

Міністерство освіти і науки України

Луцький національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет архітектури, будівництва та енергетики

(повне найменування факультету)

Кафедра електричної інженерії

(повне найменування кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНИЙ ПРОЄКТ ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «БАКАЛАВР»

**«Електропостачання шоколадної фабрики встановленою потужністю
1200 кВт»**

спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва спеціальності)

освітня програма «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
(назва освітньої програми)

Виконав здобувач вищої освіти
групи ЕЕЗ-41

Ласійчук Юрій Андрійович

(підпис)

Керівник: асистент
Денисовець Тетяна Миколаївна

(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

Ласійчуку Юрію Андрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційного проекту: Електропостачання шоколадної фабрики
встановленою потужністю 1200 кВт

Керівник проекту: асистент Денисовець Тетяна Миколаївна
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. Вибір положення ПБЗ трансформаторів.

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. План і розріз трансформаторної підстанції.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис	
		завдання видав	завдання прийняв
1. Коротка характеристика об'єкту проектування	Денисовець Т.М.		
2. Основні проектні рішення	Денисовець Т.М.		
3. Вибір положення ПБЗ трансформаторів	Денисовець Т.М.		
4. САПР	Денисовець Т.М.		
5. Електробезпека	Денисовець Т.М.		

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	Вибір положення ПБЗ трансформаторів	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 обладнання		
4	План і розріз трансформаторної підстанції		

Здобувач вищої освіти

_____ (підпис)

(Ласійчук Ю.А.)
(прізвище, ініціали)

Керівник

кваліфікаційного проекту

_____ (підпис)

(Денисовець Т.М.)
(прізвище, ініціали)

АНОТАЦІЯ

Ласійчук Ю.А. Електропостачання шоколадної фабрики встановленою потужністю 1200 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

Y. Lasiychuk. Power supply of a chocolate factory with an installed capacity of 1200 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.....	12
2.3. Визначення результуючих навантажень.....	14
2.4. Побудова картограми навантажень та визначення теоретичного центру навантажень.....	14
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.....	17
2.9. Проектування внутрішньої розподільної мережі.....	18
2.10. Розрахунок струмів короткого замикання.....	19
2.11. Вибір обладнання.....	21
2.11.1. Вибір комплектних розподільчих пристроїв.....	21
2.11.2. Вибір роз'єднувачів.....	22
2.11.3. Вибір вимикачів навантаження та запобіжників.....	23
2.12. Розрахунок низьковольтної мережі цеху.....	23
2.12.1. Вибір схеми електропостачання.....	23
2.12.2. Розрахунок струмів короткого замикання в мережі 0,4 кВ.....	25
2.12.3. Вибір трансформаторів струму.....	28

					ЛНТУ.971095.000 ПЗ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Ласійчук Ю.А.			Електропостачання шоколадної фабрики встановленою потужністю 1200 кВт. Пояснювальна записка.	Літ.	Арк.
Перевір.		Денисовець Т.М.					6
						Аркушів	
						60	
Н. контр.		Ващелюк Ю.І.				ФАБЕ, гр.ЕЕЗ-41	
Затверд.		Волинець В.І.					

2.12.4. Вибір автоматичних вимикачів.....	29
2.12.5. Вибір рубильників.....	29
РОЗДІЛ 3 ВИБІР ПОЛОЖЕННЯ ПБЗ ТРАНСФОРМАТОРІВ.....	30
РОЗДІЛ 4 САПР.....	31
РОЗДІЛ 5 ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА	32
ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ.....	33
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	34
ДОДАТОК 1 ОСНОВНІ ПРОЄКТНІ РІШЕННЯ.....	37
ДОДАТОК 2 ВИБІР ПОЛОЖЕННЯ ПБЗ ТРАНСФОРМАТОРІВ.....	58
ДОДАТОК 3 ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА.....	59

ВСТУП

Метою даного проєкту є розроблення електропостачальної системи шоколадної фабрики, для якої характерні такі особливості:

велика кількість автоматизованих ліній та синхронно працюючих машин, апаратів неперервної дії, зокрема, змішувачі, шнекові машини, багатовалкові млини, тощо;

більшість електроустановок фабрики є приймачами II категорії надійності, тому електропостачальна система повинна включати два незалежних джерела живлення;

встановлена потужність шоколадної фабрики 1200 кВт, тому зовнішнє живлення доцільно виконувати лініями високої напруги із подальшою трансформацією до 0,4 кВ;

проектowana фабрика є промисловим споживачем великої потужності, тому згідно з [1] мережі повинні бути оснащені засобами компенсації реактивної потужності;

найбільш ефективною, але й найбільш дорогою є індивідуальна компенсація, менш ефективними є групова або централізована, тому рішення про місце підключення компенсувальних установок приймають на основі техніко-економічного порівняння;

живлення споживачів II категорії надійності виконують за радіальними схемами, споживачів III категорії – за магістральними;

обладнання, що входить до схеми електропостачання, повинне бути сучасним та відповідати вимогам [1];

обрані елементи схеми повинні бути перевірені за пропускнуою здатністю та стійкістю до струмів короткого замикання;

для підтримування рівня напруги в межах допустимих відхилень схема повинна бути оснащена засобами її регулювання.

					ЛНТУ.971095.000 ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1

КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ПРОЄКТУВАННЯ

Проектowana фабрика спеціалізується на виготовленні шоколаду та шоколадних виробів.

Сировиною для виготовлення шоколаду є какао-боби. Складовими шоколаду без добавок є терте какао, олія какао та цукрова пудра.

Основні етапи технологічного процесу виготовлення шоколаду наведено на рисунку 1.1.

