

Луцький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет архітектури, будівництва та енергетики
(повне найменування факультету)

Кафедра електричної інженерії
(повне найменування кафедри)

**«Проектування системи електропостачання кондитерської фабрики
встановленою потужністю 1010 кВт»**

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

Цюпко Артур Володимирович

(підпис)

Керівник: к.т.н., доцент
Грицюк Юрій Віталійович

(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

Цюпку Артуру Володимировичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційного проекту: Проектування системи електропостачання кондитерської фабрики встановленою потужністю 1010 кВт

Керівник проекту: канд. техн. наук, доцент Грицюк Юрій Віталійович

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. Розрахунок стрічкового конвеєра.

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 керування електроприводом конвеєрів.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис	
		завдання видав	завдання прийняв
1. Коротка характеристика об'єкту проектування	Грицюк Ю.В.		
2. Основні проектні рішення	Грицюк Ю.В.		
3. Розрахунок стрічкового конвеєра	Грицюк Ю.В.		
4. САПР	Грицюк Ю.В.		
5. Електробезпека	Грицюк Ю.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	Розрахунок стрічкового конвеєра	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	Схема керування електроприводом конвеєрів		

Здобувач вищої освіти

(підпис)

(Цюпко А.В.)
(прізвище, ініціали)

Керівник

кваліфікаційного проекту

(підпис)

(Грицюк Ю.В.)
(прізвище, ініціали)

АНОТАЦІЯ

Цюпко А.В. Проектування системи електропостачання кондитерської фабрики встановленою потужністю 1010 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. Проектування 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

A. Tsyupko. Designing the power supply system of a confectionery factory with an installed capacity of 1010 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.....	12
2.1. Розрахунок силових електричних навантажень.....	12
2.2. Розрахунок освітлювальних навантажень.....	13
2.3. Визначення результуючих навантажень.....	15
2.4. Побудова картограми навантажень та визначення теоретичного центру навантажень.....	15
2.5. Вибір кількості та потужності трансформаторів ТП з врахуванням компенсації реактивної потужності.....	16
2.6. Компенсація реактивної потужності.....	17
2.7. Визначення електричних навантажень на вищих рівнях.....	18
2.8. Проектування мережі живлення підприємства.....	19
2.9. Проектування внутрішньої розподільної мережі.....	20
2.10. Розрахунок струмів короткого замикання.....	21
2.11. Вибір обладнання.....	23
2.11.1. Вибір комплектних розподільчих пристроїв.....	23
2.11.2. Вибір роз'єднувачів.....	24
2.11.3. Вибір вимикачів навантаження та запобіжників.....	25
2.12. Розрахунок низьковольтної мережі цеху.....	25
2.12.1. Вибір схеми електропостачання.....	26
2.12.2. Розрахунок струмів короткого замикання в мережі 0,4 кВ.....	27
2.12.3. Вибір трансформаторів струму.....	30

					ЛНТУ.971031.000 ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Цюпко А.В			Проектування системи електропостачання кондитерської фабрики встановленою потужністю 1010 кВт. Пояснювальна записка.	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Грицюк Ю.В.					6	70
						ФАБЕ, гр.ЕЕ-41		
Н. контр.		Ващелюк Ю.І.						
Затверд.		Волинець В.І.						

2.12.4. Вибір автоматичних вимикачів.....	31
2.12.5. Вибір рубильників.....	32
РОЗДІЛ 3 РОЗРАХУНОК СТРІЧКОВОГО КОНВЕЄРА.....	33
РОЗДІЛ 4 САПР.....	36
РОЗДІЛ 5 ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА	38
ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ.....	39
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	40
ДОДАТОК 1 ОСНОВНІ ПРОЄКТНІ РІШЕННЯ.....	43
ДОДАТОК 2 РОЗРАХУНОК СТРІЧКОВОГО КОНВЕЄРА	63
ДОДАТОК 3 ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА.....	69

ВСТУП

В процесі проектування електричних систем промислових підприємств важливим є питання надійності електропостачання споживачів електричної енергії [1, 2].

Надійність електропостачання споживачів I категорії забезпечується наявністю двох джерел живлення такої потужності, щоб забезпечити всіх приймачів даної категорії. Ввімкнення резервного живлення відбувається автоматично.

Перерва в електропостачанні споживачів II категорії можлива на час ручного ввімкнення резерву. Тому для їх живлення також застосовують два джерела, але пристроїв автоматичного ввімкнення резерву не передбачають.

Трансформаторні підстанції, що живлять приймачів I та II категорії, оснащують ремонтними та секційними перемичками.

Приймачів III категорії надійності на час ремонту можна відключати, тому їх потужність не враховують при перевірці обладнання схем за післяаварійним перевантаженням.

Окрім надійності, приймачі електроенергії характеризуються такими параметрами: рід струму та величина напруги (для промислових підприємств порівняно невеликої потужності переважна більшість приймачів є низьковольтними змінного струму, трифазними 400 В або однофазними 230 В); режим роботи; симетричність навантаження; режим роботи нейтралі.

При виборі режимів нейтралі високовольтних розподільних мереж 6, 10, 35 кВ керуються передусім міркуваннями безперебійності живлення, тому перевагу надають ізольованій або резонансно заземленій через дугогасний реактор нейтралі.

При проектуванні низьковольтних мереж керуються міркуваннями безпеки експлуатації. Такі мережі виконують з глухозаземленою нейтраллю.

Обов'язковими також є заходи щодо безпечної експлуатації.

					ЛНТУ.971031.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

РОЗДІЛ 1

КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ПРОЄКТУВАННЯ

Проектowana фабрика, структуру виробництва якої наведено на рисунку 1.1, займається виготовленням деяких видів цукристих та борошняних кондитерських виробів.

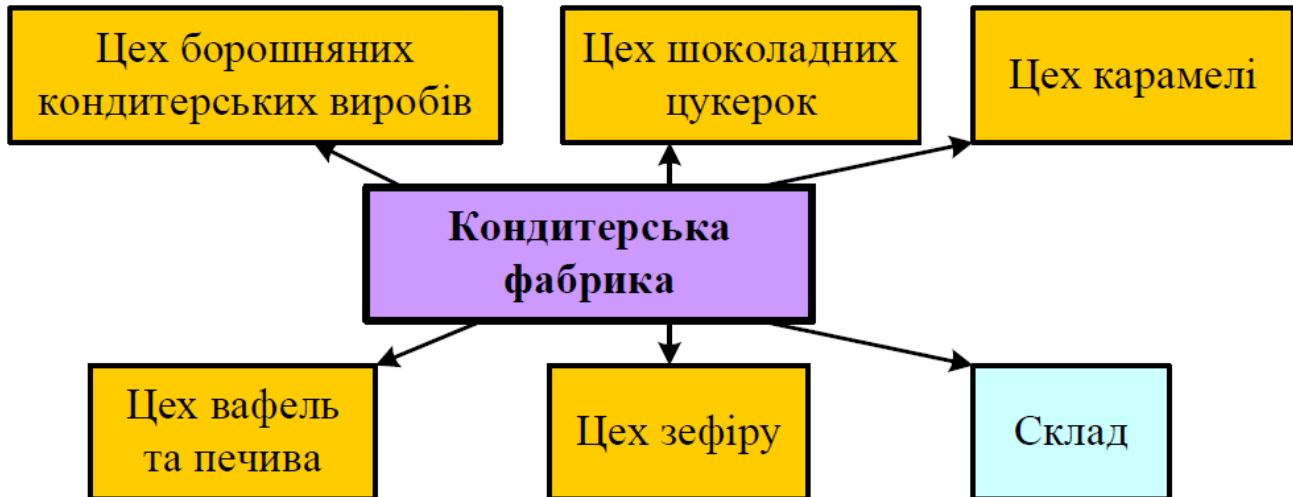


Рисунок 1.1 – Структура кондитерської фабрики

Розрахунок мережі низької напруги в даному проєкті виконаний для цеху шоколадних цукерок, етапи виробничого процесу в якому наведено на рисунку 1.2.

Електроприймачі, встановлені в цеху шоколадних цукерок характеризуються такими параметрами: низьковольтні, змінного струму, трифазні (силові електроприймачі) або однофазні (освітлювальні установки); промислової частоти; нейтраль – глухозаземлена; категорія надійності електропостачання – II.

Щодо режимів роботи електроприймачів: емульгатори безперервної дії та витяжні шафи працюють в тривалому режимі (з постійним графіком навантаження); решта технологічного обладнання – в повторно-короткочасному режимі (із змінним графіком).

					ЛНТУ.971031.000 ПЗ							
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата								
Розроб.		Цюпко А.В			Проектування системи електропостачання кондитерської фабрики встановленою потужністю 1010 кВт. Пояснювальна записка.			Літ.	Арк.	Аркушів		
Перевір.		Грицюк Ю.В.								9	3	
								ФАБЕ, гр.ЕЕ-41				
Н. контр.		Ващелюк Ю.І.										
Затверд.		Волинець В.І.										

