук Н.М.							
Перевір.	Грицюк І.В.						6	69
						ФАБЕ, гр.ЕЕ-42		
Н. контр.	Ващелюк Ю.І.							
Затверд.	Волинець В.І.							

2.12.4. Вибір автоматичних вимикачів.....	30
2.12.5. Вибір рубильників.....	31
РОЗДІЛ 3 ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ВЕНТИЛЯЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ.	32
РОЗДІЛ 4 САПР.....	35
РОЗДІЛ 5 ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА	38
ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ.....	39
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	40
ДОДАТОК 1 ОСНОВНІ ПРОЄКТНІ РІШЕННЯ.....	43
ДОДАТОК 2 ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ВЕНТИЛЯЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ.....	64
ДОДАТОК 3 ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА.....	68

ВСТУП

Систему електропостачання (СЕП) маслозаводу проєктуємо для постачання електричною енергією електроприймачів заводу, до складу яких входять пастеризаційні та заквашувальні установки, змішувачі, масловиготовлювачі, гомогенізатори, пакувальне, фасувальне, етикетувальне обладнання, тощо.

Система, яку розробляємо, повинна відповідати вимогам діючих галузевих керівних документів, зокрема [1].

Методики розрахунків, що виконуватимуться в даному кваліфікаційному проєкті наведені в [2, 6, 23, 24]. До них належать:

- визначення електричних навантажень на усіх рівнях СЕП заводу;
- розрахунок картограми електричних навантажень;
- вибір силових трансформаторів підстанції;
- розрахунок компенсації реактивної потужності;
- проєктування мережі живлення заводу;
- проєктування внутрішньої розподільної мережі;
- розрахунок струмів короткого замикання (КЗ);
- вибір апаратури;
- розрахунок низьковольтної мережі;
- розрахунок системи електропостачання вентиляційної установки;
- електробезпека.

Також у пояснювальній записці ілюструватимемо результати виконання автоматизованих розрахунків СЕП вентиляційної установки.

Послідовність розрахунків та розрахункові формули наведені в додатках до проєкту [Д.1 – Д.3].

РОЗДІЛ 1

КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ПРОЄКТУВАННЯ

Проектований завод займається виготовленням вершкового масла, незбираної молочної продукції, сухого молока, морозива.

Вершкове масло являє собою концентрат молочного жиру. Для його виготовлення на підприємстві застосовують метод перетворення високожирних вершків (рис.1.1).

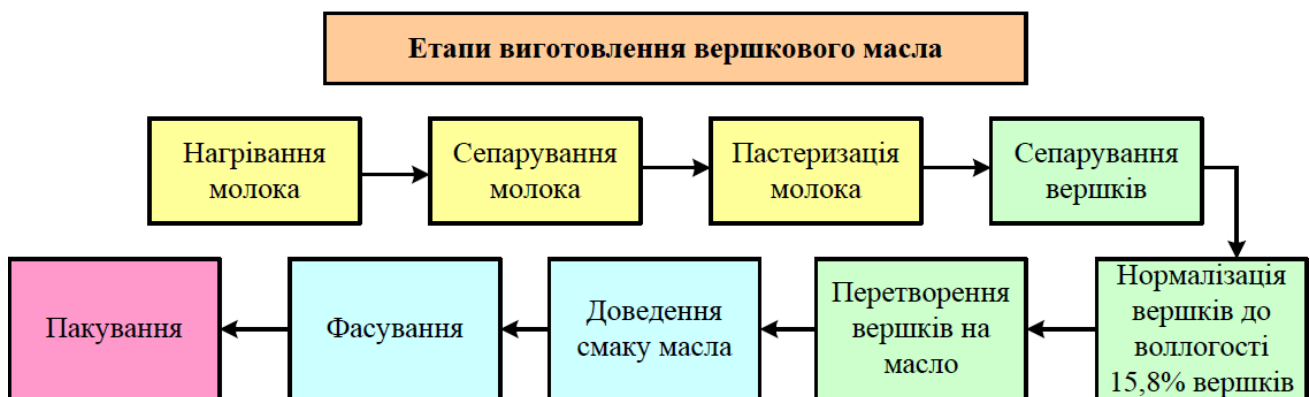


Рисунок 1.1 – Етапи виготовлення вершкового масла

До незбираної молочної продукції належать продукти, виготовлені без видалення жиру: молоко питне, йогурти натуральні, молоко згущене, вершки.

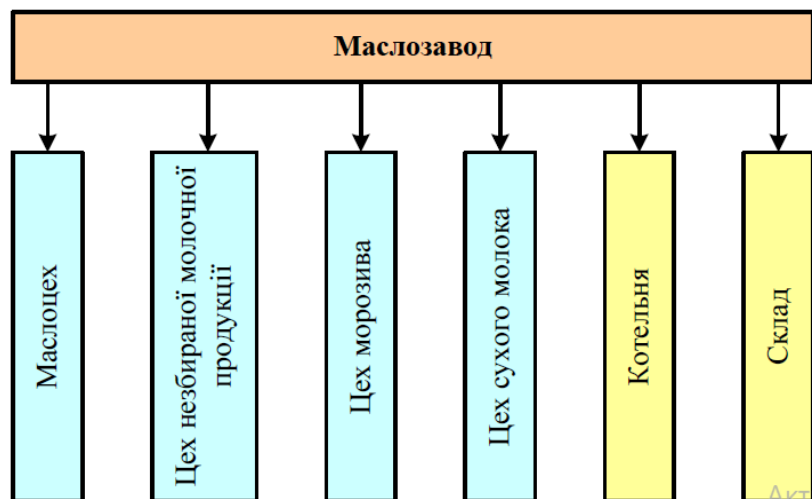


Рисунок 1.1 – Структура маслозаводу

					ЛНТУ.971059.000 ПЗ						
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Розробка електропостачальної системи маслозаводу встановленою потужністю 1450 кВт. Пояснювальна записка.	Літ.		Арк.		Аркушів	
Розроб.	Яшук Н.М.								9	2	
Перевір.	Грицюк І.В.					ФАБЕ, гр.ЕЕ-42					
Н. контр.	Ващелюк Ю.І.										
Затверд.	Волинець В.І.										

Розрахунок низьковольтної внутрішньоцехової мережі виконуватимемо на прикладі маслоцеху.

Проектні розрахунки виконуватимуться на основі вихідних даних, наведених в таблицях 1.1, 1.2.

Таблиця 1.1 – Характеристики цехів заводу

Назва об'єкту	Ширина, м	Довжина, м	Площа будівлі, м ²	Встановлена потужність, кВт
1. Маслоцех	60	36	2160	330
2. Цех незбираної молочної продукції	30	66	1980	235
3. Цех морозива	60	36	2160	325
4. Цех сухого молока	36	60	2160	270
5. Котельня	24	18	432	175
6. Склад	36	36	1296	115
Разом			10188	1450

Таблиця 1.2 – Вихідні дані

Назва параметру	Одиниці вимірювання	Значення
Кількість змін	–	2
Тривалість роботи електрообладнання в рік τ	год.	4150
Час використання максимального навантаження $T_{\max}$	год.	2115
Джерело живлення	–	РП-10 кВ
Відстань до джерела l	км	3,4
Потужність короткого замикання на шинах джерела живлення $S_{кз}$	МВА	55,5
Вхідна реактивна потужність $Q_{e \max}$	кВАр	244
Загальна територія підприємства	м ²	28800
Категорія надійності споживачів:		
I	%	0,5
II	%	72,5
III	%	27

РОЗДІЛ 2

ОСНОВНІ ПРОЄКТНІ РІШЕННЯ

Методики, за якими виконані розрахунки в розділі 2, наведені в додатку [Д.1] кваліфікаційного проєкту.

2.1. Розрахунок силових електричних навантажень

Розраховуємо силові навантаження маслоцеху та інших цехів. До складу маслоцеху входить дві дільниці. Приймачі цеху поділені на чотири групи. РП1.1 – РП1.3 живлять приймачів дільниці виготовлення масла; РП1.4 – приймачів пакувальної дільниці.

Хід та результати розрахунку силових навантажень дільниці виготовлення масла наведено в таблиці 2.2; результати розрахунку для цехів маслозаводу – в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Розрахунок навантажень силових приймачів підприємства

Номер цеху	P_H , кВт	Середні навантаження за найбільш завантажену зміну			Розрахункові навантаження		
		$P_{ср.зм}$, кВт	$Q_{ср.зм}$, кВАр	$S_{ср.зм}$, кВА	P_p , кВт	Q_p , кВАр	S_p , кВА
1	158,40	156,82	222,89	198,00	172,50	262,60	158,40
РП1.1	31,08	31,25	44,07	40,71	34,31	53,23	31,08
РП1.2	29,08	29,20	41,21	38,07	32,05	49,76	29,08
РП1.3	16,75	16,34	23,40	24,89	17,83	30,61	16,75
РП1.4	81,50	80,03	114,22	94,34	88,32	129,23	81,50
2	112,80	113,93	160,32	146,64	125,32	192,90	112,80
3	146,25	175,50	228,45	204,75	193,05	281,41	146,25
4	121,50	145,80	189,79	170,10	160,38	233,79	121,50
5	122,50	91,88	153,13	177,63	101,06	204,36	122,50
6	34,50	27,60	44,18	79,35	30,36	84,96	34,50
Всього	695,95	711,52	998,76	976,47	782,67	1260,01	695,95

					ЛНТУ.971059.000 ПЗ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Розробка електропостачальної системи маслозаводу встановленою потужністю 1450 кВт. Пояснювальна записка.		
Розроб.	Ящук Н.М.						
Перевір.	Грицюк І.В.						
Н. контр.	Вашелюк Ю.І.						
Затверд.	Волинець В.І.				Літ. Арк. Аркушів		
						11	21
					ФАБЕ, гр.ЕЕ–42		