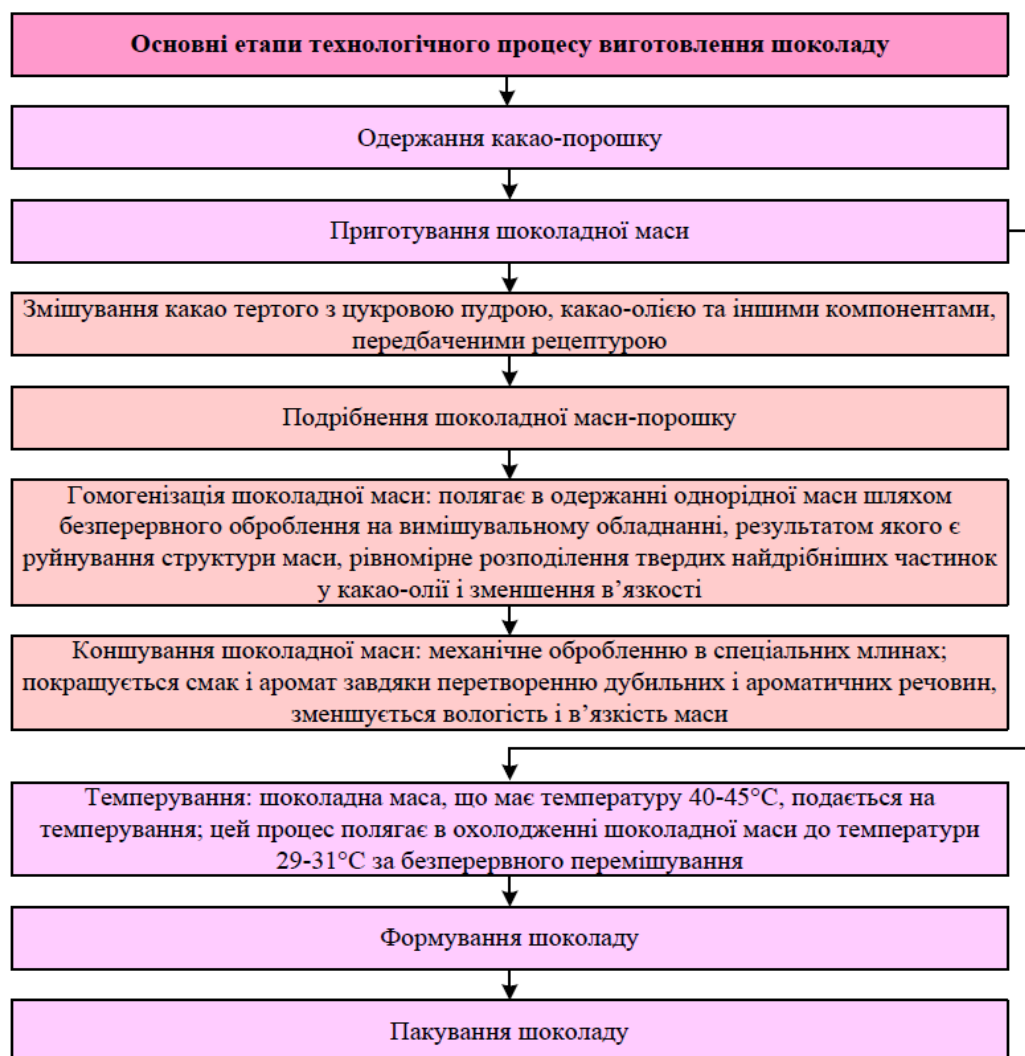


Рисунок 1.1 – Основні етапи технологічного процесу виготовлення шоколаду

					ЛНТУ.971095.000 ПЗ						
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Електропостачання шоколадної фабрики встановленою потужністю 1200 кВт. Пояснювальна записка.	Літ.		Арк.	Аркушів		
Розроб.		Ласійчук Ю.А.						9	2		
Перевір.		Денисовець Т.М.									
Н. контр.		Вашцелюк Ю.І.									
Затверд.		Волинець В.І.									
					ФАБЕ, гр.ЕЕз—41						

Таблиця 1.1 – Характеристики цехів заводу

Назва об'єкту	Розміри будівлі			Встановлена потужність, кВт
	Довжина, м	Ширина, м	Площа будівлі, м ²	
1. Цех шоколадних батончиків	36	72	2592	343
2. Цех плиткового шоколаду	60	24	1440	117
3. Цех фігурного шоколаду	60	24	1440	210
4. Цех шоколадних цукерок	60	36	2160	355
5. Лабораторія	30	24	720	65
6. Склад-магазин	48	24	1152	110
Разом			9504	1200

Таблиця 1.2 – Вихідні дані

Назва параметру	Одиниці вимірювання	Значення
Кількість змін	–	2
Тривалість роботи електрообладнання в рік τ	год.	4140
Час використання максимального навантаження T_{max}	год.	2210
Джерело живлення	–	РП-10 кВ
Відстань до джерела l	км	2,2
Потужність короткого замикання на шинах джерела живлення $S_{\text{кз}}$	МВА	54
Вхідна реактивна потужність $Q_{\text{вх max}}$	кВАр	185
Загальна територія підприємства	м ²	31248
Категорія надійності споживачів:		
I (пристрої пожежної сигналізації, евакуаційне освітлення)	%	0,5
II (приймачі основних виробничих цехів)	%	68,3
III (приймачі складу, приймачі, що виконують допоміжні функції)	%	31,2

РОЗДІЛ 2

ОСНОВНІ ПРОЄКТНІ РІШЕННЯ

2.1. Розрахунок силових електричних навантажень

Розрахунок електричних навантажень [2, 3] є першим етапом проєктування будь-якої електропостачальної системи.

За значеннями розрахованих електричних навантажень в подальшому будемо виконувати вибір та перевірку струмовідних частин, силових трансформаторів та компенсувальних установок, електричних апаратів.

Групові електричні навантаження розрахуємо для цеху плиткового шоколаду на основі індивідуальних навантажень окремих приймачів (табл.2.2).

Групові навантаження розподільний пристроїв цехів розраховано в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Розрахунок навантажень силових приймачів підприємства

Номер цеху	P_n , 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	343	154,35	169,79	229,46	208,37	169,79	268,79
2	117	56,75	55,74	79,54	82,39	60,92	102,46
2.1	65	32,30	31,91	45,40	47,45	34,90	58,90
2.2	52	24,45	23,83	34,14	34,94	26,02	43,56
3	210	92,40	110,88	144,33	129,36	110,88	170,38
4	355	163,30	179,63	242,76	209,02	179,63	275,60
5	65	24,70	27,17	36,72	35,82	27,17	44,95
6	110	33,00	33,33	46,90	42,90	33,33	54,33
Всього	1200	524,50	576,53	779,72	707,86	581,72	916,51

					ЛНТУ.971095.000 ПЗ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Електропостачання шоколадної фабрики встановленою потужністю 1200 кВт. Пояснювальна записка.		
Розроб.	Ласійчук Ю.А.						
Перевір.	Денисовець Т.М.						
Н. контр.	Вашелюк Ю.І.						
Затверд.	Волинець В.І.						
					Літ.	Арк.	Аркушів
						11	19
					ФАБЕ, гр.ЕЕЗ-41		

Таблиця 2.2 – Розрахунок силових навантажень на шинах щитів 2.1, 2.2

Назва електроприймача	P_н кВт	n	P_н кВт	K _{вик}	tgφ	m	η_{эф}	K_{max}	Розрахункові навантаження			
	P_{ср.зм.} кВт		Q_{ср.зм.} квар		P_{р.} кВт		Q_{р.} квар					
	РП2.1											
	Приймачі із змінним графіком навантаження											
Змішувач какао	7,5	2	15	0,45	1,03	2,0	7	1,51	6,75	6,95	44,85	32,95
Подрібнювач шоколадної маси	8	2	16	0,45	1,02				7,20	7,34		
Установка нагрівання та підтримування сталої температури	7,5	2	15	0,5	1,01				7,50	7,58		
Конвеєр стрічковий	15	1	15	0,55	0,98				8,25	8,09		
	Приймачі із постійним графіком навантаження											
Шафа витяжна	4	1	4	0,65	0,75				2,60	1,95	2,60	1,95
Всього РП2.1		8	65						32,30	31,91	47,45	34,90
	РП2.2											
	Приймачі із змінним графіком навантаження											
Гомогенізатор	6	2	12	0,35	0,99	3,0	6	1,48	4,20	4,16	32,34	24,07
Пристрій фільтрувальний	5,5	2	11	0,4	1,02				4,40	4,49		
Машина відливна	5	2	10	0,5	1,03				5,00	5,15		
Конвеєр стрічковий	15	1	15	0,55	0,98				8,25	8,09		
	Приймачі із постійним графіком навантаження											
Емульгатор безперервної дії	9	2	18	0,7	0,75				12,60	9,45	12,60	9,45
Шафа витяжна	4	1	4	0,65	0,75				2,60	1,95	2,60	1,95
Всього РП2.2		8	52						24,45	23,83	34,94	26,02
Всього по дільниці		16	117						56,75	55,74	82,39	60,92

2.2. Розрахунок освітлювальних навантажень

Систему штучного освітлення будівель заводу виконано енергоефективними LED світильниками [4]. Дані джерела розташовані під стелею та забезпечують рівномірне освітлення та відсутність мерехтіння.

В цехах та невиробничих будівлях передбачено загальне та евакуаційне освітлення. Для живлення світильників евакуаційного освітлення встановлено додаткові резервні джерела у вигляді акумуляторних батарей, ввімкнення яких відбувається автоматично.

