

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»

**«Проектування системи електропостачання кондитерської фабрики
встановленою потужністю 1400 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 ЕЕ-42

Бесарабчук Олександр Сергійович

(підпис)

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

(підпис)

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

(підпис)

Луцьк – 2026 року

ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

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

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

« ____ » _____ 202__ р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНИЙ ПРОЄКТ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Бесарабчуку Олександру Сергійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційного проекту: Проектування системи електропостачання кондитерської фабрики встановленою потужністю 1400 кВт

Керівник проекту: канд. техн. наук, доцент Грицюк Ірина Василівна

затверджені наказом ВНЗ від « 31 » грудня 2025 р. № 971/01-07

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

3. Вихідні дані до проекту Генеральний план підприємства, план розташування обладнання, відомості про електроприймачі підприємства

(номінальні параметри, режими роботи, категорія по надійності електропостачання), класи пожежонебезпечних і вибухонебезпечних зон об'єктів, умови компенсації реактивної потужності, час споживання максимальної потужності, інформація про джерело живлення.

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

1. Коротка характеристика об'єкту проектування.

2. Основні проектні рішення.

3. Проектування освітлювальної мережі цеху.

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 освітлення.

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 3 січня 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційного проекту бакалавра	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1	Коротка характеристика об'єкту проектування	03.02.2026	
2	Основні проектні рішення	03.03.2026	
3	Проектування освітлювальної мережі цеху	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 освітлення		

Здобувач вищої освіти

(підпис)

(Бесарабчук О.С.)

(прізвище, ініціали)

Керівник

кваліфікаційного проекту

(підпис)

(Грицюк І.В.)

(прізвище, ініціали)

АНОТАЦІЯ

Бесарабчук О.С. Проектування системи електропостачання кондитерської фабрики встановленою потужністю 1400 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

O. Besarabchuk. Designing the power supply system of a confectionery factory with an installed capacity of 1400 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.....	12
2.2. Розрахунок освітлювальних навантажень.....	14
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.....	18
2.9. Проектування внутрішньої розподільної мережі.....	19
2.10. Розрахунок струмів короткого замикання.....	21
2.11. Вибір обладнання.....	22
2.11.1. Вибір комплектних розподільчих пристроїв.....	22
2.11.2. Вибір роз'єднувачів.....	23
2.11.3. Вибір вимикачів навантаження та запобіжників.....	24
2.12. Розрахунок низьковольтної мережі цеху.....	24
2.12.1. Вибір схеми електропостачання.....	24
2.12.2. Розрахунок струмів короткого замикання в мережі 0,4 кВ.....	26
2.12.3. Вибір трансформаторів струму.....	29

					ЛНТУ.971032.000 ПЗ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Проектування системи електропостачання кондитерської фабрики встановленою потужністю 1400 кВт. Пояснювальна записка.		
Розроб.		Бесарабчук О.С.					
Перевір.		Грицюк І.В.					
Н. контр.		Ващелюк Ю.І.					
Затверд.		Волинець В.І.			Літ. Арк. Аркушів 6 64 ФАБЕ, гр.ЕЕ-42		

2.12.4. Вибір автоматичних вимикачів.....	30
2.12.5. Вибір рубильників.....	31
РОЗДІЛ 3 ПРОЄКТУВАННЯ ОСВІТЛЮВАЛЬНОЇ МЕРЕЖІ ЦЕХУ	32
РОЗДІЛ 4 САПР.....	33
РОЗДІЛ 5 ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА	34
ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ.....	35
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	36
ДОДАТОК 1 ОСНОВНІ ПРОЄКТНІ РІШЕННЯ.....	39
ДОДАТОК 2 ПРОЄКТУВАННЯ ОСВІТЛЮВАЛЬНОЇ МЕРЕЖІ ЦЕХУ..	60
ДОДАТОК 3 ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА.....	63

ВСТУП

Будь-яка електрична система складається з джерела, електричних мереж та споживачів електричної енергії.

Джерелом живлення проєктованої кондитерської фабрики є секції шин існуючого розподільного пункту напругою 10 кВ.

До складу електричних мереж входять: лінії напругою 10 кВ; понижувальна трансформаторна підстанція 10/0,4 кВ; лінії напругою 0,4 кВ; розподільні щити 0,4 кВ.

Споживачами електроенергії фабрики є виробничі цехи та допоміжні будівлі. Електроприймачі, встановлені в них, належать до I – III категорій надійності.

При проєктуванні системи електропостачання кондитерської фабрики слід приймати проєктні рішення, які забезпечили б відповідність даної системи діючим вимогам [1 – 3].

Для підвищення надійності роботи електричних мереж передбачають можливість резервування їх елементів.

Для покращення якості електричної енергії мережі оснащують засобами компенсації реактивної потужності та регулювання параметрів режиму.

Задля економічності розглядають різні варіанти виконання електричних мереж, проводять їх порівняння та обирають найбільш економічно доцільні.

Крім того, мережі повинні бути оснащені засобами захисту від струмів одно- та трифазних коротких замикань, струмів перевантажень та перенапруг.

Для зручності та точності виконуваних розрахунків їх автоматизують.

Безпека експлуатації проєктованої системи електропостачання досягається застосуванням системи організаційних та технічних заходів з електробезпеки на підприємстві.

					ЛНТУ.971032.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

РОЗДІЛ 1

КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ПРОЄКТУВАННЯ

Кондитерські вироби відрізняються високим вмістом цукру. За складом сировини їх поділяють на цукристи та борошняні. Детальну класифікацію кондитерських виробів наведено на рисунку 1.1.

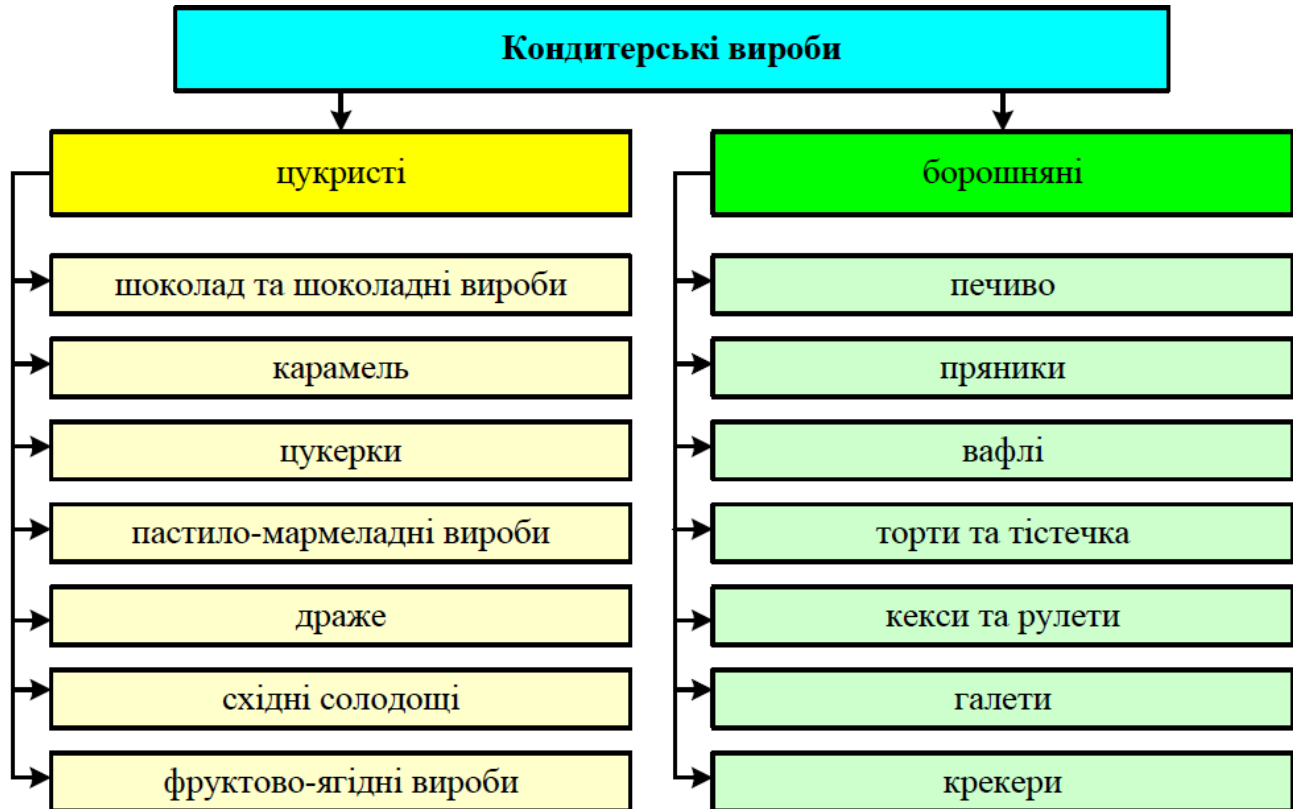


Рисунок 1.1 – Класифікація кондитерських виробів

Перелік структурних підрозділів проєктованої кондитерської фабрики та їх характеристики наведено в таблиці 2.1.