Таблиця 2.2 – Розрахунок силових навантажень дільниці виготовлення масла маслоцеху

Назва електро- приймача	P _н , кВт	n	P _н , кВт	K _{вн}	tgφ	m	n _ф	K _ф	Розрахункові навантаження			
									P _р , кВт	Q _р , квар	P _с , кВт	Q _с , квар
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Силовий щит 1												
Електроприймачі із змінним графіком навантаження												
Установка пастеризаційно-охолоджувальна	8	5	40	0,45	1,01	1,45	9	1,32	18,00	18,18	39,73	33,57
Резервуар вершкодозрівальний Л5-ОАВ-6,3	5,5	4	22	0,55	1,02				12,10	12,34		
Електроприймачі з постійним графіком навантаження												
Установка вентиляційна	1,5	1	1,5	0,65	0,75				0,98	0,73	0,98	0,73
Всього по щиту 1		10	63,5						31,08	31,25	40,71	34,31
Силовий щит 2												
Електроприймачі із змінним графіком навантаження												
Заквашувач Г 6-03-40	4	4	16	0,5	1,03	2,00	9	1,32	8,00	8,24	37,09	31,32
Масловиготовлювач безперервної дії РЗ-ОБЕ	7,5	4	30	0,55	1,01				16,50	16,67		
Масловиготовлювач періодичної дії А1-ОЛО/1	8	1	8	0,45	0,99				3,60	3,56		
Електроприймачі з постійним графіком навантаження												
Установка вентиляційна	1,5	1	1,5	0,65	0,75				0,98	0,73	0,98	0,73
Всього по щиту 2		10	55,5						29,08	29,20	38,07	32,05
Силовий щит 3												
Електроприймачі із змінним графіком навантаження												
Гомогенізатор масла	4,5	2	9	0,4	0,98	1,22	8	1,55	3,60	3,53	22,94	16,36
Машина для фасування масла в коробки	5,5	4	22	0,35	1,01				7,70	7,78		
Машина для фасування масла в брикети	5	2	10	0,35	1,02				3,50	3,57		
Електроприймачі з постійним графіком навантаження												
Установка вентиляційна	1,5	2	3	0,65	0,75				1,95	1,46	1,95	1,46
Всього по щиту 3		10	44						16,75	16,34	24,89	17,83
ВСЬОГО		30	163						76,90	76,79	103,66	84,18

2.2. Розрахунок освітлювальних навантажень

Джерела світла, призначені для освітлення окремих цехів, обрано з [3] (табл.2.3). В кожному цеху (допоміжній будівлі) передбачене встановлення щита освітлення, від якого отримуватимуть живлення групи однофазних освітлювальних приймачів. Розрахунок їх навантажень виконано в таблиці 2.4.

Таблиця 2.3 – Вибір джерел світла

Номер з/п цеху	Розряд зорової роботи	$E_{\text{норм}}, \text{ЛК}$	Тип лампи
1	Va	300	High Bay2 DELUX 150Вт 6500K 220В IP65
2	Va	300	High Bay2 DELUX 150Вт 6500K 220В IP65
3	Va	300	High Bay2 DELUX 150Вт 6500K 220В IP65
4	Va	300	High Bay2 DELUX 150Вт 6500K 220В IP65
5	VIIIб	75	MAGNUM PLF 60 LED 50Вт 1200мм 6500K IP65
6	VIIIб	75	MAGNUM PLF 60 LED 50Вт 1200мм 6500K IP65

Таблиця 2.4 – Розрахунок освітлювального навантаження підприємства

Номер цеху	F, м ²	h, м	$P_{\text{пит}}, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$	$P_o, \text{кВт}$	$K_{\text{пра}}$	$K_{\text{п}}$	tgφ	$P_{\text{р.о}}, \text{кВт}$	$Q_{\text{р.о}}, \text{квар}$
1	3,88	8,38	1,2	0,9	0,33	9,05	2,99	3,88	8,38
2	3,88	7,68	1,2	0,9	0,33	8,30	2,74	3,88	7,68
3	3,88	8,38	1,2	0,9	0,33	9,05	2,99	3,88	8,38
4	3,88	8,38	1,2	0,9	0,33	9,05	2,99	3,88	8,38
5	3,88	1,68	1,2	0,9	0,33	1,81	0,60	3,88	1,68
6	3,65	4,73	1,2	0,9	0,33	5,11	1,69	3,65	4,73
Всього		39,23				42,37	13,98		39,23

Для вуличного освітлення приймаємо з [3] джерела світла Philips StreerStar 27 Вт 3500 лм:

$$\sum \varepsilon = \frac{10^3 \cdot 2,8 \cdot 0,86 \cdot 12,5}{3500} = 8,6 \text{ лк};$$

$$\frac{L}{h} = 11; L = 11 \cdot 12,5 = 137,5 \text{ м};$$

$$L_{\Sigma} = 2736 \text{ м}; N = \frac{2736}{137,5} = 19,9 \Rightarrow N_{\text{прийн}} = 20;$$

$$P_{\text{вст.зовн}} = 20 \cdot 27 \cdot 10^{-3} = 0,54 \text{ кВт};$$

$$P_{\text{розр.зовн}} = 1,2 \cdot 0,9 \cdot 0,54 = 0,58 \text{ кВт};$$

$$Q_{\text{розр.зовн}} = 0,58 \cdot 0,33 = 0,19 \text{ кВАр.}$$

2.3. Визначення результуючих навантажень

В даному пункті розраховуємо сумарні силові та освітлювальні навантаження кожного цеху, які будемо використовувати для вибору розподільних пристроїв та кабельних ліній низької напруги, що їх живлять, та заводу в цілому – для вибору трансформаторів підстанції та розрахунку компенсації реактивної потужності на стороні низької напруги.

Також в таблиці 2.5 враховано навантаження вуличного освітлення.

Таблиця 2.5 – Розрахунок результуючих навантажень

Номер цеху	$P_{\text{вст}\Sigma},$ кВт	$P_{\text{ср.зм}\Sigma},$ кВт	$Q_{\text{ср.зм}\Sigma},$ квар	$S_{\text{ср.зм}\Sigma},$ кВА	$P_{\text{р}\Sigma},$ кВт	$Q_{\text{р}\Sigma},$ квар	$S_{\text{р}\Sigma},$ кВА
1	338,38	167,45	159,80	231,47	207,05	175,48	271,41
РП1.1	63,50	31,08	31,25	44,07	40,71	34,31	53,23
РП1.2	55,50	29,08	29,20	41,21	38,07	32,05	49,76
РП1.3	44,00	16,75	16,34	23,40	24,89	17,83	30,61
РП1.4	167,00	81,50	80,03	114,22	94,34	88,32	129,23
2	242,68	121,10	116,67	168,15	154,94	128,06	201,01
3	333,38	155,30	178,49	236,59	213,80	196,04	290,07
4	278,38	130,55	148,79	197,94	179,15	163,37	242,45
5	176,68	124,31	92,47	154,93	179,44	101,66	206,23
6	119,73	39,61	29,29	49,26	84,46	32,05	90,33
Освітлення території	0,54	0,58	0,19	0,61	0,58	0,19	0,61
Всього	1489,77	738,90	725,69	1038,96	1019,42	796,85	1302,13

2.4. Побудова картограми навантажень та визначення теоретичного центру навантажень

Як видно з генерального плану маслозаводу трансформаторну підстанцію розміщено в центрі електричних навантажень. Таке рішення дозволило скоротити довжини кабельних ліній внутрішньозаводської електричної мережі.

Візуалізацію результатів розрахунку сумарних навантажень цехів виконано шляхом побудови на генеральному плані картограми електричних навантажень. Розрахунки наведено в таблицях 2.5, 2.6.

Таблиця 2.6 – Визначення центру електричних навантажень

№ цеху	х, м	у, м	$P_{p\Sigma} \cdot x$	$P_{p\Sigma} \cdot y$	$Q_{p\Sigma} \cdot x$	$Q_{p\Sigma} \cdot y$	г	α
1	42	30	8696	6212	7370	5265	42	16
2	189	48	29283	7437	24203	6147	36	19
3	30	90	6414	19242	5881	17643	43	15
4	186	132	33322	23648	30386	21564	39	18
5	60	135	10766	24224	6100	13724	36	4
6	150	144	12669	12162	4807	4615	24	22
Всього			101150	92924	78747	68958		
$X_{\text{ц}}$	99							
$Y_{\text{ц}}$	89							

2.5. Вибір кількості та потужності трансформаторів ТП з врахуванням компенсації реактивної потужності

За значеннями середніх навантажень за найбільш завантажену зміну $P_{\text{ср.зм}\Sigma}$, $Q_{\text{ср.зм}\Sigma}$ (табл.2.5) розраховуємо питому густину навантаження, обираємо тип та характеристики трансформаторів підстанції, тип та характеристики низьковольтних батарей конденсаторів та виконуємо техніко-економічне порівняння двох варіантів встановлення (табл.2.7 – 2.9).

Для значення $\sigma = 0,1 \frac{\text{кВА}}{\text{м}^2}$ обираємо з [4] та порівнюємо трансформатори

потужністю 1000 і 630 кВА.