Таблиця 2.3 – Вибір джерел світла

Номер цеху	Розряд зорової роботи	$E_{\text{норм.}}$ лк	Тип світильника	F , лм	P , кВт
1	Va	300	НВ-УС-Е-150W	15000	150
2	Va	300	НВ-УС-Е-150W	15000	150
3	Va	300	НВ-УС-Е-150W	15000	150
4	Va	300	НВ-УС-Е-150W	15000	150
5	Vб	400	AL1004 100W	11000	100
6	VIIIб	75	Biom 75W 6000K IP20 LN-4-75-1200-6 23410b	7200	75

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 , кВт	$K_{\text{пра}}$	$K_{\text{п}}$	$\text{tg}\varphi$	$P_{\text{р.о.}}$, кВт	$Q_{\text{р.о.}}$, квар
1	2592	8	3,38	8,76	1,2	0,9	0,33	9,46	3,12
2	1440	8	3,38	4,87	1,2	0,9	0,33	5,26	1,73
3	1440	8	3,38	4,87	1,2	0,9	0,33	5,26	1,73
4	2160	8	3,38	7,30	1,2	0,9	0,33	7,88	2,60
5	720	4	3,29	2,37	1,2	0,9	0,33	2,56	0,84
6	1152	5	3,17	3,65	1,2	0,9	0,33	3,94	1,30
Всього	9504			31,82				34,36	11,34

Для вуличного освітлення приймаємо з [4] джерела світла EVROLIGHT 30W 6400K ST – 30 – 08IP65:

$$\sum \varepsilon = \frac{10^3 \cdot 2,75 \cdot 0,85 \cdot 11}{2700} = 9,52 \text{ лк};$$

$$\frac{L}{h} = 12; L = 12 \cdot 11 = 132 \text{ м};$$

$$L_{\Sigma} = 3600 \text{ м}; N = \frac{3600}{132} = 27,3 \Rightarrow N_{\text{прийн}} = 28;$$

$$P_{\text{вст.зовн}} = 30 \cdot 28 \cdot 10^{-3} = 0,84 \text{ кВт};$$

$$P_{\text{розр.зовн}} = 1,2 \cdot 0,9 \cdot 0,84 = 0,91 \text{ кВт};$$

$$Q_{\text{розр.зовн}} = 0,91 \cdot 0,33 = 0,3 \text{ кВАр}.$$

2.3. Визначення результуючих навантажень

Таблиця 2.5 – Розрахунок результуючих навантажень

Номер цеху	$P_{\text{вст}\Sigma},$ кВт	$P_{\text{ср.3м}\Sigma},$ кВт	$Q_{\text{ср.3м}\Sigma},$ квар	$S_{\text{ср.3м}\Sigma},$ кВА	$P_{\text{р}\Sigma},$ кВт	$Q_{\text{р}\Sigma},$ квар	$S_{\text{р}\Sigma},$ кВА
1	351,76	163,81	172,91	238,18	217,83	172,91	278,12
2	121,87	62,01	57,47	84,55	87,64	62,66	107,73
2.1	65,00	32,30	31,91	45,40	47,45	34,90	58,90
2.2	56,87	29,71	25,57	39,19	40,19	27,75	48,85
3	214,87	97,66	112,61	149,06	134,62	112,61	175,51
4	362,30	171,18	182,23	250,03	216,91	182,23	283,30
5	67,37	27,26	28,01	39,09	38,37	28,01	47,51
6	113,65	36,94	34,63	50,64	46,84	34,63	58,26
Освітлення території	0,84	0,91	0,30	0,96	0,91	0,30	0,96
Всього	1232,66	559,77	588,17	812,49	743,13	593,36	951,38

2.4. Побудова картограми навантажень та визначення теоретичного центру навантажень

Вірне розміщення трансформаторної підстанції шоколадної фабрики забезпечить раціональність її системи електропостачання.

Найбільш вигідний варіант розташування визначається на основі складання картограми електричних навантажень, що являє собою сукупність кіл, центри яких співпадають з центрами електричних навантажень кожного цеху, а радіуси відповідають розрахунковим електричним навантаженням з урахуванням обраного масштабу.

Кожне коло поділене на сектори, які відповідають силовому та освітлювальному навантаженню цеху.

Таблиця 2.6 – Визначення центру електричних навантажень

№ цеху	x, м	y, м	$P_{\Sigma} \cdot x$	$P_{\Sigma} \cdot y$	$Q_{\Sigma} \cdot x$	$Q_{\Sigma} \cdot y$	r	α
1	30	132	6535	28754	5187	22824	30	16
2	162	24	14198	2103	10150	1504	19	22
3	42	24	5654	3231	4730	2703	24	14
4	198	102	42948	22125	36082	18588	30	13
5	144	111	5526	4259	4034	3110	12	24
6	156	156	7308	7308	5403	5403	14	30
Всього			82168	67780	65586	54130		
X_{Σ}	111							
Y_{Σ}	91							

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

Трансформаторна підстанція СЕП шоколадної фабрики являє собою комплекс установок, призначених для перетворення та розподілу електричної енергії, до складу якого входять: два силових трансформатори [5]; розподільні пристрої; апарати керування та автоматики. Двотрансформаторні підстанції є більш вигідними з економічної точки зору та відповідають вимогам до надійності електропостачання споживачів II категорії.

За потреби встановлення на шинах 0,4 кВ підстанції конденсаторних батарей, обираємо їх з [6].

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	0,09	630	1,27	2	0	2	681,60
II		400	2,00	2	0	2	16,07

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	0,32	184,97	184,97	100
II	572,10	12	17	0,38	0,00	572,10	300

Таблиця 2.9 – Техніко-економічне порівняння можливих варіантів встановлення

Варіант встановлення	ΔP_x , кВт	ΔP_k , кВт	τ , год	W , тис.кВт · год	C_e , тис.грн	K , тис.грн	Z , тис.грн
I	1,18	8,5	1043	11,942	93,623	925,04	209,25
II	0,95	5,6	1043	9,2965	72,885	876,96	182,50

Вибираємо $2 \times TM - 400 / 10$; $2 \times KKY - 0,4 - 300 - 10 - 21Y3$.

Перевіряємо вибрані трансформатори за перевантажувальною здатністю :

$$1,4 \cdot 400 = 560 \text{ кВА} > \frac{2 \cdot (1 - 0,312) \cdot 812,49}{2} = 559,0 \text{ кВА.}$$

2.6. Компенсація реактивної потужності

Реактивна потужність відповідає зворотному процесу обміну електричною енергією між джерелами та приймачами електричної енергії в мережах змінного струму. Реактивна потужність спричиняє додаткові активні втрати та втрати напруги в мережах, якими передається.

Для усунення перевантажень, зменшення втрат напруги та підвищення коефіцієнту потужності застосовують компенсацію реактивної потужності.

Таблиця 2.10 – Розрахунок компенсації реактивної потужності

Показник	Од.вимір.	Значення
$Q_{\text{ср.зм}\Sigma}$	кВАр	588,17
$Q_{\text{еmax}}$	кВАр	185
$Q_{\text{НБК ф}}$	кВАр	300
ΔQ_T	кВАр	20
$K_{\text{НС}}$	–	0,75
Q_{M1}	кВАр	441,13
Q_{K1}	кВАр	256,40
$Q_{\text{НС т}}$	кВАр	328,17
$Q_{\text{ВБК}}$	кВАр	-3,60

Від’ємне значення реактивної потужності на шинах високої напруги підстанції свідчить про те, що обраних низьковольтних конденсаторних батарей достатньо.