Детальна розробка низьковольтної мережі живлення буде виконуватись для цеху соків та пюре. Поетапну технологію виготовлення соків наведено на рисунку 1.2.

					ЛНТУ.971032.000 ПЗ							
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата								
Розроб.		Бесарабчук О.С.			Проектування системи електропостачання кондитерської фабрики встановленою потужністю 1400 кВт. Пояснювальна записка.			Літ.		Арк.	Аркушів	
Перевір.		Грицюк І.В.								9	3	
Н. контр.		Ващелюк Ю.І.						ФАБЕ, гр.ЕЕ-42				
Затверд.		Волинець В.І.										

Таблиця 1.1 – Характеристики цехів заводу

Назва об'єкту	Розміри будівлі			Встановлена потужність, кВт
	Довжина, м	Ширину, м	Площа будівлі, м ²	
1. Цех борошняних кондитерських виробів	72	48	3456	390
2. Цех шоколаду	72	24	1728	330
3. Цех соків та пюре	104	42	4368	230
РПЗ.1	–	–	–	55
РПЗ.2	–	–	–	55
РПЗ.3	–	–	–	53
РПЗ.4	–	–	–	68
4. Мармеладно-пастильний цех	60	24	1440	195
5. Каналізаційно-насосна станція	18	24	432	170
6. Склад	48	18	864	85
Разом			12288	1400

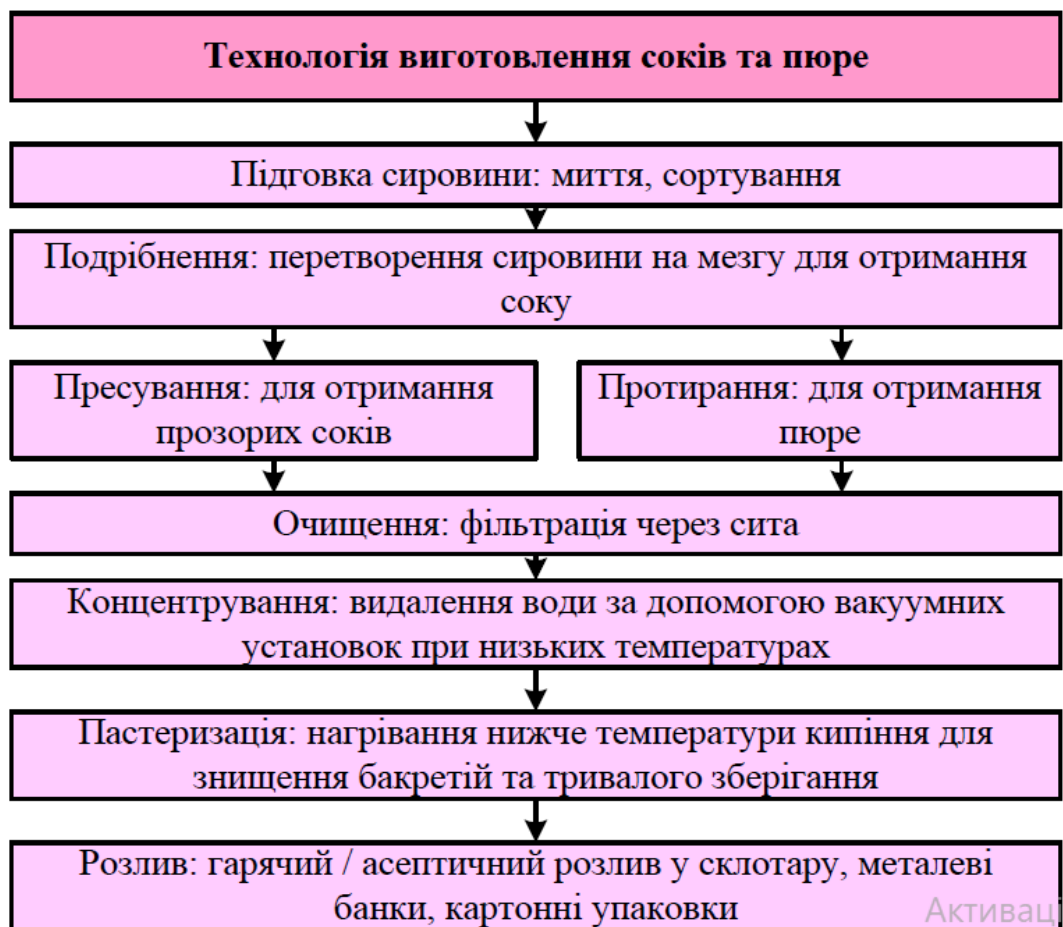


Рисунок 1.2 – Технологічна схема виготовлення соків та пюре

Решта даних технічного завдання відображені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Вихідні дані

Назва параметру	Одиниці вимірювання	Значення
Кількість змін	–	2
Тривалість роботи електрообладнання в рік τ	год.	4350
Час використання максимального навантаження T_{max}	год.	2390
Джерело живлення	–	РП-10 кВ
Відстань до джерела l	км	3,4
Потужність короткого замикання на шинях джерела живлення $S_{кз}$	МВА	59
Вхідна реактивна потужність $Q_{e max}$	кВАр	257
Загальна територія підприємства	м ²	34800
Категорія надійності споживачів:		
I (пристрої пожежної сигналізації, евакуаційне освітлення)	%	0,4
II (приймачі основних виробничих цехів)	%	68,5
III (приймачі складу, приймачі, що виконують допоміжні функції)	%	31,1

В додатках [Д.1 – Д.3] сформовано методики до розрахунків, виконаних у кваліфікаційному проєкті, на основі джерел [1, 2, 3, 7, 12, 13. 24, 25].

РОЗДІЛ 2

ОСНОВНІ ПРОЄКТНІ РІШЕННЯ

Електричні навантаження розрахуємо із застосуванням ієрархічного підходу [1, 3], згідно з яким визначаються навантаження на всіх рівнях системи електропостачання від найнижчого (на затискачах окремих струмоприймачів) до найвищого (для СЕП проєктованої фабрики рівень шин 10 кВ трансформаторної підстанції).

2.1. Розрахунок силових електричних навантажень

Силові електроприймачі дільниці соків та пюре поділено на чотири групи. Кожна з груп отримує живлення за радіальною схемою від розподільного пункту напругою 400 В та містить приймачі із змінним та постійним графіками навантаження.