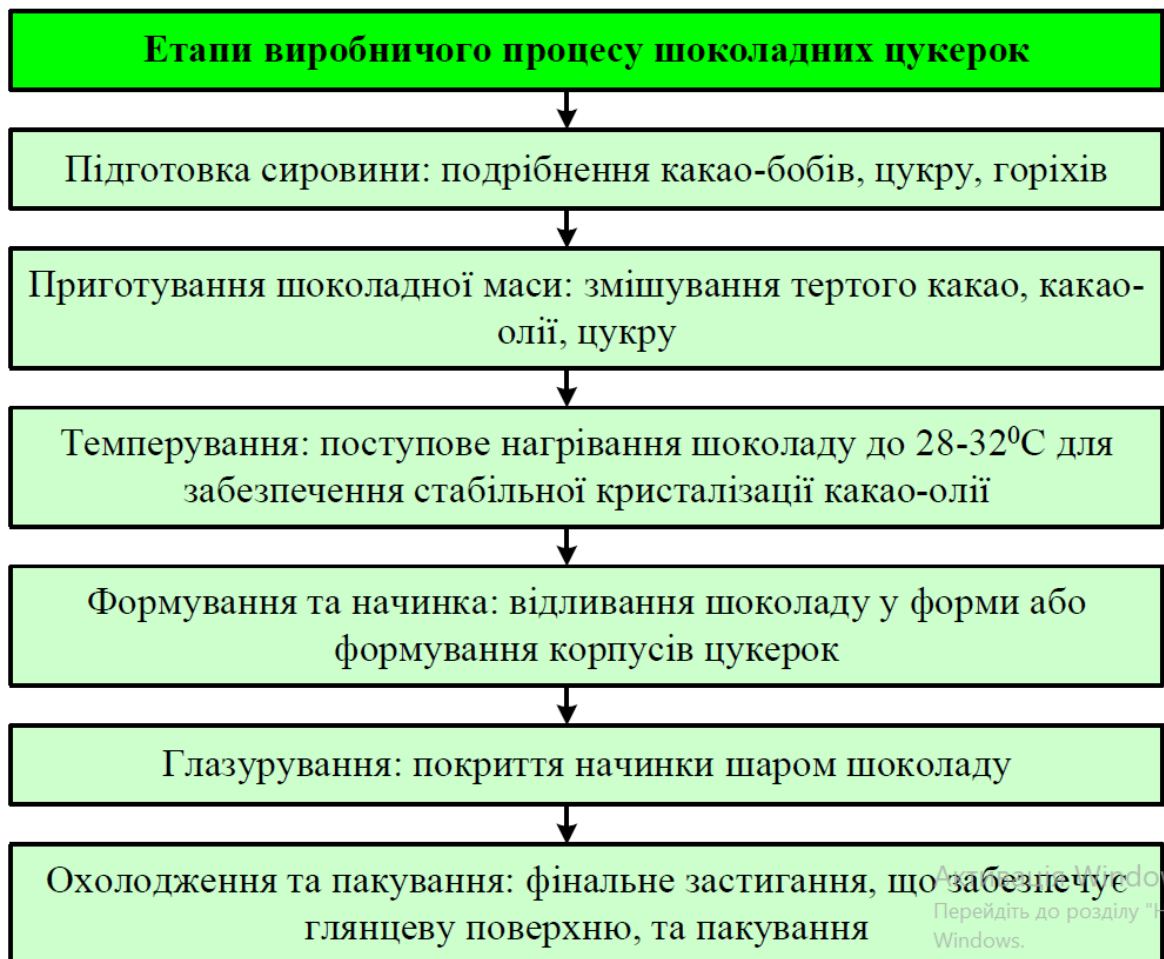


Рисунок 1.2 – Етапи виробничого процесу шоколадних цукерок

Таблиця 1.1 – Характеристики цехів заводу

Назва об'єкту	Розміри будівлі			Встановлена потужність, кВт
	Довжина, м	Ширина, м	Площа будівлі, м ²	
1. Цех борошняних кондитерських виробів	60	36	2160	215
2. Цех шоколадних цукерок	60	42	2520	195
3. Цех карамелі	60	54	3240	210
4. Цех вафель та печива	48	30	1440	200
5. Цех зефіру	48	24	1152	155
6. Склад	48	30	1440	35
Всього			11952	1010

Таблиця 1.2 – Вихідні дані

Назва параметру	Одиниці вимірювання	Значення
Кількість змін	–	2
Тривалість роботи електрообладнання в рік τ	год.	4190
Час використання максимального навантаження T_{max}	год.	2195
Джерело живлення	–	РП-10 кВ
Відстань до джерела l	км	3,15
Потужність короткого замикання на шинах джерела живлення $S_{кз}$	МВА	66
Вхідна реактивна потужність $Q_{e\ max}$	кВАр	184
Загальна територія підприємства	м ²	29808
Категорія надійності споживачів:		
I (пристрої пожежної сигналізації, евакуаційне освітлення)	%	0,4
II (приймачі основних виробничих <u>цехів</u>)	%	70,5
III (приймачі складу, приймачі, що виконують допоміжні функції)	%	29,1

РОЗДІЛ 2

ОСНОВНІ ПРОЄКТНІ РІШЕННЯ

2.1. Розрахунок силових електричних навантажень

Розрахунок навантажень силових приймачів кондитерської фабрики виконуємо згідно з [1, 3]:

розбиваємо приймачі на групи, що живляться від окремих силових щитів (приймачі з постійним та змінним графіками навантажень окремо);

розраховуємо ефективну кількість приймачів;

визначаємо з [1] коефіцієнти використання та максимуму;

розраховуємо середні та розрахункові навантаження груп приймачів для кожного цеху та фабрики в цілому (табл.2.1, 2.2).

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	215	111,80	110,68	157,32	139,75	121,75	185,35
2	195	93,18	92,99	131,64	132,51	101,94	167,19
2.1	53	26,18	25,82	36,76	38,36	28,23	47,63
2.2	41	18,98	18,44	26,46	26,99	20,11	33,66
2.3	49	21,94	22,38	31,34	31,15	24,61	39,70
2.4	53	26,09	26,35	37,09	36,01	28,99	46,23
3	210	111,30	133,56	173,86	155,82	146,92	214,16
4	200	106,00	103,88	148,42	118,72	114,27	164,78
5	155	77,50	76,73	109,05	112,38	84,40	140,54
6	35	10,50	8,40	13,45	24,15	9,24	25,86
Всього	1010	510,28	526,23	733,73	683,33	578,51	897,87

					ЛНТУ.971031.000 ПЗ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Проєктування системи електропостачання кондитерської фабрики встановленою потужністю 1010 кВт. Пояснювальна записка.		
Розроб.	Цюпко А.В						
Перевір.	Грицюк Ю.В.						
Н. контр.	Ващелюк Ю.І.						
Затверд.	Волинець В.І.				Літ. Арк. Аркушів 12 21 ФАБЕ, гр.ЕЕ–41		

Таблиця 2.2 – Розрахунок силових навантажень дільниці №1 цеху шоколадних цукерок

Назва електроприймача	P_N , кВт	n	P_N , кВт	К _{вик}	$\cos \varphi$	m	$\eta_{\text{эф}}$	K _{кор}	Розрахункові навантаження			
									$P_{\text{ср.зм.}}$, кВт	$Q_{\text{ср.зм.}}$, квар	P_p , кВт	Q_p , квар
	РП2.1											
	Приймачі із змінним графіком навантаження											
Змішувач какао	5,5	2	11	0,45	1,03	2,0	7	1,51	4,95	5,10	36,09	26,52
Подрібнювач шоколадної маси	6	2	12	0,45	1,02				5,40	5,51		
Установка нагрівання та підтримування сталої температури	7,5	2	15	0,5	1,01				7,50	7,58		
Конвеєр стрічковий	11	1	11	0,55	0,98				6,05	5,93		
	Приймачі із постійним графіком навантаження											
Шафа витяжна	3,5	1	3,5	0,65	0,75				2,28	1,71	2,28	1,71
Всього РП2.1		8	52,5						26,18	25,82	38,36	28,23
	РП2.2											
	Приймачі із змінним графіком навантаження											
Гомогенізатор	4,5	2	9	0,35	0,99	3,1	7	1,48	3,15	3,12	24,72	18,41
Пристрій фільтрувальний	5	2	10	0,4	1,02				4,00	4,08		
Машина відливна	3,5	2	7	0,5	1,03				3,50	3,61		
Конвеєр стрічковий	11	1	11	0,55	0,98				6,05	5,93		
	Приймачі із постійним графіком навантаження											
Емульгатор безперервної дії	8	2	16	0,7	0,75				11,20	8,40	11,20	8,40
Шафа витяжна	3,5	1	3,5	0,65	0,75				2,28	1,71	2,28	1,71
Всього РП2.2		8	40,5						18,98	18,44	26,99	20,11
Всього по дільниці		16	93						45,15	44,26	65,36	48,34

2.2. Розрахунок освітлювальних навантажень

Для розрахунку освітлювальних навантажень виконуємо такі дії:

вибираємо з [4] джерела освітлення кожного цеху (табл.2.3);

визначаємо питомі потужності, що споживають обрані джерела на одиницю виробничої площі;

розраховуємо встановлену потужність освітлювальних приймачів;

розраховуємо навантаження, створювані джерелами світла в кожному цеху та для фабрики в цілому (табл.2.4).