2.7. Визначення електричних навантажень на вищих рівнях

Таблиця 2.11 – Розрахунок навантажень на рівні 10 кВ

Розрахункове навантаження	Одиниці вимірювання	Значення
P_{p3}	кВт	559,77
Q_{p2}	кВАр	588,17
$Q_{НБК}$	кВАр	600
P_{p3}	кВт	559,77
Q_{p3}	кВАр	-11,83
S_{p3}	кВА	559,89
ΔP_T	кВт	11,20
ΔQ_T	кВАр	55,99
P_{p4}	кВт	570,97
Q_{p4}	кВАр	44,16
S_{p4}	кВА	572,67

2.8. Проектування мережі живлення підприємства

Під лінією електропередавання (ЛЕП) високої напруги СЕП шоколадної фабрики розуміють пристрій для транспортування електричної енергії напругою 10 кВ. ЛЕП виконуємо кабельними [8]. Таких ліній приймаємо дві.

$$j_e = 1,9 \frac{A}{mm^2};$$

$$I_{норм} = \frac{572,67}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 2} = 16,53 \text{ А}; I_{п\text{ АВ}} = \frac{572,67}{\sqrt{3} \cdot 10} = 33,06 \text{ А};$$

$$F_e = \frac{16,53}{1,9} = 8,7 \text{ мм}^2; \text{ розглядаємо перерізи від } 35 \text{ мм}^2 \text{ включно.}$$

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	35,70	0,36	0,71
50	169	174,1	0,58	0,086	32,48	0,32	0,65
70	211	217,3	0,45	0,084	25,85	0,26	0,52
95	260	267,8	0,31	0,083	18,76	0,19	0,38

Таблиця 2.13 – Техніко-економічне порівняння кабелів різного перерізу

F, мм ²	K _{зл}	$\Delta P_{\text{н}}$, кВт	$\Delta P_{\text{д}}$, кВт	C _е , тис. грн.	K, тис. грн.	З, тис. грн.
35	0,112	135,17	1,703	13,919	2125,2	279,569
50	0,095	170,82	1,541	12,595	2604,8	338,195
70	0,076	206,59	1,195	9,772	2710,4	348,572
95	0,062	216,10	0,823	6,732	3163,6	402,182

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

2.9. Проектування внутрішньої розподільної мережі

Для живлення розподільних пристроїв напругою 400 В [9, 10] встановлених в цехах шоколадної фабрики, застосовуємо кабельні ЛЕП, обрані з [11].

Кабелі прокладено в траншеях із застосування пісчаної подушки товщиною 0,15 м на глибині 0,7 м (для ліній напругою до 20 кВ); відстань від стінок траншеї – від 0,1 м.

Таблиця 2.14 – Вибір розподільних пристроїв 0,4 кВ

Назва РП	$S_{p\Sigma}$, кВА	$I_{п.ав}$, А	Тип розподільного пристрою	$I_{доп.РП}$, А	$n_{прийм}$	$n_{мод}$
ВРП1	278,12	422,55	ЕУ – ВРП2 – 1 – 630 У4	630	4	4
РП2.1	58,90	89,49	ПР11 – 3034 – 21 У3	100	14	14
РП2.2	48,85	74,21	ПР11 – 3034 – 21 У3	100	14	14
ВРП3	175,51	266,66	ЕУ – ВРП2 – 1 – 400 У4	400	4	4
ВРП4	283,30	430,43	ЕУ – ВРП2 – 1 – 630 У4	630	4	4
РП5	105,77	160,70	ПР11 – 3079 – 51 У3	250	12	14
РП6	58,26	88,51	ПР11 – 3034 – 21 У3	100	14	14

Таблиця 2.15 – Вибір кабелів 0,4 кВ

Назва КЛ	n	$S_{p\Sigma}$, кВА	$I_{норм}$, А	$I_{п.ав}$, А	Переріз кабелю	$I_{доп}$, А	$I'_{доп}$, А	$I''_{доп}$, А	l , км	r_0 , Ом/км	x_0 , Ом/км	$\Delta U_{норм}$, %	$\Delta U_{п.ав}$, %
ТП – ВРП1	2	278,12	211,28	422,55	4×240	490	505	529	0,093	0,125	0,047	1,15	2,29
ТП – РП2.1	2	58,90	44,75	89,49	4×35	95	98	103	0,082	0,95	0,06	1,33	2,66
ТП – РП2.2	2	48,85	37,11	74,21	4×25	75	77	81	0,093	1,33	0,07	1,74	3,47
ТП – ВРП3	2	175,51	133,33	266,66	4×185	260	268	281	0,093	0,18	0,06	1,02	2,04
ТП – ВРП4	2	283,30	215,21	430,43	4×240	490	505	529	0,073	0,125	0,047	0,92	1,84
ТП – РП5	2	105,77	80,35	160,70	4×95	165	170	178	0,040	0,35	0,06	0,47	0,94
РП5 – РП7	1	58,26	88,51	88,51	5×35	95	98	103	0,047	0,95	0,06	1,52	1,52

2.10. Розрахунок струмів короткого замикання

Розрахунок трифазного струму короткого замикання (КЗ) на шинах високої напруги підстанції виконуємо для подальшої перевірки ЛЕП 10 кВ, електричних апаратів (комутаційних, захисних) за стійкістю до цих струмів.

Застосовуємо відносне наближене зведення :