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	202,80	200,77	285,37	253,50	220,85	336,21	202,80
2	171,60	173,32	243,90	223,08	190,65	293,45	171,60
3	115,00	138,00	179,64	161,00	151,80	221,28	115,00
3.1	24,21	23,84	33,98	35,67	23,84	42,90	24,21
3.2	24,21	23,84	33,98	35,67	23,84	42,90	24,21
3.3	26,98	27,25	38,35	34,26	29,97	45,52	26,98
3.4	33,37	33,04	46,96	48,39	36,34	60,51	33,37
4	87,75	86,00	122,86	109,69	94,59	144,84	87,75
5	119,00	89,25	148,75	172,55	98,18	198,52	119,00
6	25,50	20,40	32,66	58,65	22,44	62,80	25,50
Всього	721,65	707,73	1013,17	978,47	778,51	1257,10	721,65

					ЛНТУ.971032.000 ПЗ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.	Бесарабчук О.С.				Проектування системи електропостачання кондитерської фабрики встановленої потужністю 1400 кВт. Пояснювальна записка.	Літ.	Арк.
Перевір.	Грицюк І.В.						12
							20
Н. контр.	Вашелюк Ю.І.					ФАБЕ, гр.ЕЕ-42	
Затверд.	Волинець В.І.						

Таблиця 2.2 – Розрахунок силових навантажень РПЗ.1, 3.2 цеху соків та пюре

Назва електроприймача	P _н , кВт	n	P _н , кВт	K _{вик}	tgφ	m	η _{ед}	K _{лнх}	Розрахункові навантаження			
									P _{ср.зм.} , кВт	Q _{ср.зм.} , квар	P _{р.} , кВт	Q _{р.} , квар
	РПЗ.1											
	Приймачі із змінним графіком навантаження											
Сито	3,5	1	3,5	0,49	0,97	5,6	8	1,5	1,72	1,66	34,37	22,86
Центрифуга	6	1	6	0,46	0,99				2,76	2,73		
Сепаратор	5	1	5	0,41	0,98				2,05	2,01		
Установка ферментувальна	4,5	1	4,5	0,33	1,01				1,49	1,50		
Установка нагрівальна	3,5	1	3,5	0,41	0,97				1,44	1,39		
Вакуум-фільтр барабанний	5,5	1	5,5	0,39	0,97				2,15	2,08		
Установка стерилізаційна	8	1	8	0,41	1,01				3,28	3,31		
Машина етикетувальна	2,5	1	2,5	0,36	0,99				0,90	0,89		
Конвеєр стрічковий	14	1	14	0,51	1,02				7,14	7,28		
	Приймачі із постійним графіком навантаження											
Установка вентиляційна	2	1	2	0,65	0,75				1,30	0,98	1,30	0,98
Всього РПЗ.1		10	54,5						24,21	23,84	35,67	23,84
	РПЗ.2											
	Приймачі із змінним графіком навантаження											
Сито	3,5	1	3,5	0,49	0,97	5,6	8	1,5	1,72	1,66	34,37	22,86
Центрифуга	6	1	6	0,46	0,99				2,76	2,73		
Сепаратор	5	1	5	0,41	0,98				2,05	2,01		
Установка ферментувальна	4,5	1	4,5	0,33	1,01				1,49	1,50		
Установка нагрівальна	3,5	1	3,5	0,41	0,97				1,44	1,39		
Вакуум-фільтр барабанний	5,5	1	5,5	0,39	0,97				2,15	2,08		
Установка стерилізаційна	8	1	8	0,41	1,01				3,28	3,31		
Машина етикетувальна	2,5	1	2,5	0,36	0,99				0,90	0,89		
Конвеєр стрічковий	14	1	14	0,51	1,02				7,14	7,28		
	Приймачі із постійним графіком навантаження											
Установка вентиляційна	2	1	2	0,65	0,75				1,3	0,98	1,3	0,975
Всього РПЗ.2		10	54,5						24,21	23,84	35,67	23,84
ВСЬОГО		20	109						48,42	47,68	71,33	47,68

2.2. Розрахунок освітлювальних навантажень

Джерела світла – однофазні електропримачі, вибрані з [4] та заживлені від щитів освітлення кожного цеху. Для забезпечення симетрії електричних навантажень їх розподіл по фазах повинен бути рівномірним.

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	VELMAX V-LHB, 150W, LED, 13500Lm	13500	150
2	Va	300	VELMAX V-LHB, 150W, LED, 13500Lm	13500	150
3	Va	300	VELMAX V-LHB, 150W, LED, 13500Lm	13500	150
4	Va	300	VELMAX V-LHB, 150W, LED, 13500Lm	13500	150
5	VIIIb	75	CORELINE HIGH-BAY GEN 4 69W 10000Lm	10000	69
6	VIIIb	75	CORELINE HIGH-BAY GEN 4 69W 10000Lm	10000	69

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	3456	8	4,05	14,00	1,2	0,9	0,33	15,12	4,99
2	1728	8	4,05	7,00	1,2	0,9	0,33	7,56	2,49
3	4368	8	4,05	17,69	1,2	0,9	0,33	19,11	6,30
4	1440	8	4,05	5,83	1,2	0,9	0,33	6,30	2,08
5	432	5	3,81	1,65	1,2	0,9	0,33	1,78	0,59
6	864	5	3,81	3,29	1,2	0,9	0,33	3,56	1,17
Всього	12288			49,46				53,41	17,63

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

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

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

$$L_{\Sigma} = 2992 \text{ м}; N = \frac{2992}{104,5} = 28,6 \Rightarrow N_{\text{прийн}} = 29;$$

$$P_{\text{вст.зовн}} = 29 \cdot 150 \cdot 10^{-3} = 4,35 \text{ кВт};$$

$$P_{\text{розр.зовн}} = 1,2 \cdot 0,9 \cdot 4,35 = 4,7 \text{ кВт}; Q_{\text{розр.зовн}} = 4,7 \cdot 0,33 = 1,55 \text{ кВАр}.$$

2.3. Визначення результуючих навантажень

Під результуючими навантаженнями розуміють сумарні навантаження кожного цеху, до складу яких входять навантаження силових та освітлювальних електроприймачів. Навантаження фабрики в цілому визначаємо як суму навантажень усіх цехів та вуличного освітлення.

Таблиця 2.5 – Розрахунок результуючих навантажень

Номер цеху	$P_{вст\Sigma}$, кВт	$P_{ср.зм\Sigma}$, кВт	$Q_{ср.зм\Sigma}$, квар	$S_{ср.зм\Sigma}$, кВА	$P_{p\Sigma}$, кВт	$Q_{p\Sigma}$, квар	$S_{p\Sigma}$, кВА
1	404,00	217,92	205,76	299,71	268,62	225,84	350,94
2	337,00	179,16	175,81	251,01	230,64	193,14	300,83
3	247,69	134,11	144,30	197,00	180,11	158,10	239,66
3.1	54,50	24,21	23,84	33,98	35,67	23,84	42,90
3.2	54,50	24,21	23,84	33,98	35,67	23,84	42,90
3.3	52,90	26,98	27,25	38,35	34,26	29,97	45,52
3.4	68,10	33,37	33,04	46,96	48,39	36,34	60,51
4	200,83	94,05	88,07	128,85	115,99	96,67	150,99
5	171,65	120,78	89,84	150,53	174,33	98,76	200,36
6	88,29	29,06	21,57	36,19	62,21	23,61	66,54
Освітлення території	4,35	4,70	1,55	4,95	4,70	1,55	4,95
Всього	1453,81	779,76	726,91	1068,23	1036,58	797,68	1314,26

2.4. Побудова картограми навантажень та визначення теоретичного центру навантажень

Для графічного представлення результатів розрахунку силових та освітлювальних навантажень кожного цеху (табл.2.5) на генеральному плані фабрики будують картограму навантажень та визначають теоретичний центр навантажень (табл.2.6). За умови розташування трансформаторної підстанції

в центрі навантажень довжини низьковольтних кабелів є мінімально можливими [1, 3].