Таблиця 2.7 – Вибір трансформаторів

Варіант встановлення	$\sigma, \frac{\text{кВА}}{\text{м}^2}$	$S_T, \text{кВА}$	N	$N_{\min}$	m	$N_{\text{опт}}$	$Q_{\max T}, \text{кВАр}$
I	0,1	1000	1,06	2	0	2	1189,13
II		630	1,68	2	0	2	481,61

Таблиця 2.8 – Вибір низьковольтних батарей конденсаторів

Варіант встановлення	$Q_{\text{НБК1}}, \text{кВАр}$	k_{p1}	k_{p2}	γ	$Q_{\text{НБК2}}, \text{кВАр}$	$Q_{\text{НБК}}, \text{кВАр}$	Потужність НБК
I	0,00	12	27	0,3	125,694	125,69	70
II	244,09	12	27	0,3	103,608	347,69	200

Таблиця 2.9 – Техніко-економічне порівняння можливих варіантів встановлення

Варіант встановлення	$\Delta P_X, \text{кВт}$	$\Delta P_K, \text{кВт}$	$\tau, \text{год}$	$W, \text{тис.кВт} \cdot \text{год}$	$C_e, \text{тис.грн}$	$K, \text{тис.грн}$	$Z, \text{тис.грн}$
I	1,7	12,2	986	17,057	130,488	1107,36	268,91
II	1,18	8,5	986	11,847	90,633	987,44	214,06

Вибираємо $2 \times \text{ТМ} - 630 / 10; 2 \times \text{ККУ} - 0,4 - 200 - 10 - 21\text{У3}$.

$$1,4 \cdot 630 = 882 \text{кВА} > \frac{2 \cdot (1 - 0,27) \cdot 1038,96}{2} = 758,44 \text{кВА}.$$

2.6. Компенсація реактивної потужності

Засоби компенсації реактивної потужності застосовують для часткового розвантаження мереж від передавання реактивної складової струму. Це, в свою чергу, призводить до зменшення втрат напруги, тобто покращення якості електричної енергії. В п.2.5 обрано дві НБК потужністю 200 кВАр.

Розрахуємо реактивну потужність, яку необхідно компенсувати на стороні 10 кВ трансформаторної підстанції.

Таблиця 2.10 – Розрахунок компенсації реактивної потужності

Показник	Од.вимір.	Значення
$Q_{\text{ср.зм}\Sigma}$	кВАр	725,69
$Q_{\text{еmax}}$	кВАр	244
$Q_{\text{НБК ф}}$	кВАр	400
$\Delta Q_{\text{Т}}$	кВАр	33
$K_{\text{НС}}$	–	0,90
$Q_{\text{М1}}$	кВАр	653,12
$Q_{\text{К1}}$	кВАр	409,29
$Q_{\text{НС Т}}$	кВАр	391,69
$Q_{\text{ВБК}}$	кВАр	75,29

$Q_{\text{ВБК}} = 75,29$ кВАр порівняно невелика, тому її доцільно компенсувати на стороні 0,4 кВ підстанції. Це також забезпечить додаткове розвантаження трансформаторів:

$$Q_{\text{ВБК}} = 2 \cdot 200 + 75,29 = 475,29 \text{ кВАр} \Rightarrow 2 \times \text{ККУ} - 0,4 - 250 - 10 - 21 \text{ УЗ}.$$

2.7. Визначення електричних навантажень на вищих рівнях

Для вибору перерізу ліній зовнішнього живлення маслозаводу розрахуємо навантаження на боці високої напруги трансформаторної підстанції (табл.2.11).

Таблиця 2.11 – Розрахунок навантажень на рівні 10 кВ

Розрахункове навантаження	Одиниці вимірювання	Значення
1	2	3
$P_{\text{р3}}$	кВт	738,90
$Q_{\text{р2}}$	кВАр	725,69
$Q_{\text{НБК}}$	кВАр	500
$P_{\text{р3}}$	кВт	738,90
$Q_{\text{р3}}$	кВАр	225,69
$S_{\text{р3}}$	кВА	772,60

Продовження таблиці 2.11

1	2	3
ΔP_T	кВт	15,45
ΔQ_T	кВАр	77,26
P_{p4}	кВт	754,36
Q_{p4}	кВАр	302,95
S_{p4}	кВА	812,92

2.8. Проектування мережі живлення підприємства

Зовнішнє живлення системи електропостачання маслозаводу виконуємо двома паралельними кабелями напругою 10 кВ довжиною 3,4 км від двох різних секцій шин існуючого розподільного пункту РП-10 кВ.

Обираємо з [7] кабель АПвВ – 10. Враховуємо струми навантаження нормального та післяаварійного режимів, оскільки кабелі є взаємно резервованими:

$$I_{\text{норм}} = \frac{812,92}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 2} = 23,47 \text{ А}; I_{\text{п ав}} = \frac{812,92}{\sqrt{3} \cdot 10} = 46,93 \text{ А};$$

$$F_e = \frac{23,47}{1,9} = 24,7 \text{ мм}^2; \text{розглядаємо перерізи від } 35 \text{ мм}^2 \text{ включно.}$$

Таблиця 2.12 – Вибір кабельних ліній високої напруги

F, мм ²	I _{доп} , А	I' _{доп} , А	r ₀ , $\frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	x ₀ , $\frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	$\Delta U_{\text{норм}}$, В	$\Delta U_{\text{норм}}$, %	$\Delta U_{\text{п ав}}$, %
35	143	147,29	0,641	0,09	78,33	0,78	1,57
50	169	174,1	0,58	0,086	71,25	0,71	1,43
70	211	217,3	0,45	0,084	56,72	0,57	1,13
95	260	267,8	0,31	0,083	41,15	0,41	0,82

Таблиця 2.13 – Техніко-економічне порівняння кабелів різного перерізу

F, мм ²	K _{зл}	ΔP _н , кВт	ΔP _д , кВт	C _е , тис. грн.	K, тис. грн.	З, тис. грн.
35	0,159	135,17	3,431	25,881	3284,4	436,431
50	0,135	170,82	3,105	23,418	4025,6	526,618
70	0,108	206,59	2,409	18,169	4188,8	541,769
95	0,088	216,10	1,659	12,517	4889,2	623,667

$$З_{\min} \Rightarrow 2 \times \text{АПВВ} - 10 - 3 \times 35.$$

2.9. Проектування внутрішньої розподільної мережі

В приміщеннях маслоцеху, цеху незбираної молочної продукції, морозива та сухого молока для розподілу електроенергії між приймачами застосовано від 3 до 4 розподільних пунктів низької напруги [9], які отримують живлення від ввідно-розподільних пристроїв [8], встановлених у відповідному цеху. В приміщеннях котельні та складу через порівняно невелику кількість електроприймачів застосовано по одному розподільному пункту [9].

Таблиця 2.14 – Вибір розподільних пристроїв 0,4 кВ

Назва РП	S _{рз} , кВА	I _{п.ав} , А	Тип розподільного пристрою	I _{доп.РП} , А	n _{прийм}	n _{мод}
ВРП1	271,41	412,37	EU-ВРП2-1-630-1-1-11-2-21-У4	630	4	4
РП1.1	53,23	80,88	ПР11-3031-21У3	100	10	12
РП1.2	49,76	75,60	ПР11-3031-21У3	100	10	12
РП1.3	30,61	46,51	ПР11-3031-21У3	100	10	12
РП1.4	129,23	196,34	ПР11-3051-21У3	250	14	16
ВРП2	201,01	305,40	EU-ВРП2-1-400-1-1-11-2-21-У4	400	3	4
ВРП3	290,07	440,72	EU-ВРП2-1-630-1-1-11-2-21-У4	630	4	4
ВРП4	332,79	505,62	EU-ВРП2-1-630-1-1-11-2-21-У4	630	4	4
РП5	206,23	313,34	ПР11-3087-21У3	400	17	18
РП6	90,33	137,25	ПР11-3051-21У3	250	15	16

Лінії живлення, прокладені зовні приміщень, виконані кабелем АВВГ – 0,4, в приміщеннях – АВВГнгд – 0,4 [10].

Таблиця 2.15 – Вибір кабелів 0,4 кВ

Назва КЛ	n	$S_{p\Sigma}$, кВА	$I_{\text{норм}}$, А	$I_{\text{п.ав}}$, А	Переріз кабелю	$I_{\text{доп}}$, А	$I'_{\text{доп}}$, А	$I''_{\text{доп}}$, А	l, км	r_0 , $\frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	x_0 , $\frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	$\Delta U_{\text{норм}}$, %	$\Delta U_{\text{п.ав}}$, %
ТП – ВРП1	3	271,41	137,46	274,91	4×185	260	268	281	0,079	0,18	0,06	0,89	2,68
ВРП1 – РП1.1	2	53,23	40,44	80,88	5×25	75	77	81	0,006	1,33	0,07	0,13	0,25
ВРП1 – РП1.2	2	49,76	37,80	75,60	5×25	75	77	81	0,003	1,33	0,07	0,05	0,11
ВРП1 – РП1.3	2	30,61	23,26	46,51	5×16	60	62	65	0,024	2,08	0,07	0,44	0,88
ВРП1 – РП1.4	2	129,23	98,17	196,34	5×120	200	206	216	0,026	0,28	0,06	0,30	0,59
ТП – ВРП2	2	201,01	152,70	305,40	4×240	401	413	433	0,114	0,125	0,059	1,07	2,15
ТП – ВРП3	3	290,07	146,91	293,81	4×240	401	413	433	0,046	0,125	0,059	0,41	1,24
ТП – ВРП4	3	332,79	168,54	337,08	4×240	401	413	433	0,094	0,125	0,059	0,98	2,93
ТП – РП5	2	206,23	156,67	313,34	4×240	401	413	433	0,067	0,125	0,059	0,65	1,29
ВРП4 – РП6	1	90,33	137,25	137,25	4×70	140	144	151	0,029	0,48	0,06	0,77	0,77

2.10. Розрахунок струмів короткого замикання

Однією з найчастіших причин виходу з ладу електрообладнання є протікання струмів КЗ. Для захисту від них перед силовими трансформаторами встановлюємо високовольні запобіжники. Крім того, обладнання та кабельні лінії напругою 10 кВ повинні бути перевірені за стійкістю до струмів КЗ. Для розрахунку цих струмів застосуємо відносне наближене зведення. Розрахунок виконуємо відносно таких базових умов: $S_6 = 100 \text{ МВА}$; $U_6 = 10,5 \text{ кВ}$.