$$S_6 = 100 \text{ МВА}; U_6 = 10,5 \text{ кВ}.$$

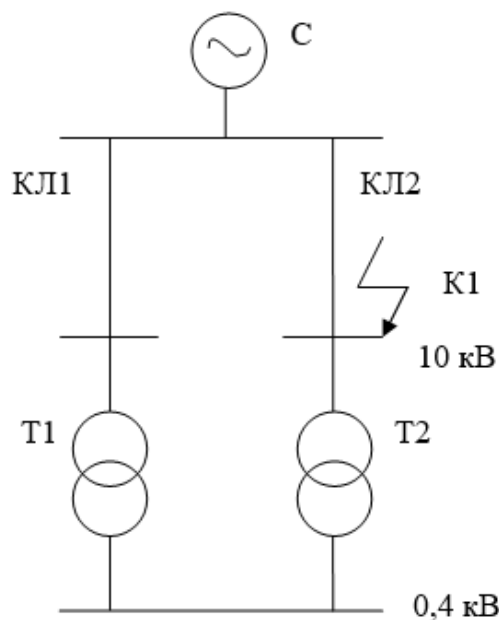


Рисунок 2.1 – Електрична
схема короткозамкненого кола

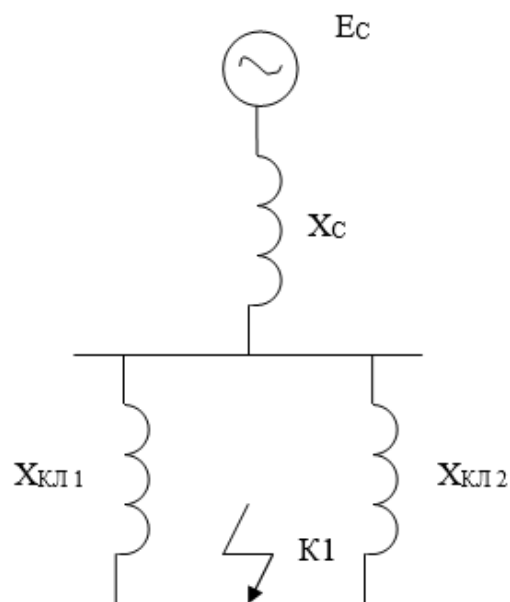


Рисунок 2.2 – Заступна схема
короткозамкненого кола

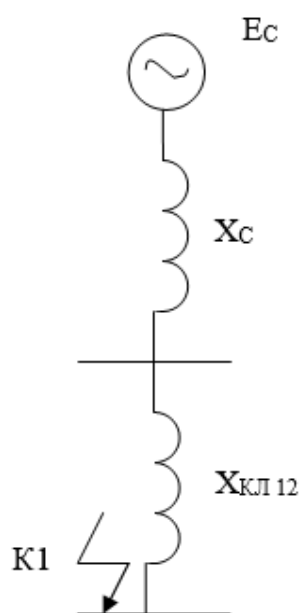


Рисунок 2.3 – Схема
короткозамкненого кола після
об'єднання паралельних ліній

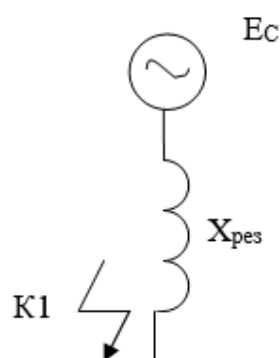


Рисунок 2.4 – Спрощена
схема короткозамкненого
кола

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

Показник	Одиниці вимірювання	Значення
S_{K3}	МВА	54
$\dot{X}_{C*}$	—	1,852
$\dot{R}_{KL1*}, \dot{R}_{KL2*}$	—	1,279
$\dot{X}_{KL1*}, \dot{X}_{KL2*}$	—	0,180
$\dot{R}_{KL12*}$	—	0,640
$\dot{X}_{KL12*}$	—	0,090
$\dot{R}_{рез*}$	—	0,640
$\dot{X}_{рез*}$	—	1,942
$\dot{Z}_{рез*}$	—	2,044
I_{ϕ}	кА	5,50
I_{n0}	кА	2,690
k_y	—	1,42
i_y	кА	5,402
K_T	$\frac{A \cdot c^{1/2}}{мм^2}$	125
t_n	с	0,25
F_{min}	мм ²	10,8
Тип та переріз кабелю з п.2.8	—	АПВВ – 10 – 3 × 35
B_K	кА ² · с	1,81

2.11. Вибір обладнання

2.11.1. Вибір комплектних розподільчих пристроїв

Комплектні розподільні пристрої (КРП) являють собою набір металевих шаф із вбудованими у них електричними апаратами, приладами вимірювання, захисту, автоматики, керування, сигналізації, а також допоміжними пристроями.

КРП високої напруги обрано з [14]; КРП низької напруги – з [15].

Таблиця 2.17 – Технічні характеристики комплектних розподільних пристроїв трансформаторної підстанції

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	–

$$10 = 10 \text{ кВ};$$

$$16,53 < 630 \text{ А};$$

$$33,06 < 630 \text{ А};$$

$$5,402 < 51 \text{ кА};$$

$$1,81 < 400 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

2.11.2. Вибір роз'єднувачів

Роз'єднувачі обрано з[16]:

$$\text{РВ030} - 10 - 630$$

$$10 = 10 \text{ кВ};$$

$$16,53 < 630 \text{ А};$$

$$33,06 < 630 \text{ А};$$

$$5,402 < 41 \text{ кА};$$

$$1,81 < 1024 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

2.11.3. Вибір вимикачів навантаження та запобіжників

Вимикачі навантаження та запобіжники обрано з [17, 18]:

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

$$10 = 10 \text{ кВ};$$

$$16,53 < 630 \text{ А};$$

$$33,06 < 630 \text{ А};$$

$$2,69 < 31,5 \text{ кА};$$

$$5,402 < 80 \text{ кА};$$

$$1,81 < 992,3 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

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

$$10 = 10 \text{ кВ};$$

$$16,53 < 630 \text{ А};$$

$$33,06 < 630 \text{ А};$$

$$2,69 < 31,5 \text{ кА};$$

$$5,402 < 80 \text{ кА};$$

$$1,81 < 992,3 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

ПКТ – 10 – 40 – 12,5 УЗ:

$$33,06 < 40 \text{ А};$$

$$2,69 < 12,5 \text{ кА};$$

$$46,59 < 217 \text{ кА},$$

$$S'' = \sqrt{3} \cdot 10 \cdot 2,69 = 46,59 \text{ МВА}.$$

2.12. Розрахунок низьковольтної мережі цеху

2.12.1. Вибір схеми електропостачання

Для проектування внутрішньоцехової мережі цеху плиткового шоколаду виконуємо такі розрахунки:

вибираємо та перевіряємо за втратами напруги кабелі живлення струмоприймачів цеху [19]; схема живлення – радіальна;

розраховуємо струми КЗ в мережі 400 В;

вибираємо низьковольтне електрообладнання (трансформатори струму; лічильники електричної енергії; автоматичні вимикачі; рубильники);

перевіряємо кабелі та апарати напругою 400 В за стійкістю до струмів КЗ.

Таблиця 2.18 – Вибір кабелів внутрішньоцехової мережі

Назва електроприймача	P_n , кВт	$\cos\phi$	I, А	F, мм ²	$I_{тр.доп}$, А	Кабель
РП2.1						
Змішувач какао	7,5	0,70	16,36	2,5	26	ВВГнгд-5×2,5
Подрібнювач шоколадної маси	8	0,70	17,36	2,5	26	ВВГнгд-5×2,5
Установка нагрівання та підтримання сталої температури	7,5	0,70	16,20	2,5	26	ВВГнгд-5×2,5
Конвеєр стрічковий	15	0,71	31,91	4	34	ВВГнгд-5×4
Шафа витяжна	4	0,80	7,60	2,5	26	ВВГнгд-5×2,5
РП2.2						
Гомогенізатор	6	0,71	12,83	2,5	26	ВВГнгд-5×2,5
Пристрій фільтрувальний	5,5	0,70	11,94	2,5	26	ВВГнгд-5×2,5
Машина відливна	5	0,70	10,91	2,5	26	ВВГнгд-5×2,5
Конвеєр стрічковий	15	0,71	31,91	4	34	ВВГнгд-5×4
Емульгатор безперервної дії	9	0,80	17,09	2,5	26	ВВГнгд-5×2,5
Шафа витяжна	4	0,80	7,60	2,5	26	ВВГнгд-5×2,5

Таблиця 2.19 – Перевірка кабелів за втратами напруги

Назва електроприймача	n	r_0 , $\frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	x_0 , $\frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	l, км	$\Delta U\%$	Кабель
РП2.1						
Змішувач какао	2	8	0,09	0,008	0,336	ВВГнгд-5×2,5
		8	0,09	0,013	0,546	ВВГнгд-5×2,5
Подрібнювач шоколадної маси	2	8	0,09	0,026	1,166	ВВГнгд-5×2,5
		8	0,09	0,031	1,390	ВВГнгд-5×2,5
Установка нагрівання та підтримання сталої температури	2	8	0,09	0,043	1,807	ВВГнгд-5×2,5
		8	0,09	0,053	2,227	ВВГнгд-5×2,5
Конвеєр стрічковий	1	5	0,09	0,003	0,159	ВВГнгд-5×4
Шафа витяжна	1	8	0,09	0,003	0,067	ВВГнгд-5×2,5
РП2.2						
Гомогенізатор	2	8	0,09	0,006	0,202	ВВГнгд-5×2,5
		8	0,09	0,013	0,437	ВВГнгд-5×2,5
Пристрій фільтрувальний	2	8	0,09	0,024	0,740	ВВГнгд-5×2,5
		8	0,09	0,029	0,894	ВВГнгд-5×2,5
Машина відливна	2	8	0,09	0,036	1,009	ВВГнгд-5×2,5
		8	0,09	0,043	1,205	ВВГнгд-5×2,5
Конвеєр стрічковий	1	5	0,09	0,003	0,159	ВВГнгд-5×4
Емульгатор безперервної дії	2	8	0,09	0,046	2,313	ВВГнгд-5×2,5
		8	0,09	0,051	2,564	ВВГнгд-5×2,5
Шафа витяжна	1	8	0,09	0,005	0,112	ВВГнгд-5×2,5