Таблиця 2.3 – Вибір джерел світла

Номер цеху	Розряд зорової роботи	$E_{\text{норм}}, \text{лк}$	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	Va	300	НВ-УС-Е-150W	15000	150
6	VIIIb	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	$P_{\text{пит}}, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$	$P_o, \text{кВт}$	$K_{\text{пра}}$	K_n	tgφ	$P_{p.o}, \text{кВт}$	$Q_{p.o}, \text{квар}$
1	2160	8	3,41	7,37	1,2	0,9	0,33	7,95	2,63
2	2520	8	3,41	8,59	1,2	0,9	0,33	9,28	3,06
3	3240	8	3,41	11,05	1,2	0,9	0,33	11,93	3,94
4	1440	8	3,41	4,91	1,2	0,9	0,33	5,30	1,75
5	1152	8	3,41	3,93	1,2	0,9	0,33	4,24	1,40
6	1440	5	3,16	4,55	1,2	0,9	0,33	4,91	1,62
Всього	11952			40,40				43,63	14,40

Для вуличного освітлення приймаємо з [4] джерела світла Origin S 150W 5000K Optima, 15000Lm:

$$\sum \varepsilon = \frac{10^3 \cdot 2,75 \cdot 0,85 \cdot 11}{15000} = 1,71 \text{ лк};$$

$$\frac{L}{h} = 9,5; L = 9,5 \cdot 11 = 104,5 \text{ м};$$

$$L_{\Sigma} = 2880 \text{ м}; N = \frac{2880}{104,5} = 27,6 \Rightarrow N_{\text{прийн}} = 28;$$

$$P_{\text{вст.зовн}} = 28 \cdot 150 \cdot 10^{-3} = 4,2 \text{ кВт};$$

$$P_{\text{розр.зовн}} = 1,2 \cdot 0,9 \cdot 4,2 = 4,54 \text{ кВт};$$

$$Q_{\text{розр.зовн}} = 4,54 \cdot 0,33 = 1,5 \text{ кВАр}.$$

2.3. Визначення результуючих навантажень

Для розрахунку сумарних електричних навантажень виконуємо такі дії:
визначаємо сумарну встановлену потужність силових та освітлювальних приймачів;

розраховуємо середні та розрахункові навантаження силових та освітлювальних приймачів;

усі розрахунки виконуємо для кожного цеху та для фабрики в цілому з врахуванням навантаження зовнішнього 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	222,37	119,75	113,31	164,86	147,70	124,38	193,10
2	203,59	102,46	96,05	140,44	141,79	105,01	176,44
2.1	52,50	26,18	25,82	36,76	38,36	28,23	47,63
2.2	40,50	18,98	18,44	26,46	26,99	20,11	33,66
2.3	48,75	21,94	22,38	31,34	31,15	24,61	39,70
2.4	53,25	26,09	26,35	37,09	36,01	28,99	46,23
3	221,05	123,23	137,50	184,64	167,75	150,85	225,61
4	204,91	111,30	105,63	153,45	124,02	116,02	169,83
5	158,93	81,74	78,13	113,07	116,62	85,80	144,78
6	39,55	15,41	10,02	18,39	29,06	10,86	31,03
Освітлення території	4,20	4,54	1,50	4,78	4,54	1,50	4,78
Всього	1054,60	558,44	542,13	779,62	731,49	594,41	945,55

2.4. Побудова картограми навантажень та визначення теоретичного центру навантажень

Для побудови картограми навантажень розраховуємо (табл.2.6):
радіуси кіл, що відповідають сумарному навантаженню кожного цеху;

кути, що відповідають розмірам секторів освітлювальних навантажень кожного цеху;

координати центру навантажень для встановлення в цій точці трансформаторної підстанції.

Таблиця 2.6 – Визначення центру електричних навантажень

№ цеху	х, м	у, м	$P_{\Sigma} \cdot x$	$P_{\Sigma} \cdot y$	$Q_{\Sigma} \cdot x$	$Q_{\Sigma} \cdot y$	г	α
1	42	150	6204	22156	5224	18656	35	19
2	33	84	4679	11911	3465	8820	34	24
3	108	36	18117	6039	16292	5431	38	26
4	120	153	14883	18976	13922	17751	33	15
5	192	72	22391	8396	16473	6177	30	13
6	192	153	5580	4447	2085	1662	14	61
Всього			71854	71924	57462	58497		
X_{Σ}	97							
Y_{Σ}	98							

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

Для вибору силових трансформаторів виконуємо такі дії:

визначаємо питому густину навантаження на підприємстві як відношення повного сумарного навантаження та сумарної площі будівель (табл.2.7);

приймаємо два силових трансформатори (табл.2.7);

обираємо з [5] тип та характеристики трансформаторів (табл.2.7, 2.8);

визначаємо пропускну здатність трансформаторів за реактивною потужністю (табл.2.7);

вибираємо з [6] тип конденсаторних батарей для встановлення на шинах 400 В підстанції (табл.2.7);

виконуємо порівняння двох варіантів встановлення (трансформатори потужністю 400 та 630 кВА (табл.2.9)).

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	0,07	400	1,99	2	0	2	41,72
II		630	1,27	2	0	2	682,69

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	500,41	12	17	0,35	0	500,41	250
II	0	12	27	0,3	164,126	164,13	80

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	0,95	5,6	1034	9,379	72,219	842,16	177,49
II	1,18	8,5	1034	12,040	92,715	908,00	206,21

Вибираємо $2 \times \text{ТМ} - 400 / 10; 2 \times \text{ККУ} - 0,4 - 250 - 10 - 21\text{У3}$.

Перевіряємо вибрані трансформатори за перевантажувальною здатністю :

$$1,4 \cdot 400 = 560 \text{кВА} > \frac{2 \cdot (1 - 0,291) \cdot 779,62}{2} = 552,75 \text{кВА}.$$

2.6. Компенсація реактивної потужності

Проектування високовольтної компенсації реактивної потужності виконуємо в такому порядку:

розраховуємо реактивну потужність, що споживається приймачами фабрики, в час максимуму активних навантажень з врахуванням коефіцієнту неспівпадання максимумів активних та реактивних навантажень;

визначаємо потужність, яка підлягає компенсації, на стороні високої напруги підстанції без врахування вже встановлених конденсаторних батарей;

					ЛНТУ.971031.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

розраховуємо потужність висковольтної компенсації з врахуванням потужності низьковольтних батарей та втрат в трансформаторах (за умови, що $Q_{\text{ВБК}} > 0$, вибираємо високовольтні конденсаторні батареї; в протилежному випадку обмежуємось вже встановленими пристроями низьковольтної компенсації).

Таблиця 2.10 – Розрахунок компенсації реактивної потужності

Показник	Од.вимір.	Значення
$Q_{\text{ср.зм}\Sigma}$	кВАр	542,13
$Q_{\text{еmax}}$	кВАр	184
$Q_{\text{НБК ф}}$	кВАр	500
$\Delta Q_{\text{Т}}$	кВАр	20
$K_{\text{НС}}$	–	0,90
$Q_{\text{М1}}$	кВАр	487,91
$Q_{\text{К1}}$	кВАр	303,63
$Q_{\text{НС Т}}$	кВАр	82,13
$Q_{\text{ВБК}}$	кВАр	-156,37

$Q_{\text{ВБК}} < 0$, тобто потреби у високовольтній компенсації немає.

2.7. Визначення електричних навантажень на вищих рівнях

Навантаження на боці високої напруги трансформаторної підстанції розраховані в таблиці 2.11 в такій послідовності:

розрахунок виконано на основі навантажень на стороні низької напруги підстанції;

визначено втрати потужності в трансформаторах;

розраховано навантаження на стороні 10 кВ з врахуванням скомпенсованої на боці 400 В реактивної потужності.