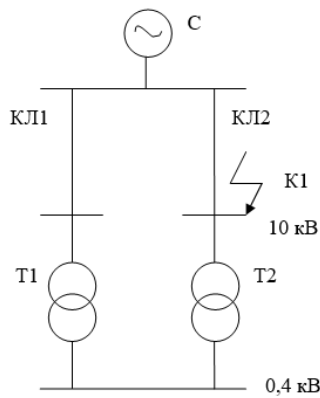


Рисунок 2.1 – Электрична схема короткозамкнутого кола

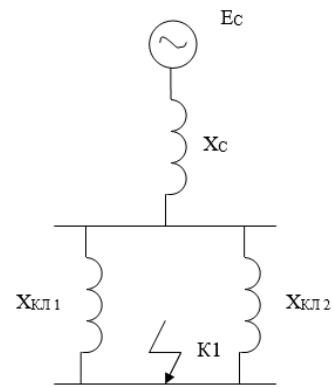


Рисунок 2.2 – Заступна схема короткозамкнутого кола

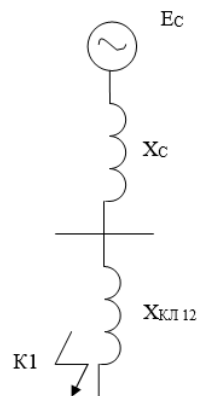


Рисунок 2.3 – Схема короткозамкнутого кола після об'єднання паралельних ліній

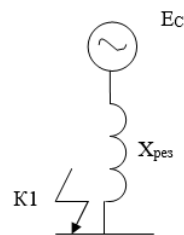


Рисунок 2.4 – Спрощена схема короткозамкнутого кола

Таблица 2.16 – Розрахунок струмів КЗ. Перевірка вибраних КЛ за термічною стійкістю

Показник	Одиниці вимірювання	Значення
1	2	3
$S_{кз}$	МВА	55,5
$\dot{X}_{C*}$	—	1,802
$\dot{R}_{KL1*}, \dot{R}_{KL2*}$	—	1,977
$\dot{X}_{KL1*}, \dot{X}_{KL2*}$	—	0,278
$\dot{R}_{KL12*}$	—	0,988
$\dot{X}_{KL12*}$	—	0,139
$\dot{R}_{рез*}$	—	0,988
$\dot{X}_{рез*}$	—	1,941
$\dot{Z}_{рез*}$	—	2,178
I_6	кА	5,50
$I_{н0}$	кА	2,525

Продовження таблиці 2.16

1	2	3
k_y	—	1,42
i_y	кА	5,070
K_T	$\frac{A \cdot c^{1/2}}{мм^2}$	125
t_n	с	0,25
F_{min}	мм ²	10,1
Тип та переріз кабелю з п.2.8	—	АПВВ – 10 – 3 × 35
B_K	кА ² · с	1,59

2.11. Вибір обладнання

2.11.1. Вибір комплектних розподільчих пристроїв

Для встановлення обладнання напругою 10 кВ в приміщенні РП-10 трансформаторної підстанції обираємо з [13] характеристики комплектних розподільних комірок одностороннього обслуговування КСО 399 УЗ; для розташування обладнання 0,4 кВ в приміщенні РП-0,4 обираємо з [14] характеристики розподільних панелей одностороннього обслуговування ЩО 99 УЗ.

Таблиця 2.17 – Технічні характеристики комірок

Призначення	Обладнання	Кількість	Каталожний номер
Комірки КСО 399 10 кВ			
Ввідні	Комірка КСО 399-03106 УЗ з вимикачем навантаження ВН-РА 030-10-630 УЗ	2	03
Комутація і захист силових трансформаторів	Комірка КСО 399-04061 УЗ з вимикачем навантаження ВН-РА 03П-10-630 УЗ і запобіжником	2	04
Секційна	Комірка КСО 399-01106 УЗ роз'єднувачами РВ030-10-630 УЗ	1	01
Розподільчі панелі ЩО 99 0,4 кВ			
Ввідні	ЩО 99-2101 УЗ	2	—
Лінійні	ЩО 99-2308 УЗ	4	—
Секційна	ЩО 99-2208 УЗ	1	—

$$10 = 10 \text{ кВ};$$

$$23,47 < 630 \text{ А};$$

$$46,93 < 630 \text{ А};$$

$$5,07 < 51 \text{ кА};$$

$$1,59 < 400 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

2.11.2. Вибір роз'єднувачів

Роз'єднувачі обираємо з [15]:

РВ030 – 10 – 630

$$10 = 10 \text{ кВ};$$

$$23,47 < 630 \text{ А};$$

$$46,93 < 630 \text{ А};$$

$$5,07 < 41 \text{ кА};$$

$$1,59 < 1024 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

2.11.3. Вибір вимикачів навантаження та запобіжників

З [16] обираємо вимикачі навантаження: у ввідних комірках підстанції – без запобіжників; в трансформаторних комірках – з запобіжниками, вибраними з [17].

Ввідні комірки
ВН – РА 030 – 10 – 630 УЗ:

$$10 = 10 \text{ кВ};$$

$$23,47 < 630 \text{ А};$$

$$46,93 < 630 \text{ А};$$

$$2,525 < 31,5 \text{ кА};$$

$$5,07 < 80 \text{ кА};$$

$$1,59 < 992,3 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

Трансформаторні комірки
ВН – РА 03П – 10 – 630 УЗ:

$$10 = 10 \text{ кВ};$$

$$23,47 < 630 \text{ А};$$

$$46,93 < 630 \text{ А};$$

$$2,525 < 31,5 \text{ кА};$$

$$5,07 < 80 \text{ кА};$$

$$1,59 < 992,3 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

ПКТ – 10 – 50 – 12,5 УЗ:

$$46,93 < 50 \text{ А};$$

$$2,525 < 12,5 \text{ кА};$$

$$43,73 < 217 \text{ кА},$$

$$S'' = \sqrt{3} \cdot 10 \cdot 2,525 = 43,73 \text{ МВА}.$$

2.12. Розрахунок низьковольтної мережі цеху

До складу низьковольтної мережі маслоцеху входять:

ввідно-розподільний пристрій ВРП1 (табл.2.14);

розподільні пункти РП1.1 – РП1.4 (табл.2.14);

кабельні лінії живлення ВРП1, виконані чотирижильним кабелем АВВГ – 0,4 (табл.2.15);

кабельні лінії живлення РП1.1 – РП1.4, виконані п'ятижильними кабелями АВВГнгд – 0,4 (табл.2.15);

кабелі живлення струмоприймачів типу ВВГнгд – 0,4, перерізи яких вибираємо за струмами навантаження та перевіряємо за втратами напруги і термічною стійкістю до струмів КЗ (табл.2.18).

2.12.1. Вибір схеми електропостачання

Приймачі ділянки виготовлення масла, що входить до складу маслоцеху, належать до II категорії надійності електропостачання, оскільки приймають безпосередню участь в процесі виробництва або забезпечують нормальні санітарно-гігієнічні умови праці (вентиляційні установки). Тому для внутрішньоцехового електропостачання обираємо радіальну схему.

					ЛНТУ.971059.000 ПЗ	Арк.
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.18 – Вибір кабелів внутрішньоцехової мережі

Назва електроприймача	рН, кВт	cos φ	I, А	F, мм ²	I _{тр.доп} , А	Кабель
Силовий щит 1						
Установка пастеризаційно-охолоджувальна	8	0,70	17,28	2,5	26	ВВГнгд-5×2,5
Резервуар вершкодозрівальний Л5-ОАВ-6,3	5,5	0,70	11,94	2,5	26	ВВГнгд-5×2,5
Установка вентиляційна	1,5	0,80	2,85	2,5	26	ВВГнгд-5×2,5
Силовий щит 2						
Заквашувач Г 6-03-40	4	0,70	8,72	2,5	26	ВВГнгд-5×2,5
Масловиготовлювач безперервної дії РЗ-ОБЕ	7,5	0,70	16,20	2,5	26	ВВГнгд-5×2,5
Масловиготовлювач періодичної дії А1-ОЛО/1	8	0,71	17,10	2,5	26	ВВГнгд-5×2,5
Установка вентиляційна	1,5	0,80	2,85	2,5	26	ВВГнгд-5×2,5
Силовий щит 3						
Гомогенізатор масла	4,5	0,71	9,57	2,5	26	ВВГнгд-5×2,5
Машина для фасування масла в коробки	5,5	0,70	11,88	2,5	26	ВВГнгд-5×2,5
Машина для фасування масла в брикети	5	0,70	10,85	2,5	26	ВВГнгд-5×2,5
Установка вентиляційна	1,5	0,80	2,85	2,5	26	ВВГнгд-5×2,5