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

Застосовуємо абсолютне наближене зведення :

$$U_{\phi} = 0,4 \text{ кВ}; U_{c10} = 10,5 \text{ кВ}.$$

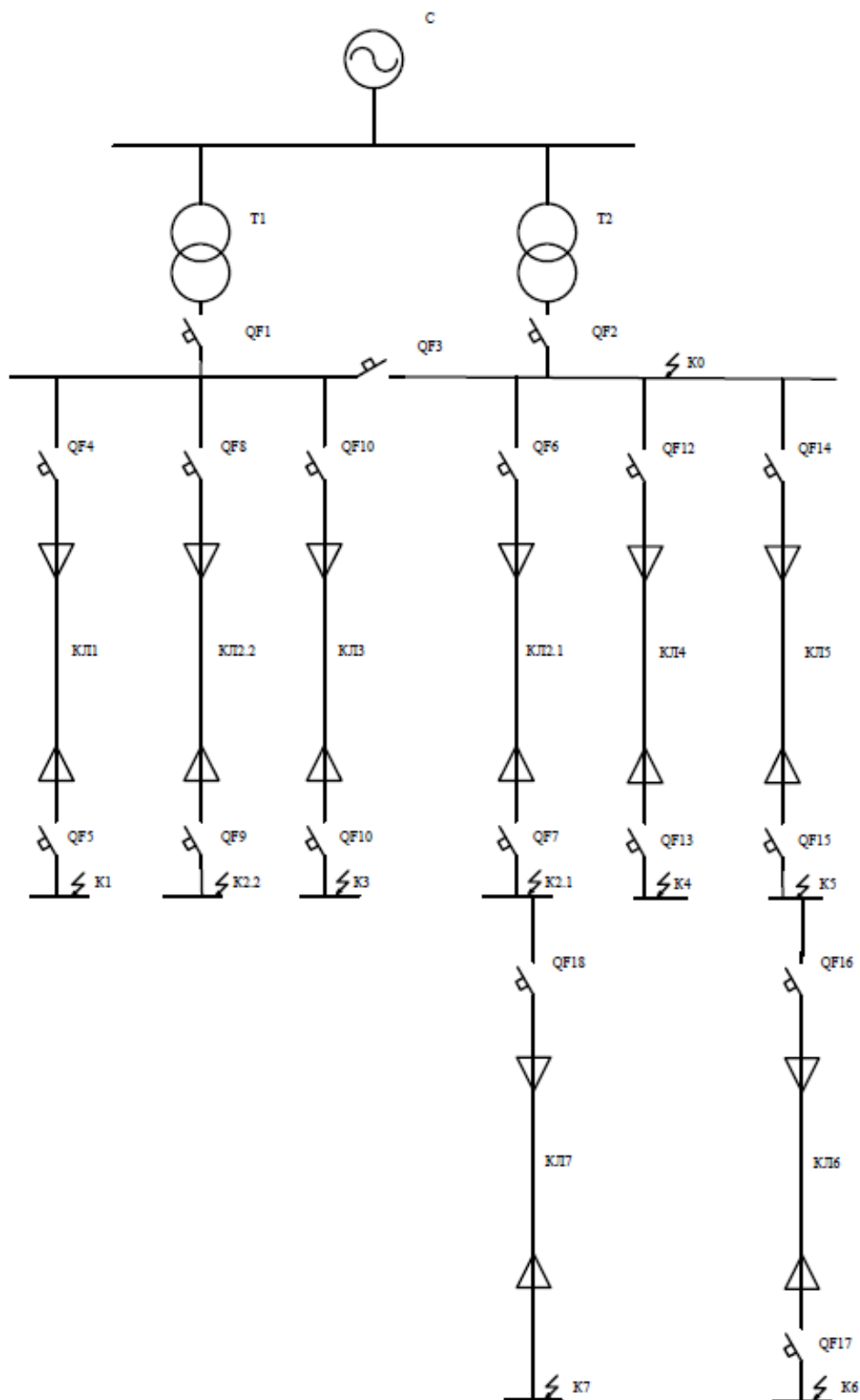


Рисунок 2.5 – Схема короткозамкненого кола НВ мережі

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЛНТУ.971095.000 ПЗ

Арк.

25

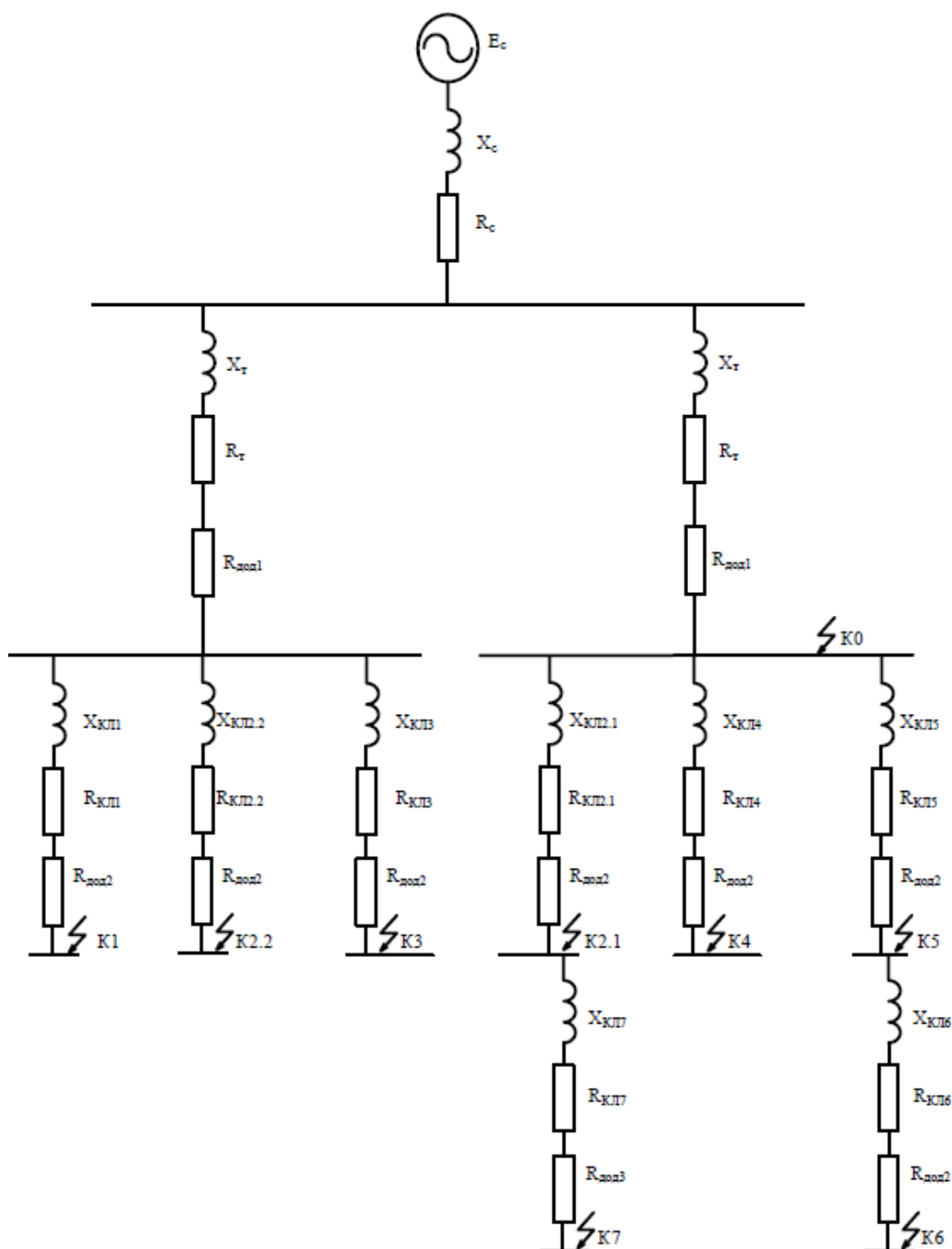


Рисунок 2.6 – Заступна схема НВ мережі

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

Показник	Одиниці вимірювання	Значення
U_6	кВ	0,4
$I_{к10}$	кА	2,69
$U_{с10}$	кВ	10,5
$S_{ном.Т}$	кВА	400
ΔP_k	кВт	5,6
u_k	%	6