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	180	48	48351	12894	40651	10840	47	20
2	102	48	23525	11071	19700	9271	44	12
3	105	159	18911	28637	16601	25139	39	38
4	60	54	6959	6263	5800	5220	31	20
5	192	123	33471	21442	18962	12148	36	4
6	21	144	1306	8958	496	3400	21	21
Всього			132524	89264	102211	66018		
X_{Σ}	128							
Y_{Σ}	84							

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

Для трансформаторної підстанції приймаємо з [5] два силових трансформатори ТМ – 10 / 0,4, потужність яких обираємо з врахуванням їх коефіцієнта завантаження в нормальному режимі роботи (0,7) та необхідної потужності низьковольтних батарей конденсаторів [6].

Для двох можливих варіантів встановлення визначаємо приведені затрати та порівнюємо їх.

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	1000	1,11	2	0	2	1162,74
II		630	1,77	2	0	2	412,19

Таблиця 2.8 – Вибір низьковольтних батарей конденсаторів

Варіант встановлення	$Q_{\text{НБК1}}, \text{кВАр}$	k_{p1}	k_{p2}	γ	$Q_{\text{НБК2}}, \text{кВАр}$	$Q_{\text{НБК}}, \text{кВАр}$	Потужність НБК
I	0,00	12	27	0,3	126,909	126,91	70
II	314,72	12	27	0,3	34,1877	348,91	200

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	$З$, тис.грн
I	1,7	12,2	1154	18,2402	136,072	1107,36	274,49
II	1,18	8,5	1154	12,6698	94,517	987,44	217,95

Вибираємо $2 \times TM - 630 / 10$; $2 \times KKY - 0,4 - 200 - 10 - 21Y3$.

$$1,4 \cdot 630 = 882 \text{ кВА} > \frac{2 \cdot (1 - 0,311) \cdot 1068,23}{2} = 736,01 \text{ кВА}.$$

2.6. Компенсація реактивної потужності

В п.2.5 розраховано протужність НБК, встановлених на шинах 400 В підстанції, з врахуванням пропускної здатності трансформаторів. Розрахуємо потребу у встановленні високовольтних батарей конденсаторів (ВБК) на шинах 10 кВ.

Таблиця 2.10 – Розрахунок компенсації реактивної потужності

Показник	Од.вимір.	Значення
$Q_{\text{ср.зм}\Sigma}$	кВАр	726,91
$Q_{\text{еmax}}$	кВАр	257
$Q_{\text{НБК ф}}$	кВАр	400
ΔQ_T	кВАр	33
$K_{\text{НС}}$	–	0,75
Q_{M1}	кВАр	545,18
Q_{K1}	кВАр	287,86
$Q_{\text{НС Т}}$	кВАр	392,91
$Q_{\text{ВБК}}$	кВАр	-46,14

$Q_{\text{ВБК}} < 0$, отже компенсації за допомогою НБК достаньо.

Застосування компенсації реактивної потужності забезпечило розвантаження частини електричних мереж кондитерської фабрики від передавання реактивних індуктивних струмів навантаження, покращення

якості електроенергії та виконання вимог енергосистеми щодо споживання $Q_{\text{е max}}$.

2.7. Визначення електричних навантажень на вищих рівнях

Під найвищим рівнем СЕП кондитерської фабрики розуміють рівень шин 10 кВ підстанції.

Таблиця 2.11 – Розрахунок навантажень на рівні 10 кВ

Розрахункове навантаження	Одиниці вимірювання	Значення
P_{p3}	кВт	779,76
Q_{p2}	кВАр	726,91
$Q_{\text{НБК}}$	кВАр	400
P_{p3}	кВт	779,76
Q_{p3}	кВАр	326,91
S_{p3}	кВА	845,51
ΔP_T	кВт	16,91
ΔQ_T	кВАр	84,55
P_{p4}	кВт	796,67
Q_{p4}	кВАр	411,46
S_{p4}	кВА	896,65

2.8. Проектування мережі живлення підприємства

Згідно з [7] для вибору найбільш економічно доцільних перерізів ліній напругою 10 кВ і вище рекомендовано застосовувати метод економічної густини струму. Тому економічний переріз обираємо за струмом навантаження нормального режиму та економічною густиною $j_e = 1,9 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}$

$$I_{\text{норм}} = \frac{896,65}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 2} = 25,88 \text{ А}; I_{\text{п ав}} = \frac{896,65}{\sqrt{3} \cdot 10} = 51,77 \text{ А};$$

$$F_e = \frac{25,88}{1,9} = 27,25 \text{ мм}^2; \text{ розглядаємо перерізи від } 35 \text{ мм}^2 \text{ включно.}$$

Тип кабелів АПвЕгП – 10 обираємо з [8]. Приймаємо два взаєморезервовані паралельні кабелі.

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	86,40	0,86	1,73
50	169	174,1	0,58	0,086	78,59	0,79	1,57
70	211	217,3	0,45	0,084	62,56	0,63	1,25
95	260	267,8	0,31	0,083	45,39	0,45	0,91

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	0,176	135,17	4,174	35,946	3284,4	446,496
50	0,149	170,82	3,777	32,525	4025,6	535,725
70	0,119	206,59	2,931	25,235	4188,8	548,835
95	0,097	216,10	2,019	17,384	4889,2	628,534

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

2.9. Проектування внутрішньої розподільної мережі

У цехах фабрики 1, 2, 3 (згідно з табл.1.1) встановлено 3 і більше розподільних пунктів 400 В, які заживлені від ввідно-розподільних пристроїв [9]. Кількість приймачів мармеладно-пастильного цеху 4, каналізаційно-насосної станції 5 та складу 6 дозволяє обмежитись встановленням одного розподільного пункту [10].

Для живлення розподільних пунктів та пристроїв обираємо радіально-магістральну схему, виконану кабелями АВВГ – 0,4 [11].

Магістральна частина схеми відповідає лінії ВРПЗ-РП6 (для живлення складу).

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	350,94	533,20	ЕУ – ВРП2 – 1 – 630 У4	630	4	4
ВРП2	300,83	457,06	ЕУ – ВРП2 – 1 – 630 У4	630	4	4
ВРП3	306,19	465,21	ЕУ – ВРП2 – 1 – 630 У4	630	4	4
РП3.1	42,90	65,18	ПР11 – 3086 – 21 У3	100	10	12
РП3.2	42,90	65,18	ПР11 – 3086 – 21 У3	100	10	12
РП3.3	45,52	69,17	ПР11 – 3086 – 21 У3	100	10	12
РП3.4	60,51	91,94	ПР11 – 3086 – 21 У3	100	12	12
РП4	150,99	229,41	ПР11 – 3051 – 21 У3	250	15	16
РП5	200,36	304,41	ПР11 – 3087 – 21 У3	400	18	18
РП6	66,54	101,09	ПР11 – 3051 – 21 У3	250	15	16

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	3	350,94	177,73	355,46	4×240	401	413	433	0,048	0,125	0,059	0,53	1,58
ТП – ВРП2	3	300,83	152,35	304,71	4×240	401	413	433	0,026	0,125	0,059	0,25	0,74
ТП – ВРП3	3	306,19	155,07	310,14	4×240	401	413	433	0,068	0,125	0,059	0,65	1,95
ВРПЗ – РП3.1	2	42,90	32,59	65,18	5×25	75	77	81	0,050	1,33	0,07	0,82	1,64
ВРПЗ – РП3.2	2	42,90	32,59	65,18	5×25	75	77	81	0,056	1,33	0,07	0,92	1,84
ВРПЗ – РП3.3	2	45,52	34,58	69,17	5×25	75	77	81	0,065	1,33	0,07	1,13	2,27
ВРПЗ – РП3.4	2	60,51	45,97	91,94	5×35	95	98	103	0,068	0,95	0,06	1,13	2,27
ТП – РП4	2	150,99	114,70	229,41	4×150	230	237	248	0,068	0,22	0,06	0,75	1,50
ТП – РП5	2	200,36	152,21	304,41	4×240	401	413	433	0,092	0,125	0,059	0,86	1,73
ВРПЗ – РП6	1	66,54	101,09	101,09	4×25	75	77	81	0,075	1,33	0,07	3,81	3,81