Таблиця 2.19 – Перевірка кабелів за втратами напруги

Назва електроприймача	n	r ₀ , Ом/км	x ₀ , Ом/км	l, км	ΔU%	Кабель
Силовий щит 1						
Установка пастеризаційно-охолоджувальна	5	8	0,09	0,005	0,224	ВВГнгд-5× 2,5
		8	0,09	0,011	0,493	ВВГнгд-5× 2,5
		8	0,09	0,017	0,762	ВВГнгд-5× 2,5
		8	0,09	0,023	1,031	ВВГнгд-5× 2,5
		8	0,09	0,029	1,300	ВВГнгд-5× 2,5
Резервуар вершкодозрівальний Л5-ОАВ-6,3	4	8	0,09	0,006	0,185	ВВГнгд-5× 2,5
		8	0,09	0,014	0,431	ВВГнгд-5× 2,5
		8	0,09	0,022	0,678	ВВГнгд-5× 2,5
		8	0,09	0,03	0,925	ВВГнгд-5× 2,5
Установка вентиляційна	1	8	0,09	0,006	0,050	ВВГнгд-5× 2,5
Силовий щит 2						
Заквашувач Г 6-03-40	4	8	0,09	0,006	0,135	ВВГнгд-5× 2,5
		8	0,09	0,013	0,291	ВВГнгд-5× 2,5
		8	0,09	0,02	0,448	ВВГнгд-5× 2,5
		8	0,09	0,027	0,605	ВВГнгд-5× 2,5
Масловиготовлювач безперервної дії РЗ-ОБЕ	4	8	0,09	0,008	0,336	ВВГнгд-5× 2,5
		8	0,09	0,015	0,630	ВВГнгд-5× 2,5
		8	0,09	0,022	0,925	ВВГнгд-5× 2,5
		8	0,09	0,029	1,219	ВВГнгд-5× 2,5
Масловиготовлювач періодичної дії А1-ОЛО/1	1	8	0,09	0,005	0,224	ВВГнгд-5× 2,5
Установка вентиляційна	1	8	0,09	0,012	0,101	ВВГнгд-5× 2,5
Силовий щит 3						
Гомогенізатор масла	2	8	0,09	0,011	0,277	ВВГнгд-5× 2,5
		8	0,09	0,005	0,126	ВВГнгд-5× 2,5
Машина для фасування масла в коробки	4	8	0,09	0,001	0,031	ВВГнгд-5× 2,5
		8	0,09	0,003	0,092	ВВГнгд-5× 2,5
		8	0,09	0,008	0,247	ВВГнгд-5× 2,5
		8	0,09	0,013	0,401	ВВГнгд-5× 2,5
Машина для фасування масла в брикети	2	8	0,09	0,019	0,532	ВВГнгд-5× 2,5
		8	0,09	0,024	0,672	ВВГнгд-5× 2,5
Установка вентиляційна	2	8	0,09	0,022	0,184	ВВГнгд-5× 2,5
		8	0,09	0,028	0,235	ВВГнгд-5× 2,5

2.12.2. Розрахунок струмів короткого замикання в мережі 0,4 кВ

Для захисту від струмів КЗ в мережі 0,4 кВ слугують автоматичні вимикачі. Також лінії 0,4 кВ повинні бути перевірені за термічною стійкістю.

Для розрахунку застосовуємо абсолютне наближене зведення відносно базових умов $U_0 = 0,4 \text{ кВ}$; $U_{c10} = 10,5 \text{ кВ}$.

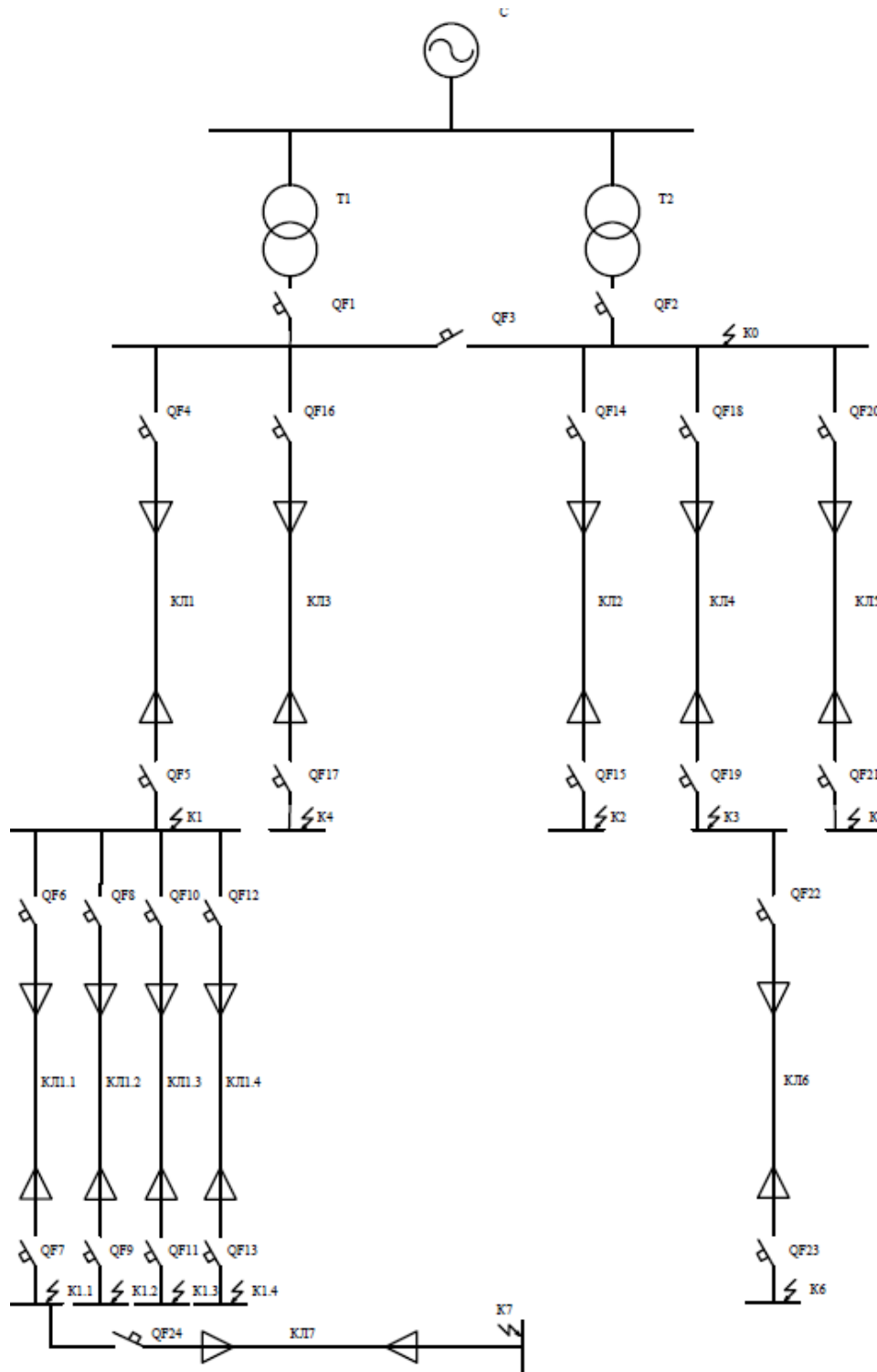


Рисунок 2.6 – Схема короткозамкнутого кола НВ мережі

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЛНТУ.971059.000 ПЗ

Арк.

26

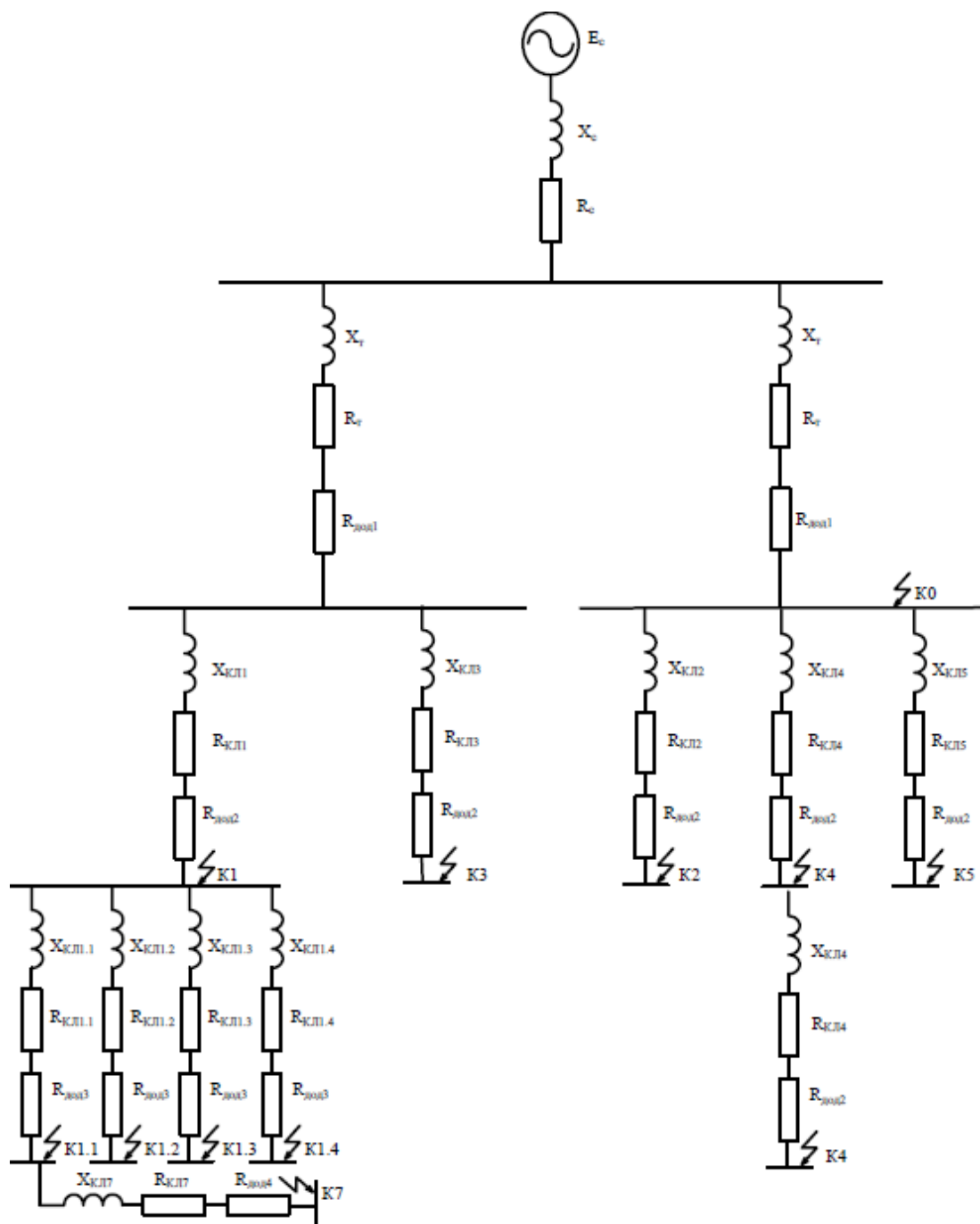


Рисунок 2.7 – Заступна схема НВ мережі

Таблиця 2.20 – Вихідні дані для розрахунку струмів КЗ в мережі 0,4 кВ

Показник	Одиниці вимірювання	Значення
U_6	кВ	0,4
I_{k10}	кА	2,525
U_{c10}	кВ	10,5
$S_{\text{ном.Т}}$	кВА	630
ΔP_k	кВт	8,5
u_k	%	6