Таблиця 2.21 – Визначення струмів КЗ в точці К0

Показник	Одиниці вимірювання	Значення
R_c	Ом	0,705
X_c	Ом	2,254
$\dot{R}_c$	МОм	1,023
$\dot{X}_c$	МОм	3,271
$\dot{R}_T$	МОм	2,800
$\dot{X}_T$	МОм	12,000
$\dot{R}_{рез0}$	МОм	18,823
$\dot{X}_{рез0}$	МОм	15,271
$Z_{рез0}$	МОм	24,239
I_K	кА	9,528
k_y	–	1,05
i_y	кА	14,148

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	0,093	0,125	11,600	0,047	4,362
ТП – РП2.1	0,082	0,95	77,900	0,06	4,920
ТП – РП2.2	0,093	1,33	123,424	0,07	6,496
ТП – ВРП3	0,093	0,18	16,776	0,06	5,592
ТП – ВРП4	0,073	0,125	9,150	0,047	3,440
ТП – РП5	0,040	0,35	14,140	0,06	2,424
РП5 – РП7	0,047	0,95	44,840	0,06	2,832
РП2.1 – Рmax	0,003	5	15,000	0,09	0,270

Таблиця 2.23 – Визначення струмів КЗ в НВ мережі

Точка КЗ	$R_{\text{дод}}, \text{МОм}$	$\dot{R}_{\text{рез}}, \text{МОм}$	$\dot{X}_{\text{рез}}, \text{МОм}$	$\dot{Z}_{\text{рез}}, \text{МОм}$	$I_K, \text{кА}$	k_y	$i_y, \text{кА}$	$F_{\text{min}}, \text{мм}^2$	Вибраний переріз
К1	20	35,42	19,63	40,50	5,702	1	8,064	21,1	4×240
К2.1	25	101,72	20,19	103,71	2,227	1	3,149	8,2	4×35
К2.2	25	147,25	21,77	148,85	1,552	1	2,194	5,7	4×25
К3	20	40,60	20,86	45,65	5,059	1	7,155	18,7	4×185
К4	20	32,97	18,71	37,91	6,091	1	8,615	22,6	4×240
К5	20	37,96	17,69	41,88	5,514	1	7,798	20,4	4×95
К6	20	87,80	20,53	90,17	2,561	1	3,622	9,5	5×35
К7	30	126,72	20,46	128,36	1,799	1	2,544	6,7	5×4

Всі перевірки виконуються.

					ЛНТУ.971095.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

2.12.3. Вибір трансформаторів струму

Трансформатори струму, обрані з [21], мають таке вторинне навантаження :
лічильники електричної енергії комерційного та технічного обліку
НІК 2307 АПЗТ, вибрані з [20];

амперметри АСКО – УКРЕМ 500А.

$$I_{\text{норм}} = \frac{951,38}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 2} = 722,74 \text{ А}; I_{\text{max}} = \frac{951,38}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 1445,47 \text{ А}.$$

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 :

$$T-0.66 \text{ 1500/5A } 0,5$$

$$0,38 < 0,66 \text{ кВ};$$

$$722,74 < 1500 \text{ А};$$

$$1445,47 < 1500 \text{ А};$$

$$14,148 < 51 \text{ кА};$$

$$22,69 < 100 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

$$0,495 < 5,0 \text{ Ом}.$$

Технічний облік :

$$T - 0,66 \text{ 600 / 5}$$

$$0,38 < 0,66 \text{ кВ};$$

$$430,43 < 600 \text{ А};$$

$$8,615 < 51 \text{ кА};$$

$$9,28 < 100 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

$$0,495 < 5,0 \text{ Ом.}$$

2.12.4. Вибір автоматичних вимикачів

Автоматичні вимикачі вибрано з[22].

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	$I_{\text{ном}}$, А	$I_{\text{п.ав}}$, А	$I_{\text{к}}$, А
QF1	ВА 88 – 43	0,4	1600	40	0,4	722,74	1445,47	9,528
QF2	ВА 88 – 43	0,4	1600	40	0,4	722,74	1445,47	9,528
QF3	ВА 88 – 43	0,4	1600	40	0,4	722,74	1445,47	9,528
QF4	ВА 88 – 40	0,4	500	35	0,4	211,28	422,55	5,702
QF5	ВА 88 – 40	0,4	500	35	0,4	211,28	422,55	5,702
QF6	ВА 88 – 33	0,4	100	35	0,4	44,75	89,49	2,227
QF7	ВА 88 – 33	0,4	100	35	0,4	44,75	89,49	2,227
QF8	ВА 88 – 33	0,4	80	35	0,4	37,11	74,21	1,552
QF9	ВА 88 – 33	0,4	80	35	0,4	37,11	74,21	1,55
QF10	ВА 88 – 37	0,4	315	35	0,4	133,33	266,66	5,059
QF11	ВА 88 – 37	0,4	315	35	0,4	133,33	266,66	5,059
QF12	ВА 88 – 40	0,4	500	35	0,4	215,21	430,43	6,091
QF13	ВА 88 – 40	0,4	500	35	0,4	215,21	430,43	6,091
QF14	ВА 88 – 35	0,4	200	35	0,4	80,35	160,70	5,514
QF15	ВА 88 – 35	0,4	200	35	0,4	80,35	160,70	5,514
QF16	ВА 88 – 33	0,4	100	35	0,4	88,51	88,51	2,561
QF17	ВА 88 – 33	0,4	100	35	0,4	88,51	88,51	2,561
QF18	ВА 88 – 32	0,4	32	25	0,4	31,91	31,91	1,799

2.12.5. Вибір рубильників

Рубильники обрано з [23]: РЕ 19 – 43 1600 А;

$$0,38 < 0,66 \text{ кВ;}$$

$$722,74 < 1500 \text{ А; } 1445,47 < 1500 \text{ А;}$$

$$14,148 < 50 \text{ кА; } 22,69 < 900 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.}$$

РОЗДІЛ 3

ВИБІР ПОЛОЖЕННЯ ПБЗ ТРАНСФОРМАТОРІВ

Рівень допустимих відхилень напруги [1] на затискачах електроприймачів становить 5%. При зміні навантаження або перемиканнях у схемі можливе зростання втрат напруги. Регулювання рівня напруги в мережі можливе пристроями перемикання за відсутності збудження трансформатора. Перемикання можливе в межах 5% з кроком 2,5%.

$$R_T = 2,8 \cdot 10^{-3} = 0,003 \text{ Ом}; X_T = 12 \cdot 10^{-3} = 0,012 \text{ Ом}.$$

$$P_{cp} = 559,77 \text{ кВт}; Q_{cp} = 588,17 \text{ кВт}; n_T = 2;$$

$$U_{норм} = \pm 5\% \cdot U_{ном}; U_{норм} = (0,95 \div 1,05) \cdot 400 = 380 \div 420 \text{ В};$$

$$\Delta U_T = \frac{559,77 \cdot 0,0028 + 588,17 \cdot 0,012}{2 \cdot 10} = 0,43 \text{ кВ};$$

$$U_{нн.6} = (1 - 0,05) \cdot 400 \cdot 10^{-3} = 0,38 \text{ кВ}; K_{Т.ном} = \frac{10}{0,4} = 25,0;$$

$$K_{Т.6} = \frac{10 - 0,43}{2 \cdot 0,38} = 25,18;$$

Таблиця 3.1 – Визначення положень ПБЗ та відповідних їм коефіцієнтів трансформації

Положення ПБЗ	Додаткове число витків, %	Відносне число витків	Коефіцієнт трансформації
1	5	1,050	26,44
2	2,5	1,025	25,81
3	0	1,000	25,18
4	-2,5	0,975	24,55
5	-5	0,950	23,92

$$U_{нн.д} = \frac{10 - 0,43}{25,18} = 0,38 \text{ кВ}; \frac{0,4 - 0,38}{0,4} \cdot 100 = 5\%.$$

					ЛНТУ.971095.000 ПЗ								
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата									
Розроб.		Ласійчук Ю.А.			Електропостачання шоколадної фабрики встановленою потужністю 1200 кВт. Пояснювальна записка.				Літ.	Арк.	Аркушів		
Перевір.		Денисовець Т.М.									30	1	
									ФАБЕ, гр.ЕЕЗ–41				
Н. контр.		Ващелюк Ю.І.											
Затверд.		Волинець В.І.											