Таблиця 2.11 – Розрахунок навантажень на рівні 10 кВ

Розрахункове навантаження	Одиниці вимірювання	Значення
P_{p3}	кВт	558,44
Q_{p2}	кВАр	542,13
$Q_{НБК}$	кВАр	500
P_{p3}	кВт	558,44
Q_{p3}	кВАр	42,13
S_{p3}	кВА	560,03
ΔP_T	кВт	11,20
ΔQ_T	кВАр	56,00
P_{p4}	кВт	569,64
Q_{p4}	кВАр	98,13
S_{p4}	кВА	578,03

2.8. Проектування мережі живлення підприємства

Вибір кабелів мережі зовнішнього живлення фабрики виконуємо з [8]:

переріз кабелів обираємо за струмом нормального навантаження, відкоригованим на значення економічної густини струму;

виконуємо перевірку пропускної здатності кабелів при роботі з післяаварійним навантаженням;

перевіряємо обрані кабелі за втратами напруги (допустиме значення втрат в нормальному режимі 5%; в післяаварійному – 10%);

обираємо варіант виконання кабельних ліній високої напруги з найменшими приведеними затратами.

$$\text{з [7]} \quad j_e = 1,7 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2};$$

$$I_{\text{норм}} = \frac{578,03}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 2} = 16,69 \text{ А}; \quad I_{\text{п ав}} = \frac{578,03}{\sqrt{3} \cdot 10} = 33,37 \text{ А};$$

$$F_e = \frac{16,69}{1,9} = 8,78 \text{ мм}^2; \text{ розглядаємо перерізи від } 35 \text{ мм}^2 \text{ включно.}$$

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 , $\frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	ΔU _{норм} , В	ΔU _{норм} , %	ΔU _{П АВ} , %
35	143	147,29	0,641	0,09	51,60	0,52	1,03
50	169	174,1	0,58	0,086	46,94	0,47	0,94
70	211	217,3	0,45	0,084	37,36	0,37	0,75
95	260	267,8	0,31	0,083	27,11	0,27	0,54

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	0,113	135,17	1,735	13,807	3042,9	394,170
50	0,096	170,82	1,570	12,493	3729,6	478,693
70	0,077	206,59	1,218	9,693	3880,8	494,793
95	0,062	216,10	0,839	6,677	4529,7	572,890

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

2.9. Проектування внутрішньої розподільної мережі

До складу радіально-магістральної схеми розподільної мережі кондитерської фабрики входять:

кабелі АВВГ – 0,4 або АВВГнгд – 0,4 [11], обрані за струмами навантаження (табл.2.15);

ввідно-розподільні пристрої та розподільні пункти цехів [8, 9], вибрані за струмами навантаження та кількістю модулів (табл.2.14).

Таблиця 2.14 – Вибір розподільних пристроїв 0,4 кВ

Назва РП	$S_{р\sum}$, кВА	$I_{п.ав}$, А	Тип розподільного пристрою	$I_{доп.РП}$, А	$n_{прийм}$	$n_{мод}$
ВРП1	193,10	293,38	ЕУ – ВРП2 – 1 – 400 У4	400	3	4
ВРП2	176,44	268,08	ЕУ – ВРП2 – 1 – 400 У4	400	3	4
РП2.1	47,63	72,37	ПР11 – 1034 – 21 У3	100	8	12
РП2.2	33,66	51,14	ПР11 – 1034 – 21 У3	100	8	12
РП2.3	39,70	60,32	ПР11 – 1034 – 21 У3	100	10	12
РП2.4	46,23	70,23	ПР11 – 1034 – 21 У3	100	10	12
ВРП3	225,61	342,77	ЕУ – ВРП2 – 1 – 400 У4	400	4	4
ВРП4	200,86	305,17	ЕУ – ВРП2 – 1 – 400 У4	400	3	4
ВРП5	144,78	219,97	ЕУ – ВРП2 – 1 – 250 У4	250	3	4
РП6	31,03	47,14	ПР11 – 1034 – 21 У3	100	11	12

Таблиця 2.15 – Вибір кабелів 0,4 кВ

Назва КЛ	n	$S_{р\sum}$, кВА	$I_{норм}$, А	$I_{п.ав}$, А	Переріз кабелю	$I_{доп}$, А	$I'_{доп}$, А	$I''_{доп}$, А	l , км	r_0 , $\frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	x_0 , $\frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	$\Delta U_{норм}$, %	$\Delta U_{п.ав}$, %
ТП – ВРП1	2	193,10	146,69	293,38	4×240	490	505	529	0,072	0,125	0,047	0,62	1,24
ТП – ВРП2	2	176,44	134,04	268,08	4×185	260	268	281	0,039	0,18	0,06	0,43	0,86
ВРП2 – РП2.1	2	47,63	36,18	72,37	5×25	75	77	81	0,038	1,33	0,07	0,70	1,40
ВРП2 – РП2.2	2	33,66	25,57	51,14	5×16	60	62	65	0,048	2,08	0,07	0,96	1,92
ВРП2 – РП2.3	2	39,70	30,16	60,32	5×16	60	62	65	0,020	2,08	0,07	0,48	0,96
ВРП2 – РП2.4	2	46,23	35,12	70,23	5×25	75	77	81	0,026	1,33	0,07	0,47	0,93
ТП – ВРП3	2	225,61	171,39	342,77	4×240	490	505	529	0,039	0,125	0,047	0,39	0,79
ТП – ВРП4	2	200,86	152,59	305,17	4×240	490	505	529	0,056	0,125	0,047	0,50	0,99
ТП – ВРП5	2	144,78	109,98	219,97	4×150	230	237	248	0,098	0,22	0,06	1,04	2,08
ВРП4 – РП6	1	31,03	47,14	47,14	5×16	60	62	65	0,071	2,08	0,07	2,61	2,61

2.10. Розрахунок струмів короткого замикання

Розраховуємо струми короткого замикання на шинах 10 кВ трансформаторної підстанції.

Застосовуємо відносне наближене зведення :

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

					ЛНТУ.971031.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

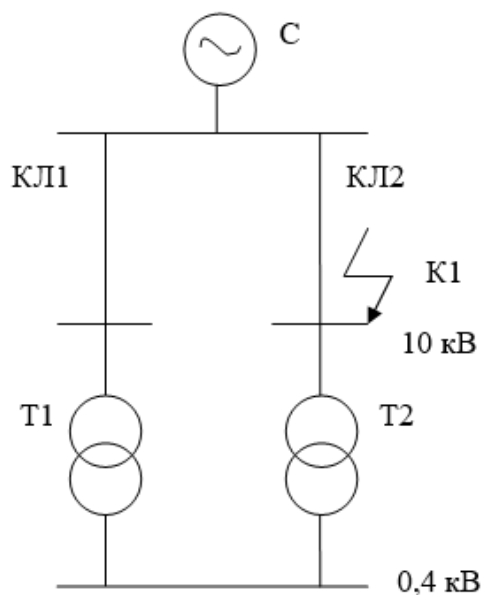


Рисунок 2.1 – Електрична схема короткозамкненого кола

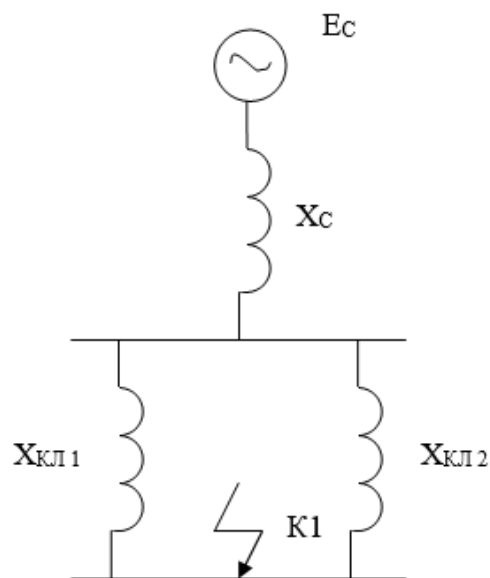


Рисунок 2.2 – Заступна схема короткозамкненого кола

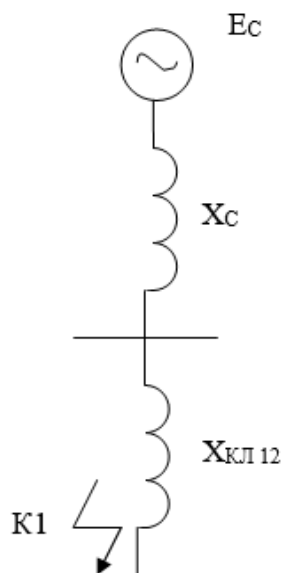


Рисунок 2.3 – Схема короткозамкненого кола після об'єднання паралельних ліній

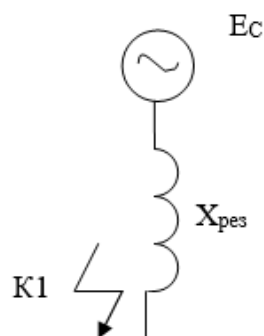


Рисунок 2.4 – Спрощена схема короткозамкненого кола

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

Показник	Одиниці вимірювання	Значення
S_{K3}	МВА	66
$\dot{X}_{C^*}$	—	1,515
$\dot{R}_{KL1^*}, \dot{R}_{KL2^*}$	—	1,831
$\dot{X}_{KL1^*}, \dot{X}_{KL2^*}$	—	0,257
$\dot{R}_{KL12^*}$	—	0,916
$\dot{X}_{KL12^*}$	—	0,129
$\dot{R}_{рез^*}$	—	0,916
$\dot{X}_{рез^*}$	—	1,644
$\dot{Z}_{рез^*}$	—	1,882
I_{ϕ}	кА	5,50
I_{n0}	кА	2,922
k_y	—	1,42
i_y	кА	5,869
K_T	$\frac{A \cdot c^{1/2}}{mm^2}$	125
t_n	с	0,25
F_{min}	mm^2	11,7
Тип та переріз кабелю з п.2.8	—	АПВВ – 10 – 3 × 35
B_K	$KA^2 \cdot c$	2,13