Таблиця 2.21 – Визначення струмів КЗ в точці К0

Показник	Одиниці вимірювання	Значення
R_c	Ом	1,090
X_c	Ом	2,401
$\dot{R}_c$	МОм	1,581
$\dot{X}_c$	МОм	3,484
$\dot{R}_T$	МОм	1,713
$\dot{X}_T$	МОм	7,619
$\dot{R}_{рез0}$	МОм	18,295
$\dot{X}_{рез0}$	МОм	11,104
$Z_{рез0}$	МОм	21,401
I_K	кА	10,791
k_y	–	1,05
i_y	кА	16,024

Таблиця 2.22 – Визначення опорів кабельних ліній

Назва кабельної лінії	l, км	$r_0, \frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	R, МОм	$x_0, \frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	X, МОм
ТП – ВРП1	0,079	0,18	14,256	0,06	4,752
ВРП1 – РП1.1	0,006	1,33	8,246	0,07	0,434
ВРП1 – РП1.2	0,003	1,33	3,724	0,07	0,196
ВРП1 – РП1.3	0,024	2,08	50,336	0,07	1,694
ВРП1 – РП1.4	0,026	0,28	7,140	0,06	1,530
ТП – ВРП2	0,114	0,125	14,250	0,059	6,726
ТП – ВРП3	0,046	0,125	5,700	0,059	2,690
ТП – ВРП4	0,094	0,125	11,750	0,059	5,546
ТП – РП5	0,067	0,125	8,350	0,059	3,941
ВРП4 – РП6	0,029	0,48	14,016	0,06	1,752
РП1.1 – Рmax	0,005	8	40	0,09	0,450

Таблиця 2.23 – Визначення струмів КЗ в НВ мережі

Точка КЗ	$R_{дод}, \text{МОм}$	$\dot{R}_{рез}, \text{МОм}$	$\dot{X}_{рез}, \text{МОм}$	$\dot{Z}_{рез}, \text{МОм}$	$I_K, \text{кА}$	k_y	$i_y, \text{кА}$	$F_{min}, \text{мм}^2$	Вибраний переріз
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
К1	20	37,55	15,86	40,76	5,666	1	8,013	21,0	4×185
К1.1	25	50,80	16,29	53,34	4,329	1	6,122	16,0	5×25
К1.2	25	46,27	16,05	48,98	4,715	1	6,668	17,5	5×25
К1.3	25	92,89	17,55	94,53	2,443	1	3,455	9,0	5×16
К1.4	25	49,69	17,39	52,64	4,387	1	6,204	16,2	5×120
К2	20	37,54	17,83	41,56	5,556	1	7,858	20,6	4×240
К3	20	28,99	13,79	32,11	7,192	1	10,172	26,6	4×240
К4	20	35,04	16,65	38,80	5,952	1	8,418	22,0	4×240

Продовження таблиці 2.23

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
K5	20	31,64	15,04	35,04	6,591	1	9,321	24,4	4×240
K6	20	49,06	18,40	52,40	4,407	1	6,233	16,3	4×70
K7	30	95,80	16,74	97,25	2,375	1	3,358	8,8	5×2,5

Переріз кабелю лінії КЛІ7 не є стійким до термічної дії струму КЗ в точці К7, тому приймаємо ВВГнгд – 4 × 10.

2.12.3. Вибір трансформаторів струму

Трансформатори струму, вибрані з [20], призначені для підключення до їх вторинних обмоток таких приладів:

лічильники електричної енергії комерційного та технічного обліку
НІК 2307 АПЗТ, вибрані з [19];

амперметри АСКО – УКРЕМ 2500А.

Для підключення лічильників приймаємо по три трансформатори струму в кожній фазі мережі; для підключення амперметрів – по одному.

$$I_{\text{норм}} = \frac{1302,13}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 2} = 989,19 \text{ А};$$

$$I_{\text{max}} = \frac{1302,13}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 1978,38 \text{ А}.$$

Вторинне навантаження трансформаторів струму :

$$r_k = 0,05 \text{ Ом}; \text{ тоді згідно з [10];}$$

$$S_{\text{прил}} = 10 \text{ ВА};$$

$$r_{\text{прил}} = \frac{10}{5^2} = 0,4 \text{ Ом};$$

$$r_{\text{пр}} = \frac{0,0283 \cdot 4}{2,5} = 0,045 \text{ Ом};$$

$$z_2 \approx r_2 = 0,4 + 0,045 + 0,05 = 0,495 \text{ Ом}.$$

Комерційний облік :

$$T_{\text{Ш}} = 0,66 \cdot 2000 / 5$$

$$0,38 < 0,66 \text{ кВ};$$

$$989,19 < 2000 \text{ А};$$

$$1978,38 < 2000 \text{ А};$$

$$17,507 < 51 \text{ кА};$$

$$34,75 < 100 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

$$0,495 < 5,0 \text{ Ом.}$$

Технічний облік :

$$T - 0,66 \text{ 400 / 5}$$

$$0,38 < 0,66 \text{ кВ};$$

$$337,08 < 400 \text{ А};$$

$$8,793 < 51 \text{ кА};$$

$$9,67 < 100 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

$$0,495 < 5,0 \text{ Ом.}$$

2.12.4. Вибір автоматичних вимикачів

Автоматичні вимикачі вибрано з [21].

Таблиця 2.24 – Вибір автоматичних вимикачів

Номер вимикача	Тип вимикача	Каталожні дані			Розрахункові дані			
		$U_{\text{ном}}$, кВ	$I_{\text{ном розщ}}$, А	$I_{\text{гр вимк}}$, кА	$U_{\text{уст}}$, кВ	$I_{\text{норм}}$, А	$I_{\text{п.ав}}$, А	$I_{\text{к}}$, А
1	2	3	4	5	6	7	8	9
QF1	Chint NA1-2000	0,4	2000	80	0,4	989,19	1978,38	10,791
QF2	Chint NA1-2000	0,4	2000	80	0,4	989,19	1978,38	10,791
QF3	Chint NA1-2000	0,4	2000	80	0,4	989,19	1978,38	10,791
QF4	BA 88 – 37	0,4	315	35	0,4	137,46	274,91	5,666
QF5	BA 88 – 37	0,4	315	35	0,4	137,46	274,91	5,666
QF6	BA 88 – 33	0,4	100	35	0,4	40,44	80,88	4,329
QF7	BA 88 – 33	0,4	100	35	0,4	40,44	80,88	4,329
QF8	BA 88 – 33	0,4	80	35	0,4	37,80	75,60	4,715
QF9	BA 88 – 33	0,4	80	35	0,4	37,80	75,60	4,715
QF10	BA 88 – 33	0,4	50	35	0,4	23,26	46,51	2,443

Продовження таблиці 2.24

1	2	3	4	5	6	7	8	9
QF11	BA 88 – 33	0,4	50	35	0,4	23,26	46,51	2,443
QF12	BA 88 – 35	0,4	200	35	0,4	98,17	196,34	4,387
QF13	BA 88 – 35	0,4	200	35	0,4	98,17	196,34	4,387
QF14	BA 88 – 37	0,4	315	35	0,4	152,70	305,40	5,556
QF15	BA 88 – 37	0,4	315	35	0,4	152,70	305,40	5,556
QF16	BA 88 – 37	0,4	315	35	0,4	146,91	293,81	7,192
QF17	BA 88 – 37	0,4	315	35	0,4	146,91	293,81	7,192
QF18	BA 88 – 40	0,4	400	35	0,4	168,54	337,08	5,952
QF19	BA 88 – 40	0,4	400	35	0,4	168,54	337,08	5,952
QF20	BA 88 – 37	0,4	315	35	0,4	156,67	313,34	6,591
QF21	BA 88 – 37	0,4	315	35	0,4	156,67	313,34	6,591
QF22	BA 88 – 35	0,4	160	35	0,4	137,25	137,25	4,407
QF23	BA 88 – 35	0,4	160	35	0,4	137,25	137,25	4,407
QF24	BA 88 – 32	0,4	25	25	0,4	17,28	17,28	2,375

2.12.5. Вибір рубильників

Рубильники вибрані з [22]:

PE 19 – 44; 2000 A;

$0,38 < 0,66 \text{ кВ};$

$989,19 < 2000 \text{ A};$

$1978,38 < 2000 \text{ A};$

$17,507 < 50 \text{ кА};$

$34,75 < 900 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$

РОЗДІЛ 3

ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ВЕНТИЛЯЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ

Система примусової вентиляції дільниці виробництва масла маслоцеху забезпечує охолодження та циркуляцію повітря в приміщенні, що дозволяє створити допустимі санітарно-гігієнічні умови праці. Система складається з чотирьох вентиляційних установок, кожна з яких містить радіальний вентилятор та електропривод.