2.10. Розрахунок струмів короткого замикання

Для вибору високовольтної апаратури розрахуємо струми короткого замикання в мережі 10 кВ наближеним способом у відносних одиницях:

$$S_{\text{с}} = 100 \text{ МВА}; U_{\text{с}} = 10,5 \text{ кВ}.$$

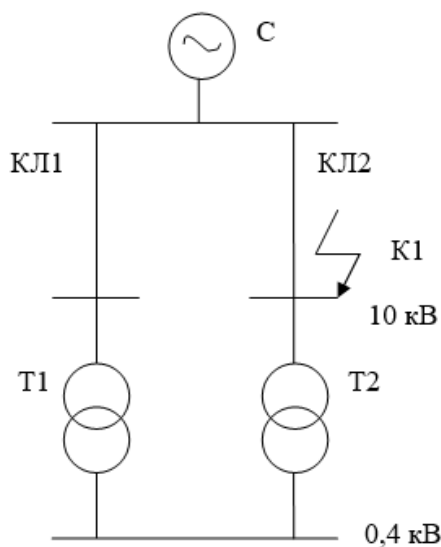


Рисунок 2.1 – Електрична схема короткозамкненого кола

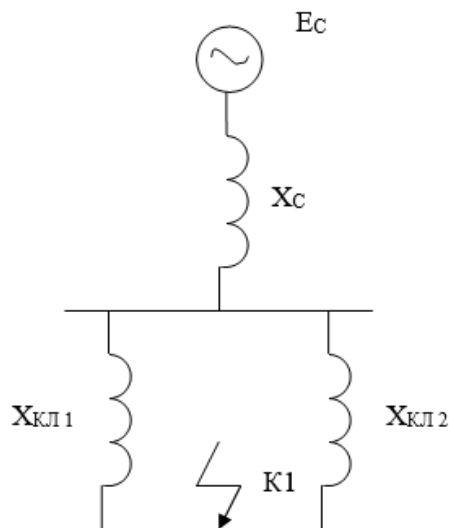


Рисунок 2.2 – Заступна схема короткозамкненого кола

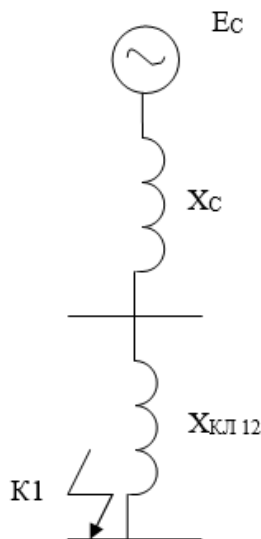


Рисунок 2.3 – Схема короткозамкненого кола після об'єднання паралельних ліній

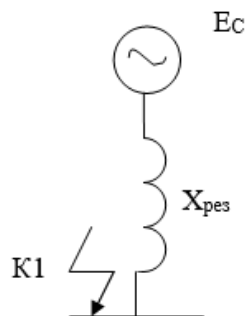


Рисунок 2.4 – Спрощена схема короткозамкненого кола

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

Показник	Одиниці вимірювання	Значення
S_{K3}	МВА	59
$\dot{X}_{C*}$	—	1,695
$\dot{R}_{KЛ1*}, \dot{R}_{KЛ2*}$	—	1,977
$\dot{X}_{KЛ1*}, \dot{X}_{KЛ2*}$	—	0,278
$\dot{R}_{KЛ12*}$	—	0,988
$\dot{X}_{KЛ12*}$	—	0,139
$\dot{R}_{рез*}$	—	0,988
$\dot{X}_{рез*}$	—	1,834
$\dot{Z}_{рез*}$	—	2,083
I_6	кА	5,50
I_{n0}	кА	2,640
k_y	—	1,42
i_y	кА	5,301
K_T	$\frac{A \cdot c^{1/2}}{мм^2}$	125
t_n	с	0,25
F_{min}	мм ²	10,6
Тип та переріз кабелю з п.2.8	—	АПвЕгП – 10 – 3 × 35
B_K	кА ² · с	1,74

2.11. Вибір обладнання

2.11.1. Вибір комплектних розподільчих пристроїв

У приміщенні закритого розподільного пристрою високої напруги підстанції встановлено збірні камери одностороннього обслуговування, вибрані з [14], типу КСО – 399. Камери залежно від призначення обладнані вимикачами навантаження або роз'єднувачами.

Призначення, компонування та кількість камер, а також їх номери згідно з каталогом [14] наведені 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	–

$$10 = 10 \text{ кВ};$$

$$25,88 < 630 \text{ А};$$

$$51,77 < 630 \text{ А};$$

$$5,301 < 51 \text{ кА};$$

$$1,74 < 400 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

2.11.2. Вибір роз'єднувачів

Вибираємо з [16] роз'єднувачі:

РВ030 – 10 – 630

$$10 = 10 \text{ кВ};$$

$$25,88 < 630 \text{ А};$$

$$51,77 < 630 \text{ А};$$

$$5,301 < 41 \text{ кА};$$

$$1,74 < 1024 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

2.11.3. Вибір вимикачів навантаження та запобіжників

З [17] обираємо вимикачі навантаження; з [18] – запобіжники:

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

$$\begin{aligned}10 &= 10 \text{ кВ;} \\25,88 &< 630 \text{ А;} \\51,77 &< 630 \text{ А;} \\2,64 &< 31,5 \text{ кА;} \\5,301 &< 80 \text{ кА;} \\1,74 &< 992,3 \text{ кА}^2 \cdot \text{с;}\end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}10 &= 10 \text{ кВ;} \\25,88 &< 630 \text{ А;} \\51,77 &< 630 \text{ А;} \\2,64 &< 31,5 \text{ кА;} \\5,301 &< 80 \text{ кА;} \\1,74 &< 992,3 \text{ кА}^2 \cdot \text{с;}\end{aligned}$$

ПКТ – 10 – 63 – 12,5 УЗ:

$$\begin{aligned}51,77 &< 63 \text{ А;} \\2,64 &< 12,5 \text{ кА;} \\45,72 &< 217 \text{ кА,} \\S'' &= \sqrt{3} \cdot 10 \cdot 2,64 = 45,82 \text{ МВА.}\end{aligned}$$

2.12. Розрахунок низьковольтної мережі цеху

У приміщенні закритого розподільного пристрою низької напруги підстанції встановлено панелі одностороннього обслуговування (табл.2.17), вибрані з [15], типу ЩО – 99. Панелі залежно від призначення обладнані автоматичними вимикачами, рубильниками та трансформаторами струму.

2.12.1. Вибір схеми електропостачання

Кабелі живлення приймачів цеху соків та пюре ВВГнгд – 0,4 вибрані з [19] за струмом навантаження. Також виконано їх перевірку за втратами напруги.