2.11. Вибір обладнання

2.11.1. Вибір комплектних розподільчих пристроїв

Високовольтні комірки КСО – 399 обрано з [14]; низьковольтні ЩО – 99 – з [15].

Перелік комірок відповідно до їх призначення, комплектування їх обладнання та відповідні номери схем електричних з'єднань відповідно до каталогів [14, 15] наведено в таблиці 2.17.

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	–

$$10 = 10 \text{ кВ};$$

$$16,69 < 630 \text{ А};$$

$$33,37 < 630 \text{ А};$$

$$5,869 < 51 \text{ кА};$$

$$2,13 < 400 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

2.11.2. Вибір роз'єднувачів

Роз'єднувачі, встановлені в комірках 01 (табл.2.17), вибрані з [16]:

РВ030 – 10 – 630

$$10 = 10 \text{ кВ};$$

$$16,69 < 630 \text{ А};$$

$$33,37 < 630 \text{ А};$$

$$5,869 < 41 \text{ кА};$$

$$2,13 < 1024 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

2.11.3. Вибір вимикачів навантаження та запобіжників

Вимикачі навантаження комірок 03 та 04 (табл.2.17) вибрані з [17], запобіжники – з [18].

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

$$10 = 10 \text{ кВ};$$

$$16,69 < 630 \text{ А};$$

$$33,37 < 630 \text{ А};$$

$$2,922 < 31,5 \text{ кА};$$

$$5,869 < 80 \text{ кА};$$

$$2,13 < 992,3 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

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

$$10 = 10 \text{ кВ};$$

$$16,69 < 630 \text{ А};$$

$$33,37 < 630 \text{ А};$$

$$2,922 < 31,5 \text{ кА};$$

$$5,869 < 80 \text{ кА};$$

$$2,13 < 992,3 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

ПКТ – 10 – 40 – 12,5 УЗ:

$$33,37 < 63 \text{ А};$$

$$2,922 < 12,5 \text{ кА};$$

$$50,62 < 217 \text{ кА},$$

$$S'' = \sqrt{3} \cdot 10 \cdot 2,922 = 50,62 \text{ МВА}.$$

2.12. Розрахунок низьковольтної мережі цеху

Для проєктування низьковольтної мережі цеху шоколаданих цукерок виконуємо такі розрахунки:

обираємо радіальну схему електропостачання;

обираємо кабелі живлення приймачів цеху та перевіряємо за втратами напруги;

розраховуємо струми короткого замикання на шинах 400 В підстанції;

вибираємо низьковольтні електричні апарати.

2.12.1. Вибір схеми електропостачання

Таблиця 2.18 – Вибір кабелів внутрішньоцехової мережі

Назва електроприймача	P_n , кВт	$\cos \varphi$	I , А	F , мм ²	$I_{тр.доп.}$, А	Кабель
РП2.1						
Змішувач какао	5,5	0,70	12,00	2,5	26	ВВГнгд-5×2,5
Подрібнювач шоколадної маси	6	0,70	13,02	2,5	26	ВВГнгд-5×2,5
Установка нагрівання та підтримування сталої температури	7,5	0,70	16,20	2,5	26	ВВГнгд-5×2,5
Конвеєр стрічковий	11	0,71	23,40	2,5	26	ВВГнгд-5×2,5
Шафа витяжна	3,5	0,80	6,65	2,5	26	ВВГнгд-5×2,5
РП2.2						
Гомогенізатор	4,5	0,71	9,62	2,5	26	ВВГнгд-5×2,5
Пристрій фільтрувальний	5	0,70	10,85	2,5	26	ВВГнгд-5×2,5
Машина відливна	3,5	0,70	7,63	2,5	26	ВВГнгд-5×2,5
Конвеєр стрічковий	11	0,71	23,40	2,5	26	ВВГнгд-5×2,5
Емульгатор безперервної дії	8	0,80	15,19	2,5	26	ВВГнгд-5×2,5
Шафа витяжна	3,5	0,80	6,65	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	0,247	ВВГнгд-5×2,5
		8	0,09	0,013	0,401	ВВГнгд-5×2,5
Подрібнювач шоколадної маси	2	8	0,09	0,026	0,874	ВВГнгд-5×2,5
		8	0,09	0,031	1,042	ВВГнгд-5×2,5
Установка нагрівання та підтримування 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	8	0,09	0,003	0,185	ВВГнгд-5×2,5
Шафа витяжна	1	8	0,09	0,003	0,059	ВВГнгд-5×2,5
РП2.2						
Гомогенізатор	2	8	0,09	0,006	0,151	ВВГнгд-5×2,5
		8	0,09	0,013	0,328	ВВГнгд-5×2,5
Пристрій фільтрувальний	2	8	0,09	0,024	0,672	ВВГнгд-5×2,5
		8	0,09	0,029	0,813	ВВГнгд-5×2,5
Машина відливна	2	8	0,09	0,036	0,706	ВВГнгд-5×2,5
		8	0,09	0,043	0,843	ВВГнгд-5×2,5
Конвеєр стрічковий	1	8	0,09	0,003	0,185	ВВГнгд-5×2,5
Емульгатор безперервної дії	2	8	0,09	0,046	2,056	ВВГнгд-5×2,5
		8	0,09	0,051	2,279	ВВГнгд-5×2,5
Шафа витяжна	1	8	0,09	0,005	0,098	ВВГнгд-5×2,5

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

Застосовуємо абсолютне наближене зведення :