Розрахуємо згідно з [Д.2] систему електропостачання вентиляційної установки, що знаходиться на найбільшій відстані 28 м від джерела живлення:

$$L = 0,4 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}; p = 1600 \text{ Па}; \omega = 300 \text{ с}^{-1}; p_m = 1700 - 1,75 \cdot 10^{-6} \cdot L^2.$$

Таблиця 3.1 – Розрахунок аеродинамічної схеми

Показник	Одиниці вимірювання	Значення
$n_{\text{пит}}$	—	40
D_0	м	0,186
D_1	м	0,186
D_2	м	0,280
B	м	0,164
b	м	0,056
A	м	0,124
Z	шт.	15,5
$Z_{\text{прин}}$	шт.	14
β_1	—	60
β_2	—	150
a	м	0,03

Вибираємо з [23] радіальний вентилятор Ц4-12 №5:

$$p_v = 1750 - 2,43 \cdot 10^{-5} \cdot L^2.$$

					ЛНТУ.971059.000 ПЗ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Розробка електропостачальної системи маслозаводу встановленою потужністю 1450 кВт. Пояснювальна записка.		
Розроб.	Ящук Н.М.						
Перевір.	Грицюк І.В.						
Н. контр.	Вашелюк Ю.І.						
Затверд.	Волинець В.І.						
					Літ.	Арк.	Аркушів
						32	3
					ФАБЕ, гр.ЕЕ-42		

Таблиця 3.2 – Побудова характеристик мережі та вентилятора

$L, \frac{м^3}{год.}$	$p_m, Па$	$p_n, Па$
0	1700	1750
500	1699,563	1743,925
1000	1698,25	1725,7
1500	1696,063	1695,325
2000	1693	1652,8
2500	1689,063	1598,125

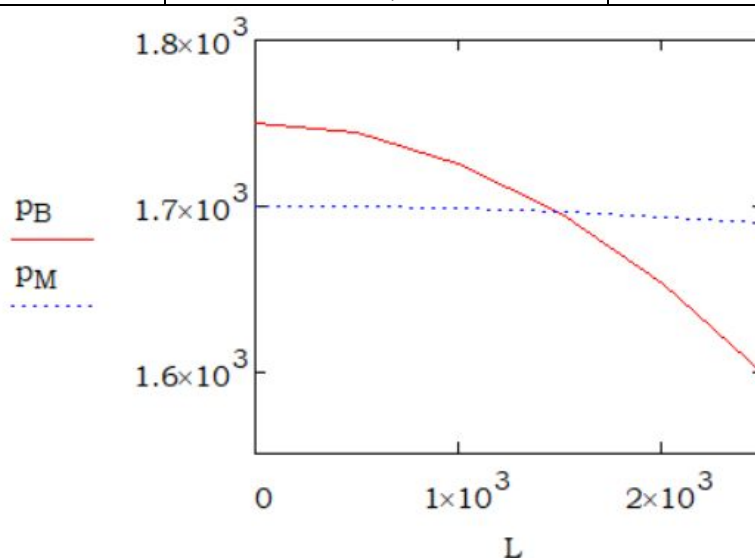


Рисунок 3.1 – Визначення робочої точки вентилятора

$$L_p = 1489; p_p = 1696.$$

Для електроприводу вентиляційної установки вибираємо з [23] асинхронний двигун з короткозамкненим ротором (табл.3.3).

Таблиця 3.3 – Вибір електроприводу вентилятора

Показник	Одиниці вимірювання	Значення
k_z	—	1,2
η	—	0,8
P_B	кВт	1,05
Тип двигуна	—	A2
$P_{дв}$	кВт	1,5
n	об / хв	3000
$\eta_{дв}$	—	0,805
$\cos \varphi_{дв}$	—	0,88

До складу мережі живлення вентиляційної установки входять:

трансформатор підстанції 10/0,4 кВ (Т);

лінія живлення ВРП1 (КЛ1);

лінія живлення РП1.3 (КЛ2);

лінія живлення двигуна вентилятора (КЛ3).

Таблиця 3.4 – Вибір мережі живлення вентилятора

Показник	Одиниці вимірювання	Значення
$I_{\text{дв}}$	А	3,28
Тип кабелю	—	ВВГнгд – $5 \times 2,5$
r_0	Ом / км	8
x_0	Ом / км	0,09
l	км	0,028
$\Delta U_{\text{Л3}}$	%	0,26
$\Delta U_{\text{Л2}}$	%	0,88
$\Delta U_{\text{Л1}}$	%	2,68
$\Delta U_{\text{Т}}$	%	3,21
ΔU	%	6,16
$\Delta U_{\text{доп}}$	%	10

РОЗДІЛ 4

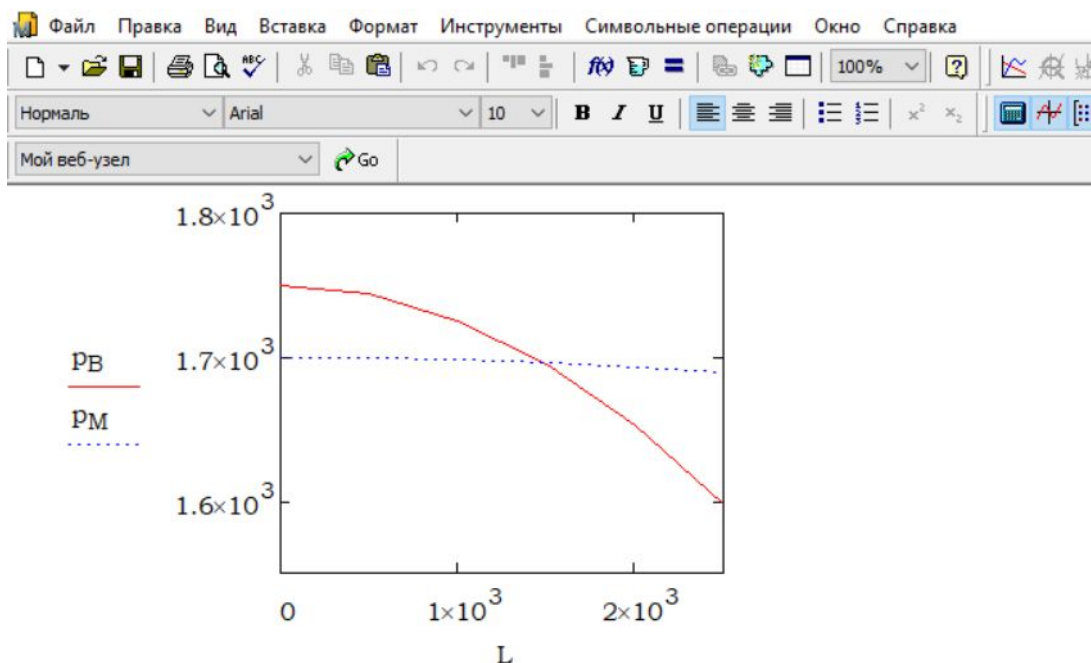
САПР

Розрахунок системи електропостачання вентиляційної установки (розд.3) виконано в середовищі Microsoft Excel 2003. Графіки для визначення робочої точки побудовані в Mathcad15.

Файл Главная Вставка Разметка страницы Формулы Данные Рецензирование Вид Acrobat Что вы хотите сделать?											
Вставить		Times New Ro 12 A A		Перенести текст		Общий		Условное форматирование		Стили	
Буфер обмена		Шрифт		Выравнивание		Число		Стили		Стили	
G21											
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Вихідні дані										
2	L, м3/с	0,4									
3	L, м3/год	1440									
4	p, Па	1600									
5	ω, об/хв	300									
6											
7	Побудова аеродинамічної схеми		Вибрані коефіцієнти								
8	n _{пит}	40		n.пит	k1	k2	k3	k4	β1	β2	η
9	D ₀	0,186		20...55	1,65	60	1,2	90	60	150	0,6
10	D ₁	0,186		40...80	1,75	105	2	125			0,7
11	D ₂	0,280									
12	B	0,164									
13	b	0,056									
14	A	0,124									
15	Z	15,5									
16	Z _{прийн}	14									
17	β ₁	60									
18	β ₂	150									
19	a	0,03									

Рисунок 4.1 – Розрахунок аеродинамічної схеми вентилятора

					ЛНТУ.971059.000 ПЗ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Розробка електропостачальної системи маслозаводу встановленою потужністю 1450 кВт. Пояснювальна записка.		
Розроб.	Ящук Н.М.						
Перевір.	Грицюк І.В.						
Н. контр.	Ващелюк Ю.І.						
Затверд.	Волинець В.І.						
					Літ.	Арк.	Аркушів
						35	3
					ФАБЕ, гр.ЕЕ-42		



$$L_{\text{роб}} = 1489.058$$

$$|L_{\text{роб}}| = 1489.058$$

$$p_{\text{роб}} = 1696.12$$

$$|p_{\text{роб}}| = 1696.12$$

Перевіримо вірність вибору насосів за умовами:

$$\text{Умова1} := \begin{cases} 1 & \text{if } L_{\text{роб}} \geq L_{\text{з1}} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Умова2} := \begin{cases} 1 & \text{if } p_{\text{роб}} \geq p \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Умова1} = 1$$

$$\text{Умова2} = 1$$

Рисунок 4.2 – Визначення робочої точки та перевірка умов роботи вентилятора

Г21	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
22	Координати робочої точки									
23	L _{роб} , м3/год	1489								
24	L _{роб} , м3/с	0.41								
25	p _{роб} , Па	1696								
26										
27	Вибір двигуна			Двигуни асинхронні серії А2						
28	k _з	1.2		Р _{дв} , кВт	η _{дв}	cosφ _{дв}				
29	η	0.8		1.5	0.805	0.88				
30	P _в	1.05		2	0.825	0.83				
31	Тип двигуна	A2		3	0.835	0.84				
32	P _{вв}	1.5		4	0.86	0.85				
33	n	3000		5.5	0.87	0.86				
34	η _{вв}	0.805		7.5	0.885	0.87				
35	cos φ _{вв}	0.88		10	0.885	0.87				
36				13	0.885	0.89				