Таблиця 2.18 – Вибір кабелів внутрішньоцехової мережі

Назва електроприймача	рн, кВт	cosφ	I, А	F, мм ²	I _{гр.доп} , А	Кабель
РПЗ.1						
Сито	3,5	0,72	7,41	2,5	26	ВВГнгд-5×2,5
Центрифуга	6	0,71	12,83	2,5	26	ВВГнгд-5×2,5
Сепаратор	5	0,71	10,64	2,5	26	ВВГнгд-5×2,5
Установка ферментувальна	4,5	0,70	9,72	2,5	26	ВВГнгд-5×2,5
Установка нагрівальна	3,5	0,72	7,41	2,5	26	ВВГнгд-5×2,5
Вакуум-фільтр барабанний	5,5	0,72	11,64	2,5	26	ВВГнгд-5×2,5
Установка стерилізаційна	8	0,70	17,28	2,5	26	ВВГнгд-5×2,5
Машина етикетувальна	2,5	0,71	5,34	2,5	26	ВВГнгд-5×2,5
Конвеєр стрічковий	14	0,70	30,38	4	34	ВВГнгд-5×4
Установка вентиляційна	2	0,80	3,80	2,5	26	ВВГнгд-5×2,5
РПЗ.2						
Сито	3,5	0,72	7,41	2,5	26	ВВГнгд-5×2,5
Центрифуга	6	0,71	12,83	2,5	26	ВВГнгд-5×2,5
Сепаратор	5	0,71	10,64	2,5	26	ВВГнгд-5×2,5
Установка ферментувальна	4,5	0,70	9,72	2,5	26	ВВГнгд-5×2,5
Установка нагрівальна	3,5	0,72	7,41	2,5	26	ВВГнгд-5×2,5
Вакуум-фільтр барабанний	5,5	0,72	11,64	2,5	26	ВВГнгд-5×2,5
Установка стерилізаційна	8	0,70	17,28	2,5	26	ВВГнгд-5×2,5
Машина етикетувальна	2,5	0,71	5,34	2,5	26	ВВГнгд-5×2,5
Візок вантажний	14	0,70	30,38	4	34	ВВГнгд-5×4
Установка вентиляційна	2	0,80	3,80	2,5	26	ВВГнгд-5×2,5

Таблиця 2.19 – Перевірка кабелів за втратами напруги

Назва електроприймача	n	r ₀ , Ом/км	x ₀ , Ом/км	l, км	ΔU%	Кабель
РПЗ.1						
Сито	1	8	0,09	0,006	0,118	ВВГнгд-5×2,5
Центрифуга	1	8	0,09	0,01	0,336	ВВГнгд-5×2,5
Сепаратор	1	8	0,09	0,012	0,336	ВВГнгд-5×2,5
Установка ферментувальна	1	8	0,09	0,022	0,555	ВВГнгд-5×2,5
Установка нагрівальна	1	8	0,09	0,026	0,510	ВВГнгд-5×2,5
Вакуум-фільтр барабанний	1	8	0,09	0,03	0,924	ВВГнгд-5×2,5
Установка стерилізаційна	1	8	0,09	0,039	1,748	ВВГнгд-5×2,5
Машина етикетувальна	1	8	0,09	0,044	0,616	ВВГнгд-5×2,5
Конвеєр стрічковий	1	5	0,09	0,057	2,814	ВВГнгд-5×4
Установка вентиляційна	1	8	0,09	0,005	0,056	ВВГнгд-5×2,5
РПЗ.2						
Сито	1	8	0,09	0,006	0,118	ВВГнгд-5×2,5
Центрифуга	1	8	0,09	0,01	0,336	ВВГнгд-5×2,5
Сепаратор	1	8	0,09	0,012	0,336	ВВГнгд-5×2,5
Установка ферментувальна	1	8	0,09	0,022	0,555	ВВГнгд-5×2,5
Установка нагрівальна	1	8	0,09	0,026	0,510	ВВГнгд-5×2,5
Вакуум-фільтр барабанний	1	8	0,09	0,03	0,924	ВВГнгд-5×2,5
Установка стерилізаційна	1	8	0,09	0,02	0,896	ВВГнгд-5×2,5
Машина етикетувальна	1	8	0,09	0,024	0,336	ВВГнгд-5×2,5
Візок вантажний	1	5	0,09	0,057	2,814	ВВГнгд-5×4
Установка вентиляційна	1	8	0,09	0,005	0,056	ВВГнгд-5×2,5

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

Для вибору низьковольтної апаратури розрахуємо струми короткого замикання в мережі 400 В наближеним зведенням в іменованих одиницях:

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

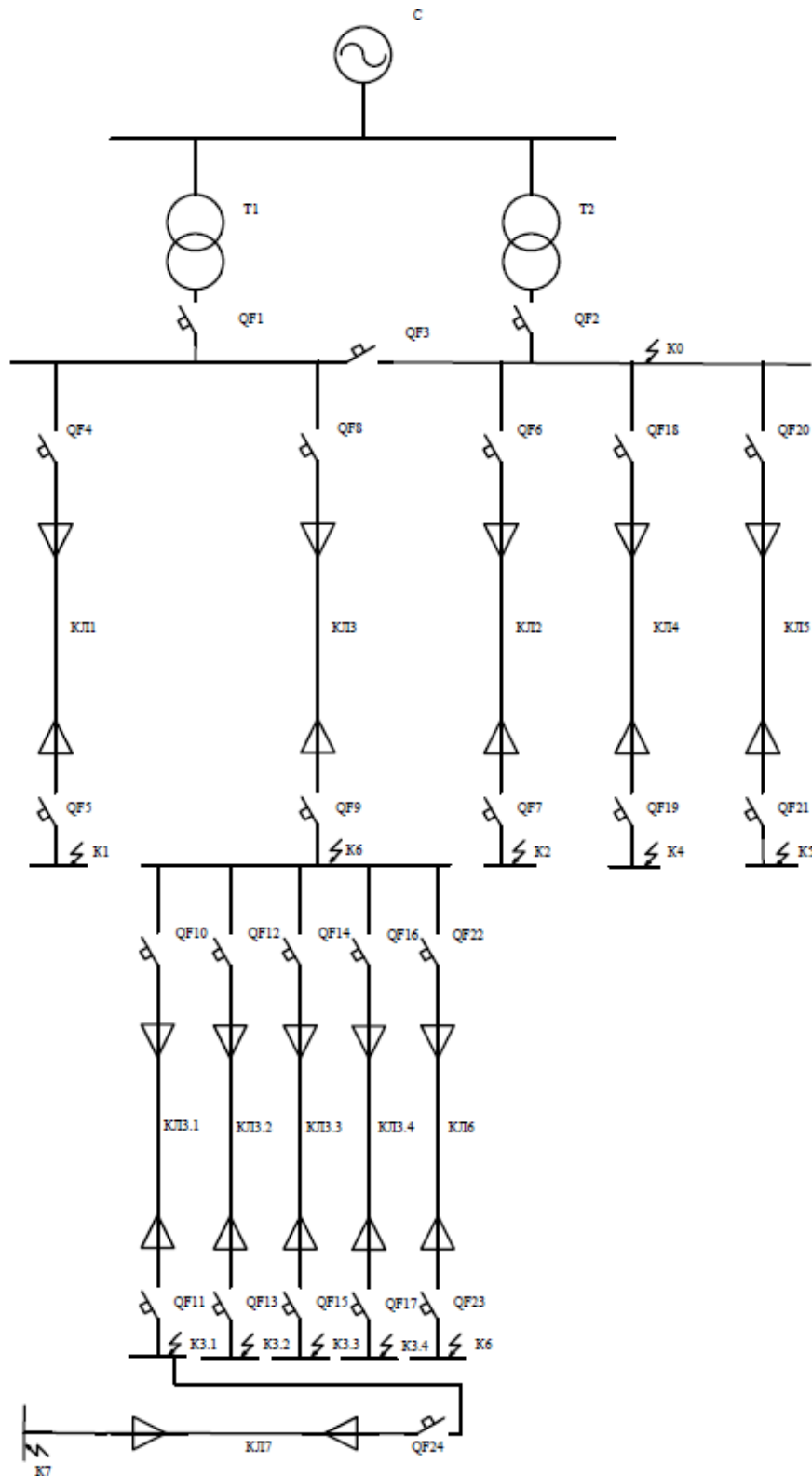


Рисунок 2.6 – Схема короткозамкненого кола НВ мережі

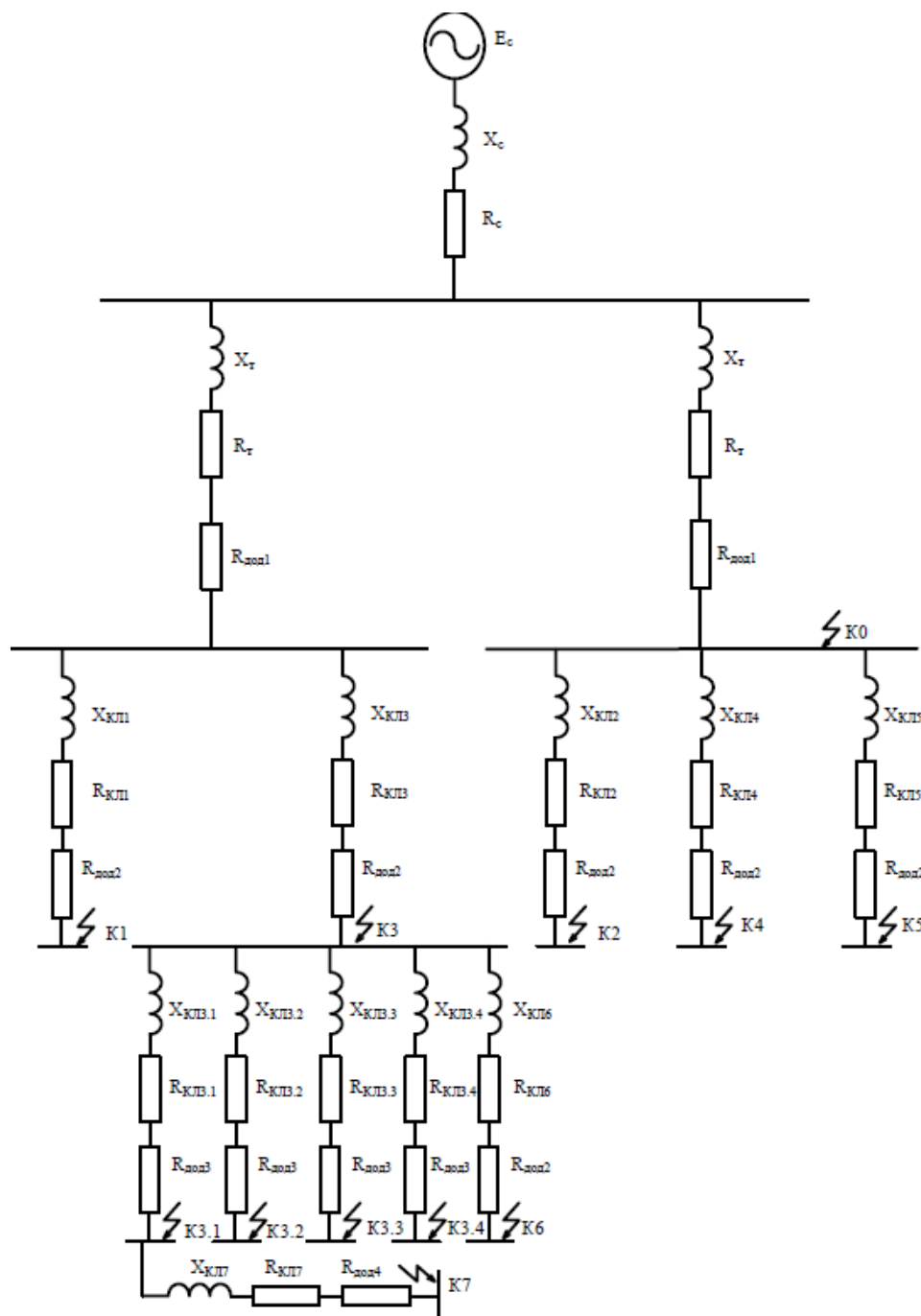


Рисунок 2.7 – Заступна схема НВ мережі

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

Показник	Одиниці вимірювання	Значення
U_6	кВ	0,4
$I_{к10}$	кА	2,64
$U_{с10}$	кВ	10,5
$S_{ном.Т}$	кВА	630
ΔP_k	кВт	8,5
u_k	%	6

Таблиця 2.21 – Визначення струмів КЗ в точці К0

Показник	Одиниці вимірювання	Значення
R_c	Ом	1,090
X_c	Ом	2,297
$\dot{R}_c$	МОм	1,581
$\dot{X}_c$	МОм	3,333
$\dot{R}_T$	МОм	1,713
$\dot{X}_T$	МОм	7,619
$\dot{R}_{рез0}$	МОм	18,295
$\dot{X}_{рез0}$	МОм	10,952
$Z_{рез0}$	МОм	21,322
I_K	кА	10,831
k_y	–	1,05
i_y	кА	16,083

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	0,048	0,125	6,000	0,059	2,832
ТП – ВРП2	0,026	0,125	3,300	0,059	1,558
ТП – ВРП3	0,068	0,125	8,500	0,059	4,012
ВРП3 – РП3.1	0,050	1,33	66,500	0,07	3,500
ВРП3 – РП3.2	0,056	1,33	74,480	0,07	3,920
ВРП3 – РП3.3	0,065	1,33	86,450	0,07	4,550
ВРП3 – РП3.4	0,068	0,95	64,600	0,06	4,080
ТП – РП4	0,068	0,22	14,872	0,06	4,056
ТП – РП5	0,092	0,125	11,500	0,059	5,428
ВРП3 – РП6	0,075	1,33	99,484	0,07	5,236
РП3.1 – Рmax	0,057	5	285,000	0,09	5,130

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
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
К1	20	29,29	13,78	32,38	7,133	1	10,088	26,4	4×240
К2	20	26,59	12,51	29,39	7,858	1	11,113	29,1	4×240
К3	20	31,79	14,96	35,14	6,572	1	9,294	24,3	4×240
К3.1	25	103,29	18,46	104,93	2,201	1	3,112	8,2	5×25
К3.2	25	111,27	18,88	112,87	2,046	1	2,894	7,6	5×25
К3.3	25	123,24	19,51	124,78	1,851	1	2,617	6,9	5×25
К3.4	25	107,30	19,04	108,98	2,119	1	2,997	7,8	5×35
К4	20	38,17	15,01	41,01	5,631	1	7,964	20,9	4×150

Продовження таблиці 2.23

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
K5	20	34,79	16,38	38,46	6,005	1	8,492	22,2	4×240
K6	20	131,28	20,20	132,82	1,739	1	2,459	6,4	4×25
K7	30	393,29	23,59	394,00	0,586	1	0,829	2,2	5×4

2.12.3. Вибір трансформаторів струму

Трансформатори струму, вибрані з [21], мають одну вторинну обмотку, призначену для підключення приладів обліку та вимірювання:

лічильники електричної енергії комерційного та технічного обліку

НІК 2307 АПЗТ, вибрані з [20];

амперметри АСКО – УКРЕМ 2000А.

$$I_{\text{норм}} = \frac{1314,26}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 2} = 998,4 \text{ А};$$

$$I_{\text{max}} = \frac{1314,26}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 1996,81 \text{ А}.$$

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:

$$TШ - 0,66 \text{ 2000 / 5}$$

$$0,38 < 0,66 \text{ кВ};$$

$$998,4 < 2000 \text{ А};$$

$$1996,81 < 2000 \text{ А};$$

$$16,083 < 51 \text{ кА};$$

$$29,33 < 100 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

$$0,495 < 5,0 \text{ Ом.}$$

Технічний облік :

$$T - 0,66 \cdot 400 / 5$$

$$0,38 < 0,66 \text{ кВ;}$$

$$355,46 < 400 \text{ А;}$$

$$7,964 < 51 \text{ кА;}$$

$$7,93 < 100 \text{ кА}^2 \cdot \text{с;}$$

$$0,495 < 5,0 \text{ Ом.}$$

2.12.4. Вибір автоматичних вимикачів

Вибір автоматичних вимикачів здійснено 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
1	2	3	4	5	6	7	8	9
QF1	e.industrial.acb.2000D.2000	0,4	2000	80	0,4	998,40	1996,81	10,831
QF2	e.industrial.acb.2000D.2000	0,4	2000	80	0,4	998,40	1996,81	10,831
QF3	e.industrial.acb.2000D.2000	0,4	2000	80	0,4	998,40	1996,81	10,831
QF4	BA 88 – 40	0,4	400	35	0,4	177,73	355,46	7,133
QF5	BA 88 – 40	0,4	400	35	0,4	177,73	355,46	7,133
QF6	BA 88 – 37	0,4	315	35	0,4	152,35	304,71	7,858
QF7	BA 88 – 37	0,4	315	35	0,4	152,35	304,71	7,858
QF8	BA 88 – 37	0,4	315	35	0,4	155,07	310,14	6,572
QF9	BA 88 – 37	0,4	315	35	0,4	155,07	310,14	6,572
QF10	BA 88 – 33	0,4	80	35	0,4	32,59	65,18	2,201
QF11	BA 88 – 33	0,4	80	35	0,4	32,59	65,18	2,20
QF12	BA 88 – 33	0,4	80	35	0,4	32,59	65,18	2,046
QF13	BA 88 – 33	0,4	80	35	0,4	32,59	65,18	2,05
QF14	BA 88 – 33	0,4	80	35	0,4	34,58	69,17	1,851