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

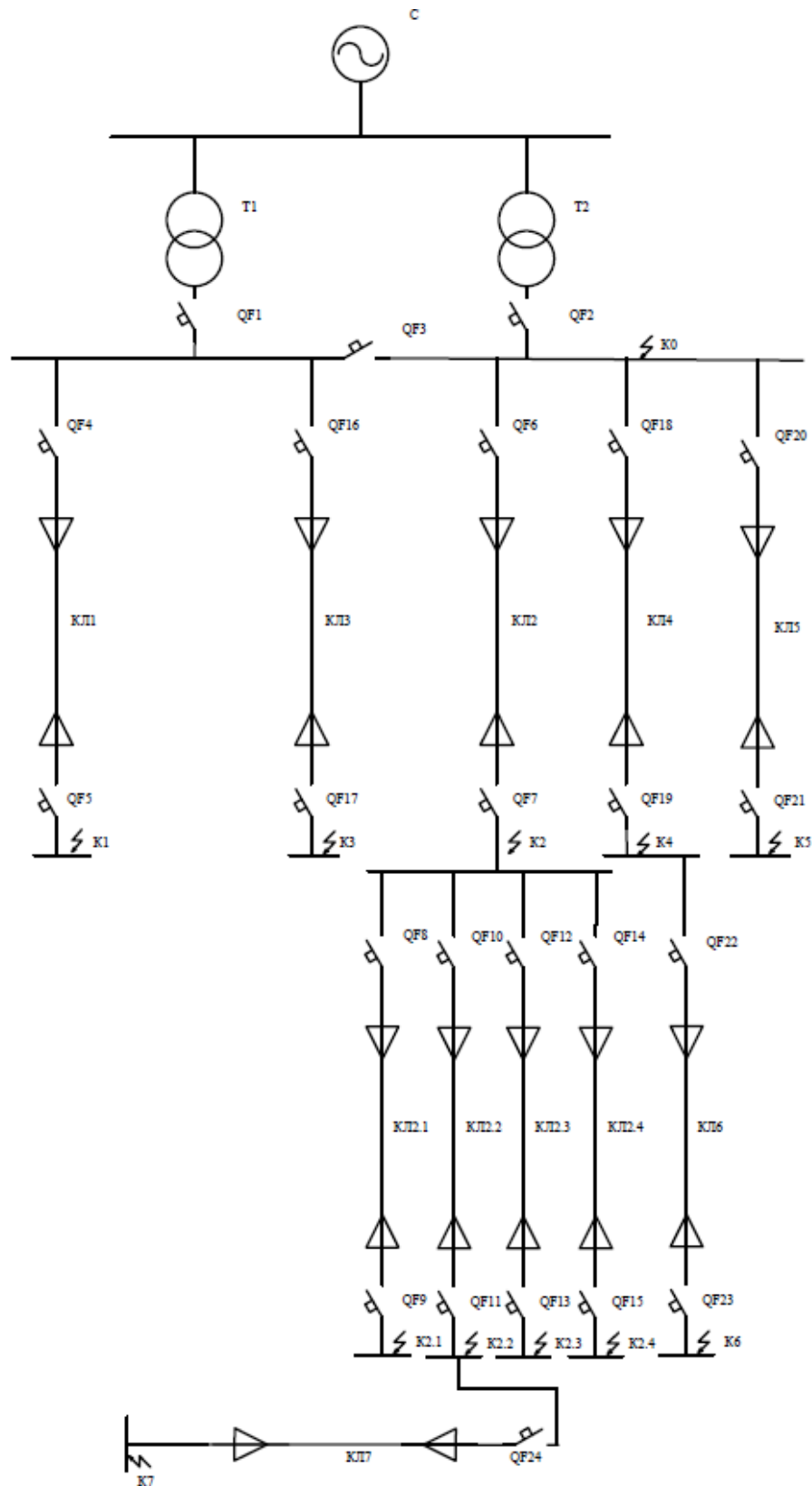


Рисунок 2.5 – Схема короткозамкнутого кола НВ мережі

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЛНТУ.971031.000 ПЗ

Арк.

27

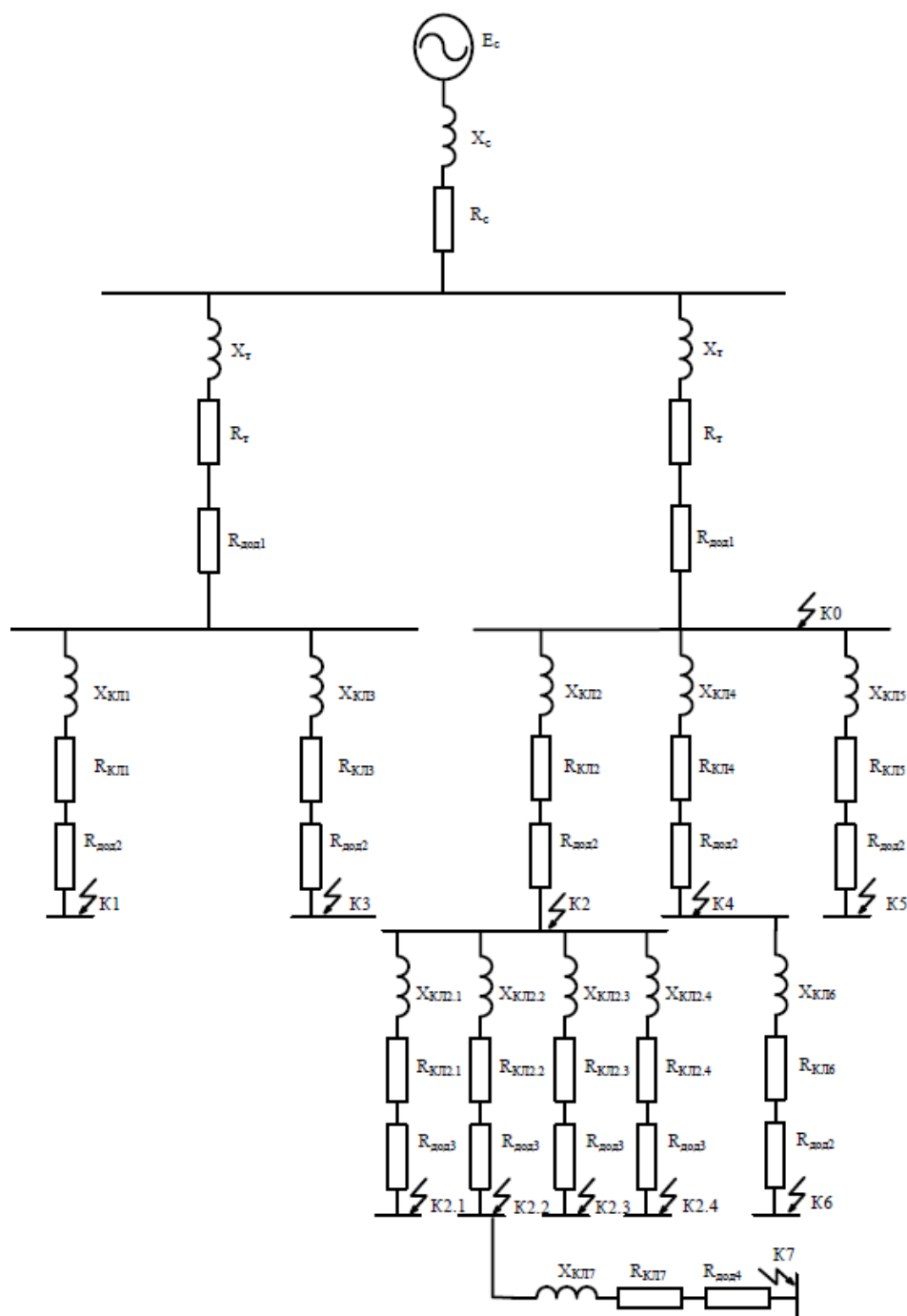


Рисунок 2.6 – Заступна схема НВ мережі

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	2,922
U_{c10}	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	1,010
X_c	Ом	2,074
$\dot{R}_c$	МОм	1,465
$\dot{X}_c$	МОм	3,011
$\dot{R}_T$	МОм	2,800
$\dot{X}_T$	МОм	12,000
$\dot{R}_{рез0}$	МОм	19,265
$\dot{X}_{рез0}$	МОм	15,011
$Z_{рез0}$	МОм	24,423
I_K	кА	9,456
k_y	–	1,05
i_y	кА	14,041

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	0,072	0,125	9,050	0,047	3,403
ТП – ВРП2	0,039	0,18	7,056	0,06	2,352
ВРП2 – РП2.1	0,038	1,33	51,072	0,07	2,688
ВРП2 – РП2.2	0,048	2,08	100,672	0,07	3,388
ВРП2 – РП2.3	0,020	2,08	42,432	0,07	1,428
ВРП2 – РП2.4	0,026	1,33	35,112	0,07	1,848
ТП – ВРП3	0,039	0,125	4,900	0,047	1,842
ТП – ВРП4	0,056	0,125	6,950	0,047	2,613
ТП – ВРП5	0,098	0,22	21,560	0,06	5,880
ВРП4 – РП6	0,071	2,08	148,096	0,07	4,984
РП2.1 – Рmax	0,003	8	24,000	0,09	0,270

Таблиця 2.23 – Визначення струмів КЗ в НВ мережі

Точка КЗ	$R_{\text{дод}},$ мОм	$\dot{R}_{\text{рез}},$ мОм	$\dot{X}_{\text{рез}},$ мОм	$\dot{Z}_{\text{рез}},$ мОм	$I_{\text{к}},$ кА	k_y	$i_y,$ кА	$F_{\text{min}},$ мм ²	Вибраний переріз
К1	20	33,32	18,41	38,07	6,067	1	8,580	22,5	4×240
К2	20	31,32	17,36	35,81	6,449	1	9,120	23,9	4×185
К2.1	25	87,39	20,05	89,66	2,576	1	3,642	9,5	5×25
К2.2	25	136,99	20,75	138,56	1,667	1	2,357	6,2	5×16
К2.3	25	78,75	18,79	80,96	2,852	1	4,034	10,6	5×16
К2.4	25	71,43	19,21	73,97	3,122	1	4,415	11,6	5×25
К3	20	29,17	16,85	33,68	6,856	1	9,696	25,4	4×240
К4	20	31,22	17,62	35,85	6,442	1	9,111	23,9	4×240
К5	20	45,83	20,89	50,36	4,586	1	6,485	17,0	4×150
К6	20	179,31	22,61	180,73	1,278	1	1,807	4,7	5×16
К7	30	116,39	20,32	118,15	1,955	1	2,764	7,2	5×2,5

Приймаємо для КЛ7 кабель ВВГнгд – 5 × 10.