РОЗДІЛ 4

САПР

В даному розділі наведено автоматизований розрахунок потужності силових трансформаторів та компенсації реактивної потужності з допомогою Microsoft Excel 2003.

Файл Главная Вставка Разметка страницы Формулы Данные Рецензирование Вид Ассобат Что вы хотите сделать?															
Вставить Буфер обмена Times New Ro 12 A A Ж К Ч Шрифт Выравнивание Общий Условное форматирование Форматировать как таблицу Стили ячеек Вставить Удалить															
L135															
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	
104	Scp	812,49	площа	9504					змін	Kp1					
105	sigma	0,09	Pcp/1,4	399,84					1	24					
106									2	12					
107		St	N	Nmin	m	Nonr	Qmax r		3	11					
108	Варіант I	630	1,27	2	0	2	681,60								
109	Варіант II	400	2,00	2	0	2	16,07								
110															
111															
112															
113															
114	Варіант I	0,00	12	27	0,32	184,97	184,97	100							
115	Варіант II	572,10	12	17	0,38	0,00	572,10	300							
116		-93,43				184,97									
117		572,10				-287,93									
118															
119															
120	Варіант I	1,18	8,5	1043	11,942	93,623	925,04	209,25	560						
121	Варіант II	0,95	5,6	1043	9,2965	72,885	876,96	182,50	559,00	a=	31,20				
122															
123															
124	Qcp	588,17	Qe=	185											
125	Qe max	185													
126	Qвбк ф	300													
127	ΔQt	20													
128	Kис	0,75													
129	Qм1	441,13													
130	Qк1	256,40													
131	Qис r	328,17													
132	Qвбк	-3,60	596,40												
133															

Рисунок 4.1 – Вибір силових трансформаторів з врахуванням компенсації реактивної потужності

					ЛНТУ.971095.000 ПЗ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Електропостачання шоколадної фабрики встановленої потужністю 1200 кВт. Пояснювальна записка.		
Розроб.	Ласійчук Ю.А.						
Перевір.	Денисовець Т.М.						
Н. контр.	Ващелюк Ю.І.						
Затверд.	Волинець В.І.						
					Літ.	Арк.	Аркушів
						31	1
					ФАБЕ, гр.ЕЕз-41		

РОЗДІЛ 5

ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА

Для захисту від напруги, яка з'являється на корпусах електроустаткування у результаті порушення ізоляції, використовується захисне заземлення. Розрахунок контуру заземлення цеху плиточного шоколаду виконано згідно з [25]:

$$l = (60 + 24) \cdot 2 = 168 \text{ м};$$

$$R_{\Gamma} = \frac{180}{2 \cdot 3,14 \cdot 168} \cdot \ln \frac{168^2}{0,4 \cdot 0,04} = 2,6 \text{ Ом};$$

$$R_{\text{H}} = 10 \text{ Ом};$$

$$R_{\text{B}} = \frac{2,6 \cdot 10}{2,6 + 10} = 2,05 \text{ Ом};$$

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

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

$$n_{\text{B}} = \frac{55}{2,05 \cdot 0,65} = 41,3 \text{ шт} \Rightarrow n_{\text{B}} = 42 \text{ шт};$$

$$R_{\text{шт}} = \frac{55 \cdot 2,6}{0,3 \cdot 55 + 0,65 \cdot 42 \cdot 2,6} = 1,63 \text{ Ом} < 10 \text{ Ом}.$$

					ЛНТУ.971095.000 ПЗ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Електропостачання шоколадної фабрики встановленою потужністю 1200 кВт. Пояснювальна записка.		
Розроб.		Ласійчук Ю.А.					
Перевір.		Денисовець Т.М.					
Н. контр.		Вашелюк Ю.І.					
Затверд.		Волинець В.І.			ФАБЕ, гр.ЕЕЗ-41		
					Літ.	Арк.	Аркушів
						32	1

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

В даному кваліфікаційному проєкті розроблено раціональну та ефективну систему електропостачання шоколадної фабрики.

Наявність двох кабельних ЛЕП високої напруги та двотрансформаторної підстанції забезпечує вимоги до надійності електроприймачів II категорії.

Електричні мережі фабрики мають достатню пропускну здатність, тобто втрати електроенергії та напруги є мінімальними.

Також мінімізацію втрат забезпечено раціональним розташуванням трансформаторної підстанції.

Для забезпечення якості напруги розраховано параметри засобів регулювання напруги: пристроїв перемикачів за відсутності збудження силових трансформаторів та низьковольтних конденсаторних батарей, що призначені для централізованої компенсації реактивної потужності.

Електричне обладнання, що входить до складу мереж фабрики, перевірене за можливим перевантаженням в післяаварійному режимі та за стійкістю до дії струмів короткого замикання.

Мережу низької напруги виконано за радіально-магістральною схемою, причому усі об'єкти II категорії отримують живлення радіально.

Передбачено систему обліку електричної енергії в мережі низької напруги, призначеного для розрахунків з енергопостачальною організацією та спостереженням за споживанням окремих об'єктів. Крім того, лічильники технічного обліку дозволяють фіксувати значення реактивної потужності, генерованої конденсаторними батареями в мережу.

Застосовано автоматизацію проєктних розрахунків, що забезпечило їх високу точність та спростило процес.

Мережі фабрики є безпечними в експлуатації завдяки наявним контурам заземлення, застосуванню кабелів в оболонці з негорючого матеріалу, наявності захисних електричних апаратів, тощо.

					ЛНТУ.971095.000 ПЗ	Арк.
						33
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Правила улаштування електроустановок : видання офіційне. Київ : Міненерговугілля України, 2017. 620 с.
2. Мілих В.І., Павленко Т.П. Електропостачання промислових підприємств : Підручник для студентів електромеханічних спеціальностей : Харків : ФОП Панов А. М., 2016. 272 с.
3. Давиденко Л.В., Коменда Н.В, Давиденко В.А., Євсюк М.М. Електропостачання промислових об'єктів : практикум : навчальний посібник. Луцьк : ВІП ЛНТУ, 2022. 244с.
4. Промислові LED світильники : каталог. URL : https://ledmir.com.ua/industrial_led_lights
5. Трансформатори силові типу ТМ. URL : http://cabex.com.ua/ru/produkcija/transformatori/transformatori_silovie_tipa_tm.html
6. Установки компенсації реактивної потужності ККУ-0,4. URL : <https://avelectric.com.ua/ua/g77561771-ustanovki-kompensatsii-reaktivnoj>
7. 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.
8. Силові кабелі з ізоляцією із зшитого поліетилену : каталог. URL : <https://amperia.com.ua/ua/g32628816-silovye-kabeli-izolyatsiej>.
9. Пункт розподільний ЕУ-ПР11 : каталог. URL : <https://www.enersys.in.ua/vyrobnytstvo/punkt-rozpodilnyi.html>.

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

https://www.iek.ru/partners/infobaza/files/docs/passp_re/bc4722f58a17e3fcaaa9ec94fab2307f.pdf

23. Роз'єднувач РЕ-19 : каталог продукції : Промелектросервіс. URL: <http://www.elektro-portal.com/series/show/razedinitel-re19>.
24. 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.
25. Панченко С.В., Акімов О.І., Бабаєв М.М. та ін. Електробезпека : підручник. Харків : УкрДЗТ, 2018. 295 с.

					ЛНТУ.971095.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36