Рисунок 4.3 – Вибір електроприводу

Файл Главная Вставка Разметка страницы Формулы Данные Рецензирование Вид Аcrobat Что вы хотите сделать?										
Вставить		Шрифт		Выравнивание		Число		Стили		
G21										
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
37	Вибір живлячої лінії			Параметри кабелю ВВГнгд-0,4					Вибрані трансформатори	
38	$I_{\text{дв}}$	3,28		Переріз	Ітр.доп	го	хо		Тип	ТМ-630
39	Тип кабелю	ВВГнгд-4×2,5		2,5	19	8	0,09		St	630
40	r_0	8		4	27	5	0,09		Pк	8,5
41	x_0	0,09		6	32	3,33	0,09		uk	6
42	l	0,028		10	42	2	0,07		ит.а	1,349
43	$\Delta U_{\text{л3}}$	0,26								
44	$\Delta U_{\text{л2}}$	0,88		16	60	1,25	0,07		ит.р	5,846
45	$\Delta U_{\text{л1}}$	2,68		25	75	0,8	0,07			
46	$\Delta U_{\text{тр}}$	3,21								
47	ΔU	6,16								
48	$\Delta U_{\text{доп}}$	10								

Рисунок 4.4 – Вибір мережі живлення

РОЗДІЛ 5

ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА

До технічних заходів з електробезпеки маслозаводу належить спорудження контурів заземлення для усіх будівель, де працюють люди. Розрахуємо такий контур для будівлі маслоцеху за методикою [Д.3], [24].

$$l = (60 + 36) \cdot 2 = 192 \text{ м};$$

$$R_{\Gamma} = \frac{180}{2 \cdot 3,14 \cdot 192} \cdot \ln \frac{192^2}{0,4 \cdot 0,04} = 2,3 \text{ Ом};$$

$$R_H = 10 \text{ Ом};$$

$$R_B = \frac{2,3 \cdot 10}{2,3 + 10} = 1,86 \text{ Ом};$$

$$R_{BO} = \frac{120}{2 \cdot 3,14 \cdot 2,5} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot 2,5}{0,016} + \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{4 \cdot 0,7 + 1}{4 \cdot 0,7 - 1} \right) = 55 \text{ Ом};$$

$$\eta_B = 0,65; \eta_{\Gamma} = 0,3;$$

$$n_B = \frac{55}{1,86 \cdot 0,62} = 45,3 \text{ шт} \Rightarrow n_B = 46 \text{ шт};$$

$$R_{шт} = \frac{55 \cdot 2,3}{0,3 \cdot 55 + 0,65 \cdot 46 \cdot 2,3} = 1,48 \text{ Ом} < 10 \text{ Ом}.$$

					ЛНТУ.971059.000 ПЗ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Розробка електропостачальної системи маслозаводу встановленою потужністю 1450 кВт. Пояснювальна записка.		
Розроб.	Ящук Н.М.						
Перевір.	Грицюк І.В.						
Н. контр.	Ващелюк Ю.І.						
Затверд.	Волинець В.І.						
					Літ.	Арк.	Аркушів
						38	1
					ФАБЕ, гр.ЕЕ-42		

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

Для забезпечення надійності роботи розробленої електропостачальної системи маслозаводу в проєкті прийнято такі технічні рішення:

резервування силових трансформаторів (в нормальному режимі роботи завантаження кожного трансформатора не перевищує 70%; в післяаварійному – навантаження трансформатора подвоюється, а післяаварійне перевантаження знаходиться в межах 40%; перемикання між трансформаторами виконується на рівні 0,4 кВ секційним автоматичним вимикачем вручну);

резервування кабельних ліній 10 та 0,4 кВ (лінії виконані дволанковими, окрім кабелю 0,4 кВ, що живить РПб складу; перемикання між лініями 10 кВ виконується роз'єднувачами, встановленими в ремонтній перемичці);

ізольоване виконання нейтралі мережі 10 кВ, яке дозволяє безперебійне електропостачання в режимі однофазного КЗ.

Для забезпечення якості електричної енергії розроблено:

систему вимірювання параметрів режиму;

засоби регулювання напруги на рівні обмоток 10 кВ силових трансформаторів перемиканням без збудження та шин 0,4 кВ за допомогою конденсаторних установок;

компенсацію реактивної складової струму;

мережа в цілому має достатню пропускну здатність, а отже, мінімальні втрати напруги.

Для економічності системи застосовано:

метод економічної густини струму для вибору перерізу високовольтних кабелів;

техніко-економічні порівняння різних варіантів виконання мережі;

розташування трансформаторної підстанції в центрі електричних навантажень.

					ЛНТУ.971059.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Правила улаштування електроустановок : видання офіційне. Київ : Міненерговугілля України, 2017. 620 с.
2. Давиденко Л.В., Коменда Н.В, Давиденко В.А., Євсюк М.М. Електропостачання промислових об'єктів : практикум : навчальний посібник. Луцьк : ВІП ЛНТУ, 2022. 244с.
3. Промислові LED світильники : каталог. URL : https://ledmir.com.ua/industrial_led_lights
4. Трансформатори силові типу ТМ. URL : http://cabex.com.ua/ru/produkcija/transformatori/transformatori_silovie_tipa_tm.html
5. Установки компенсації реактивної потужності ККУ-0,4. URL : <https://avelectric.com.ua/ua/g77561771-ustanovki-kompensatsii-reaktivnoj>
6. Електричні системи та мережі : методичні вказівки до виконання курсової роботи для здобувачів першого (бакалаврського) рівня освіти освітньої програми «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» галузі знань 14 Електрична інженерія спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка денної та заочної форм навчання ; уклад. І.В. Грицюк, Ю.В. Грицюк. Луцьк : Луцький НТУ, 2021. 72с.
7. Силові кабелі з ізоляцією із зшитого поліетилену : каталог. URL : <https://amperia.com.ua/ua/g32628816-silovye-kabeli-izolyatsiej>.
8. Пункт розподільний ЕУ-ПР11 : каталог. URL : <https://www.enersys.in.ua/vyrobnytstvo/punkt-rozpodilnyi.html>.
9. Ввідно-розподільний пристрій : каталог. URL : <https://www.enersys.in.ua/vyrobnytstvo/vvidno-rozpodilnyi-prystrii.html>.

- 10.Кабелі силові АВВГ, АВВГнг, АВВГнгд : каталог. URL : <https://europan.ua/ru/produkcija/kabeli-silovi/avvg-avvgng-avvgngd/>.
- 11.Грицюк Ю.В. Електрична частина станцій і підстанцій. Методичні вказівки до практичних занять. – Луцьк: ЛНТУ, 2015. – 96 с.
12. Електрична частина станцій і підстанцій : методичні вказівки до виконання курсового проекту ; уклад. Ю.В. Грицюк. Луцьк : Луцький НТУ, 2014. 84с.
13. Камери збірні одностороннього обслуговування КСО 399 УЗ : каталог. ООО Укрелетрокомплект. URL: <http://uelko.com/kso399.pdf>.
14. Панелі розподільних щитів ЩО 99 УЗ : каталог. ООО Укрелетрокомплект. URL: <https://uelko.com/so99.pdf>.
15. Роз'єднувачі РВ, РВО, РВЗ, РВФЗ, РЛВО : каталог. URL: <http://nvacontact.com/category2/razediniteli-10-kv/>.
16. Вимикач навантаження типу ВН-РА-000 : каталог. ООО Укрелетрокомплект URL: <https://uelko.com/vn-ra.pdf>.
17. Високовольтні запобіжники : каталог. URL: https://www.websor.ru/vjsokovoltnje_predohraniteli.html.
18. Кабелі силові ВВГ, ВВГнг, ВВГнгд : каталог. URL : <https://europan.ua/ru/produkcija/kabeli-silovi/vvg3-vvg3ng-vvg3ngd-vvg5-vvg5ng-vvg5ngd/>.
19. Лічильники електричної енергії НІК2303 : настанова з експлуатації. Київ, 2016. URL: http://www.nik.net.ua/uploads/RE_2303LE.pdf.
20. Трансформатори струму ТШ-0,66 : каталог. URL: <http://bek-ltd.com.ua/transformatory-toka-t-0-66>.
21. Вимикачі автоматичні серії ВА88 : інструкція з експлуатації. ІЕК. URL: https://www.iek.ru/partners/infobaza/files/docs/passp_re/bc4722f58a17e3fcaaa9ec94fab2307f.pdf

22. Роз'єднувач РЕ-19 : каталог продукції : Промелектросервіс. URL:
<http://www.elektro-portal.com/series/show/razedinitel-re19>.
23. Електроприймачі в системах електроспоживання : навчальний посібник для здобувачів першого (бакалаврського) рівня освіти освітньої програми «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» галузі знань 14 Електрична інженерія спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка денної та заочної форм навчання / уклад. І.В. Грицюк, Ю.В. Грицюк, І.О. Бандура. Луцьк : Луцький НТУ, 2021. 262с.
24. Панченко С.В., Акімов О.І., Бабаєв М.М. та ін. Електробезпека : підручник. Харків : УкрДЗТ, 2018. 295 с.