2.12.3. Вибір трансформаторів струму

З [21] обираємо вимірювальні трансформатори струму, вторинне навантаження яких складається з таких приладів:

лічильники електричної енергії комерційного та технічного обліку
НІК 2307 АПЗТ, вибрані з [20];

амперметри АСКО – УКРЕМ 400А.

$$I_{\text{норм}} = \frac{945,55}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 2} = 718,31 \text{ А}; I_{\text{max}} = \frac{945,55}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 1436,62 \text{ А}.$$

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 :

$$T - 0,66 \text{ 1500 / 5}$$

$$0,38 < 0,66 \text{ кВ};$$

$$718,31 < 1500 \text{ A};$$

$$1436,62 < 1500 \text{ A};$$

$$14,041 < 51 \text{ кА};$$

$$22,35 < 100 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

$$0,495 < 5,0 \text{ Ом.}$$

Технічний облік :

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

$$0,38 < 0,66 \text{ кВ};$$

$$342,77 < 400 \text{ A};$$

$$9,111 < 51 \text{ кА};$$

$$10,38 < 100 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

$$0,495 < 5,0 \text{ Ом.}$$

2.12.4. Вибір автоматичних вимикачів

Автоматичні вимикачі вибрані 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	$I_{\text{норм}}$, А	$I_{\text{п.ав}}$, А	$I_{\text{к}}$, А
1	2	3	4	5	6	7	8	9
QF1	ВА 88 – 43	0,4	1600	40	0,4	718,31	1436,62	9,456
QF2	ВА 88 – 43	0,4	1600	40	0,4	718,31	1436,62	9,456
QF3	ВА 88 – 43	0,4	1600	40	0,4	718,31	1436,62	9,456
QF4	ВА 88 – 37	0,4	315	35	0,4	146,69	293,38	6,067
QF5	ВА 88 – 37	0,4	315	35	0,4	146,69	293,38	6,067
QF6	ВА 88 – 37	0,4	315	35	0,4	134,04	268,08	6,449
QF7	ВА 88 – 37	0,4	315	35	0,4	134,04	268,08	6,449
QF8	ВА 88 – 33	0,4	80	35	0,4	36,18	72,37	2,576
QF9	ВА 88 – 33	0,4	80	35	0,4	36,18	72,37	2,58
QF10	ВА 88 – 33	0,4	63	35	0,4	25,57	51,14	1,667

Продовження таблиці 2.24

1	2	3	4	5	6	7	8	9
QF11	BA 88 – 33	0,4	63	35	0,4	25,57	51,14	1,67
QF12	BA 88 – 33	0,4	63	35	0,4	30,16	60,32	2,852
QF13	BA 88 – 33	0,4	63	35	0,4	30,16	60,32	2,85
QF14	BA 88 – 33	0,4	80	35	0,4	35,12	70,23	3,122
QF15	BA 88 – 33	0,4	80	35	0,4	35,12	70,23	3,12
QF16	BA 88 – 40	0,4	400	35	0,4	171,39	342,77	6,856
QF17	BA 88 – 40	0,4	400	35	0,4	171,39	342,77	6,856
QF18	BA 88 – 37	0,4	315	35	0,4	152,59	305,17	6,442
QF19	BA 88 – 37	0,4	315	35	0,4	152,59	305,17	6,442
QF20	BA 88 – 35	0,4	250	35	0,4	109,98	219,97	4,586
QF21	BA 88 – 35	0,4	250	35	0,4	109,98	219,97	4,586
QF22	BA 88 – 33	0,4	50	35	0,4	47,14	47,14	1,278
QF23	BA 88 – 33	0,4	50	35	0,4	47,14	47,14	1,278
QF24	BA 88 – 32	0,4	25	25	0,4	23,40	23,40	1,955

2.12.5. Вибір рубильників

Рубильники вибрані з [23]:

PE 19 – 43; 1600 A;

$0,38 < 0,66 \text{ кВ};$

$718,31 < 1600 \text{ A};$

$1436,62 < 1600 \text{ A};$

$9,111 < 50 \text{ кА};$

$10,38 < 900 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$

РОЗДІЛ 3

РОЗРАХУНОК СТРІЧКОВОГО КОНВЕЄРА

Два стрічкових горизонтальних конвеєри встановлено у приміщенні цеху шоколадних цукерок для полегшення умов праці та підвищення її продуктивності.

Розрахунок одного з конвеєрів виконано відповідно до додатку Д.2, [24] за такими вихідними даними:

$$Q = 250 \frac{\text{Т}}{\text{ГОД}}; L = 48 \text{ м}; L_5 = 5,2 \text{ м}.$$

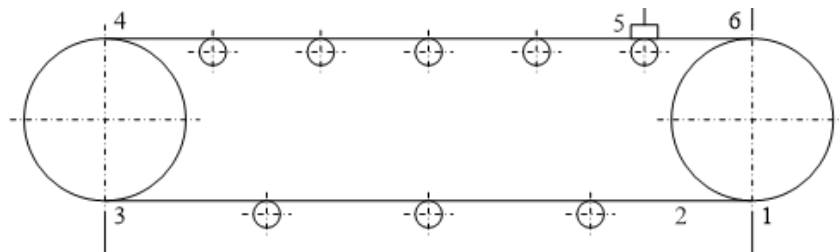


Рисунок 3.1 – Структура траси стрічкового конвеєра

$$v = 0,5 \frac{\text{М}}{\text{с}}; \rho = 1,57 \frac{\text{Т}}{\text{М}^3}; k = 325; k_p = 1;$$

$$B = 1,1 \cdot \left(\sqrt{\frac{400}{0,5 \cdot 1,57 \cdot 325 \cdot 1}} + 0,05 \right) = 1,144 \text{ м}; \text{ приймаємо } B = 1,2 \text{ м}.$$

З [21, дод.3, табл.3.9 – 3.15] вибираємо конвеєрну стрічку:

$$\text{тип 2; } B = 1200 \text{ мм}; z = 5; \text{БНКЛ} - 100; k_p = 11 \frac{\text{Н}}{\text{мм}};$$

$$\delta_p = 3 \text{ мм}; \delta_n = 1 \text{ мм}.$$

$$B_{\text{доп}} = 1200 \text{ мм}; \delta_T = 1,6 \text{ мм};$$

$$\delta = 5 \cdot 1,6 + 3 + 1 = 12 \text{ мм};$$

					ЛНТУ.971031.000 ПЗ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.	Цюпко А.В				Проектування системи електропостачання кондитерської фабрики встановленою потужністю 1010 кВт. Пояснювальна записка.	Літ.	Арк.
Перевір.	Грицюк Ю.В.						33
						Аркушів	
						3	
Н. контр.	Ващелюк Ю.І.					ФАБЕ, гр.ЕЕ-41	
Затверд.	Волинець В.І.						

$$\rho_c = 1100 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3};$$

$$q_c = 1200 \cdot 1,2 \cdot 0,012 = 15,84 \frac{\text{кг}}{\text{м}};$$

$$q_p^p = 24,2 \frac{\text{кг}}{\text{м}}; \quad q_p^x = 11,1 \frac{\text{кг}}{\text{м}};$$

$$q_k = 2 \cdot 12 + 24,2 + 11,1 = 66,98 \frac{\text{кг}}{\text{м}};$$

$$\omega = 0,025;$$

$$A \approx 0,14 \cdot 1,2^2 = 0,202 \text{ мм}^2;$$

$$q = 0,202 \cdot 1,57 \cdot 10^3 = 316,5 \frac{\text{кг}}{\text{м}};$$

$$F_{\text{розв}} \approx (27 \dots 36) \cdot 316,5 \cdot 1,2 = 11394,4 \text{ Н};$$

$$F'_0 = 0,025 \cdot 48 \cdot (316,5 + 66,98) \cdot 9,81 + 11394,4 = 15908,9 \text{ Н};$$

$$f = 0,25; \quad \alpha = 3,67 \text{ рад};$$

$$k_s = \frac{e^{0,25 \cdot 3,67}}{e^{0,25 \cdot 3,67} - 1} = 1,665;$$

$$F_{\text{max}} = 1,665 \cdot 15908,9 = 26493,5 \text{ Н};$$

$$z = 5 > z_{\text{min}} = \frac{26493,5}{11 \cdot 1,2} = 2,01;$$

$$k = 140;$$

$$D_{\pi 6}^{\text{min}} = 140 \cdot 5 = 700 \text{ мм} < D_{\pi 6} = 800 \text{ мм}.$$

$$\alpha = 90^0 - k_{\pi} = 1,03 \dots 1,05;$$

$$F_2 = F_1 + F_1 \cdot (1,03 - 1) = 1,03 \cdot F_1;$$

$$F_{2-3} = 0,025 \cdot 9,81 \cdot 48 \cdot (11,1 + 66,98) = 919,2 \text{ Н};$$

$$F_3 = (1,03 F_1 + 919,2) \text{ Н};$$

$$\alpha = 180^0 - k_{\pi} = 1,05;$$

$$F_4 = 1,05F_3 = 1,05 \cdot (1,03F_1 - F_{2-3}) = 1,08F_1 - 1,05 \cdot F_{2-3} = \\ = 1,08F_1 - 1,05 \cdot 919,2 = (1,08F_1 - 965,2) \text{ Н};$$

$$L_{\text{позв}} = 48 - 5,2 = 42,8 \text{ м};$$

$$F_{4-5} = (316,5 + 15,84 + 24,2) \cdot 9,81 \cdot 0,025 \cdot 42,8 = 3742,62 \text{ Н};$$

$$F_5 = 1,08F_1 - 1,05 \cdot 919,2 + 3742,62 = (1,08F_1 + 2777,5) \text{ Н};$$

$$F_{5-6} = 11394,4 \text{ Н};$$

$$F_6 = 1,08F_1 - 1,05 \cdot 919,2 + 3742,62 + 11394,4 = 14171,9 \text{ Н};$$

$$F_{\text{наб}} = 1,03 \cdot (1,08F_1 - 1,05F_{2-3} + F_{4-5} + F_{5-6}) = \\ = 1,11F_1 - 1,08F_{2-3} + 1,03F_{4-5} + 1,03F_{5-6} = \\ = 1,11F_1 - 1,08 \cdot 919,2 + 1,03 \cdot 3742,62 + 1,03 \cdot 11394,4 = (1,11F_1 + 14171,9) \text{ Н};$$

$$F_{\text{наб}} = F_1 \cdot e^{0,25 \cdot 3,67} = 2,5F_1;$$

$$F_1 = F_{36} = 10500 \text{ Н};$$

$$F_{\text{наб}} = 26250 \text{ Н};$$

$$F_0 = 26250 - 10500 = 15750 \text{ Н};$$

$$P_0 = 15750 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} = 7,88 \text{ кВт};$$

$$k_3 = 1,25; \eta = 0,96;$$

$$P = \frac{1,25 \cdot 7,88}{0,96} = 10,25 \text{ кВт};$$

вибираємо з [21, дод.3] двигун 4A160S6Y3:

$$P_{\text{дв}} = 11 \text{ кВт}; n_{\text{дв}} = 975 \text{ хв}^{-1}; \psi_{\text{max}} = 2; \psi_{\text{min}} = 1; I_{\text{дв}} = 0,137 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Мережу живлення конвеєрів спроектовано в п.2.12.

					ЛНТУ.971031.000 ПЗ	Арк.
						35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Файл Главная Вставка Разметка страницы Формулы Данные Рецензирование Вид Что вы хотите сделать?																													
Вставить		Times New Ro 14		Ж К Ч		Шрифт		Выравнивание		Общий		Условное форматирование		Форматировать как таблицу		Стили													
Буфер обмена		R52																											
Таблица 4.4 - Вибір електроприводу																													
Двигуни серії 4А (синхронна частота обертання 1000 об ⁻¹ . Технічна характеристика																													
Fзб=		10500,00		H		Типорозмір двигуна		Потужність, кВт		Частота обертання, об ⁻¹		M _{ном}		M _{ном}		Момент інерції ротора, кг·м ²		Типорозмір двигуна		Потужність, кВт		та оберт, об ⁻¹		M _{ном}		M _{ном}		нт інерції ротора, кг·м ²	
Fнаб=		26250,00		H		4AA63AY3		0,18		885		1,2		2,2		0,00173		4A132M6Y3		7,5		870		1,6		2,2		0,058	
Fo=		15750,00		H		4AA63BY3		0,25		890		1,2		2,2		0,00215		4A160S6Y3		11		975		1		2		0,137	
Po=		7,88		кВт		4A71A6Y3		0,37		910		1,6		2,2		0,00167		4A160M6Y3		15		975		1		2		0,182	
kз=		1,25				4A71B6Y3		0,55		900		1,6		2,2		0,00202		4A180M6Y3		18		975		1		2		0,22	
η=		0,96				4A80A6Y3		0,75		915		1,6		2,2		4,62E-05		4A200M6Y3		22		975		1		2		0,4	
P=		10,25		кВт		4A80B6Y3		1,1		920		1,6		2,2		4,59E-05		4A200L6Y3		30		980		1		2		0,45	
Тип		4A160S6Y3				4A90L6Y3		1,5		935		1,6		2,2		0,00735		4A225M6Y3		37		980		1		2		0,735	
Рдв=		11		кВт		4A100L6Y3		2,2		950		1,6		2,2		0,0131		4A250S6Y3		45		985		1		2		1,16	
п.дв=		975		хв-1		4A112MA6Y3		3		955		1,6		2,2		0,0175		4A250M6Y3		55		985		1		2		1,25	
ψmax=		2				4A112MBY3		4		950		1,6		2,2		0,002		4A280S6Y3		75		985		1		1,9		2,92	
ψmin=		1				4A132S6Y3		5,5		965		1,6		2,2		0,04		4A280M6Y3		90		985		1		1,9		3,33	
Ідв=		0,137		кг*м2																									

Рисунок 4.2 – Вибір електроприводу

РОЗДІЛ 5

ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА

Контур заземлення цеху шоколадних цукерок розраховано відповідно до [25]:

$$l = (60 + 42) \cdot 2 = 204 \text{ м};$$

$$R_{\Gamma} = \frac{180}{2 \cdot 3,14 \cdot 204} \cdot \ln \frac{204^2}{0,4 \cdot 0,04} = 2,2 \text{ Ом};$$

$$R_H = 10 \text{ Ом};$$

$$R_B = \frac{2,2 \cdot 10}{2,2 + 10} = 1,78 \text{ Ом};$$

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

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

$$n_B = \frac{55}{1,78 \cdot 0,65} = 47,3 \text{ шт} \Rightarrow n_B = 48 \text{ шт};$$

$$R_{шт} = \frac{55 \cdot 2,2}{0,3 \cdot 55 + 0,65 \cdot 48 \cdot 2,2} = 1,42 \text{ Ом} < 10 \text{ Ом}.$$

					ЛНТУ.971031.000 ПЗ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.	Цюпко А.В				Проектування системи електропостачання кондитерської фабрики встановленою потужністю 1010 кВт. Пояснювальна записка.	Літ.	Арк.
Перевір.	Грицюк Ю.В.						38
							1
Н. контр.	Ващелюк Ю.І.					ФАБЕ, гр.ЕЕ-41	
Затверд.	Волинець В.І.						

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

Система електропостачання кондитерської фабрики відповідає вимогам надійності електропостачання.

Для електроприймачів I категорії надійності передбачено місцеві резервні джерела живлення, які вмикатимуться автоматично пристроєм АВР.

Для надійності електроприймачів II категорії влаштовано двотрансформаторну підстанцію та обрано два паралельних кабелі зовнішнього живлення. Перемикання живлення між трансформаторами відбувається секційним вимикачем (секційна перемичка); перемикання між лініями – секційним роз'єднувачем (ремонтна перемичка).

Розподільні пристрої, встановлені в цехах, що містять приймачі II категорії, отримують живлення радіально від трансформаторної підстанції подвійними кабельними лініями. Крім того, між розподільними пристроями передбачено лінії холодного резервування.

Для забезпечення належної якості електроенергії вжито таких заходів:

обрані електричні мережі мають достатню пропускну здатність;

для розвантаження мереж від передавання реактивної потужності застосовано низьковольтні батареї конденсаторів, приєднані до шин низької напруги трансформаторної підстанції;

для регулювання напруги в силових трансформаторах передбачено пристрої перемикання без збудження.

Місце розташування трансформаторної підстанції обране з врахуванням центру навантажень підприємства з метою скорочення кабельних ліній та зниження втрат електричної енергії.

Проведено докладний розрахунок тягового зусилля стрічкового конвеєра для вибору оптимальних параметрів його електроприводу та уникнення недовантаження двигуна. Розрахунок виконаний автоматизовано.

					ЛНТУ.971031.000 ПЗ	Арк.
						39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Мілих В.І., Павленко Т.П. Електропостачання промислових підприємств : Підручник для студентів електромеханічних спеціальностей : Харків : ФОП Панов А. М., 2016. 272 с.
2. Правила улаштування електроустановок : видання офіційне. Київ : Міненерговугілля України, 2017. 620 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/vyrobnystvo/punkt-rozpodilnyi.html>.

- 10.Ввідно-розподільний пристрій : каталог. URL :
<https://www.enersys.in.ua/vyrobnystvo/vvidno-rozpodilnyi-prystrii.html>.
- 11.Кабелі силові АВВГ, АВВГнг, АВВГнгд : каталог. URL :
<https://europan.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://europan.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.971031.000 ПЗ	Арк.
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		