Продовження таблиці 2.24

1	2	3	4	5	6	7	8	9
QF15	BA 88 – 33	0,4	80	35	0,4	34,58	69,17	1,85
QF16	BA 88 – 33	0,4	100	35	0,4	45,97	91,94	2,119
QF17	BA 88 – 33	0,4	100	35	0,4	45,97	91,94	2,12
QF18	BA 88 – 37	0,4	250	35	0,4	114,70	229,41	5,631
QF19	BA 88 – 37	0,4	250	35	0,4	114,70	229,41	5,631
QF20	BA 88 – 37	0,4	315	35	0,4	152,21	304,41	6,005
QF21	BA 88 – 37	0,4	315	35	0,4	152,21	304,41	6,005
QF22	BA 88 – 35	0,4	125	35	0,4	101,09	101,09	1,739
QF23	BA 88 – 35	0,4	125	35	0,4	101,09	101,09	1,739
QF24	BA 88 – 32	0,4	32	25	0,4	30,38	30,38	0,586

2.12.5. Вибір рубильників

Вибір рубильників здійснено з [23]:

$P_E 19 - 44; 2000 \text{ A};$

$0,38 < 0,66 \text{ кВ};$

$998,4 < 2000 \text{ A};$

$1996,81 < 2000 \text{ A};$

$16,083 < 50 \text{ кА};$

$29,33 < 900 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$

РОЗДІЛ 3

ПРОЄКТУВАННЯ ОСВІТЛЮВАЛЬНОЇ МЕРЕЖІ ЦЕХУ

Розрахунок освітлювальних навантажень в п.2.2 виконано наближеним методом питомого навантаження. Визначимо точну кількість джерел світла для освітлення дільниці 3.1, 3.2 цеху соків та пюре згідно з методом коефіцієнта використання світлового потоку. Розрахуємо їх навантаження та мережу живлення.

$$\varphi = \frac{54 \cdot 30}{8 \cdot (54 + 30)} = 2,41;$$

$$K_B = 0,75; z = 1,2; k_3 = 1,3; E_{\min} = 300 \text{ лк};$$

$$\rho_c = 0,5; \rho_{ct} = 0,3;$$

$$F_L = \frac{300 \cdot (54 \cdot 30) \cdot 1,3 \cdot 1,2}{0,75} = 13416 \text{ лм};$$

обираємо з [4] світильники VELMAX V-LHB, 150W, LED, 13500Lm

$$\Rightarrow N = 60 \text{ (в 5 рядів по 12 світильників вкожному);}$$

$$P_O = 60 \cdot 150 \cdot 10^{-3} = 9 \text{ кВт};$$

$$P_{p,O} = 1,2 \cdot 0,9 \cdot 9 = 9,72 \text{ кВт}; Q_{p,O} = 9,72 \cdot 0,33 = 3,21 \text{ кВАр.}$$

$$q = \frac{150 \cdot (2,8 + 4,4 \cdot 11) \cdot 10^{-3}}{14 \cdot 2,5} = 0,22 \text{ мм}^2 < 2,5 \text{ мм}^2;$$

$$I_{po} = \frac{150 \cdot 12}{220 \cdot 0,95} = 8,61 \text{ А} \Rightarrow \text{щит освітлення ЩРН – П – 12};$$

$$\text{провід ПВС – } 3 \times 2,5; 8,61 < 26 \text{ А};$$

$$\text{до щита } I_p = \frac{9,72 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,85} = 17,37 \text{ А} \Rightarrow \text{кабель АВВГнгд – } 5 \times 4; 17,37 < 27 \text{ А};$$

$$\Delta u = \frac{9,72 \cdot 1,2}{83 \cdot 10} = 0,02\% < 5\%.$$

					ЛНТУ.971032.000 ПЗ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.	Бесарабчук О.С.				Проекткування системи електропостачання кондитерської фабрики встановленою потужністю 1400 кВт. Пояснювальна записка.	Літ.	Арк.
Перевір.	Грицюк І.В.						32
							1
Н. контр.	Ващелюк Ю.І.					ФАБЕ, гр.ЕЕ-42	
Затверд.	Волинець В.І.						

РОЗДІЛ 4

САПР

Усі розрахунки в даному проєкті автоматизовані у середовищі Microsoft Excel 2003. Нижче наведено приклад автоматизації вибору силових трансформаторів, а також пристроїв компенсації реактивної потужності на шинах 10 та 0,4 кВ.

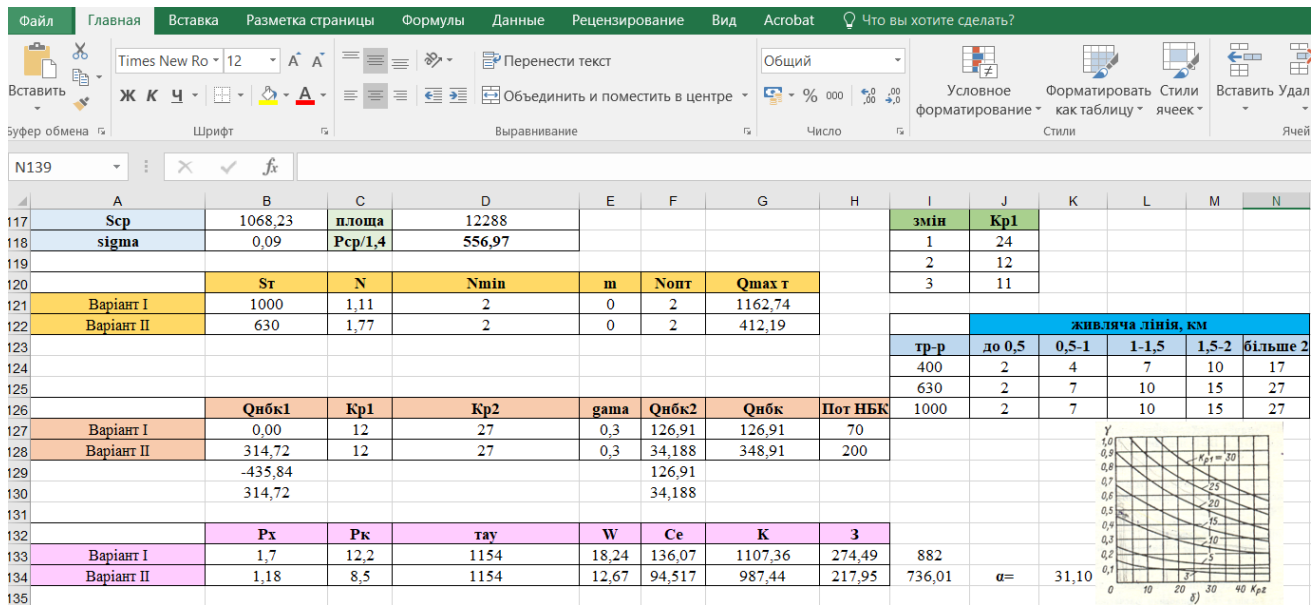


Рисунок 4.1 – Вибір силових трансформаторів з врахуванням НБК

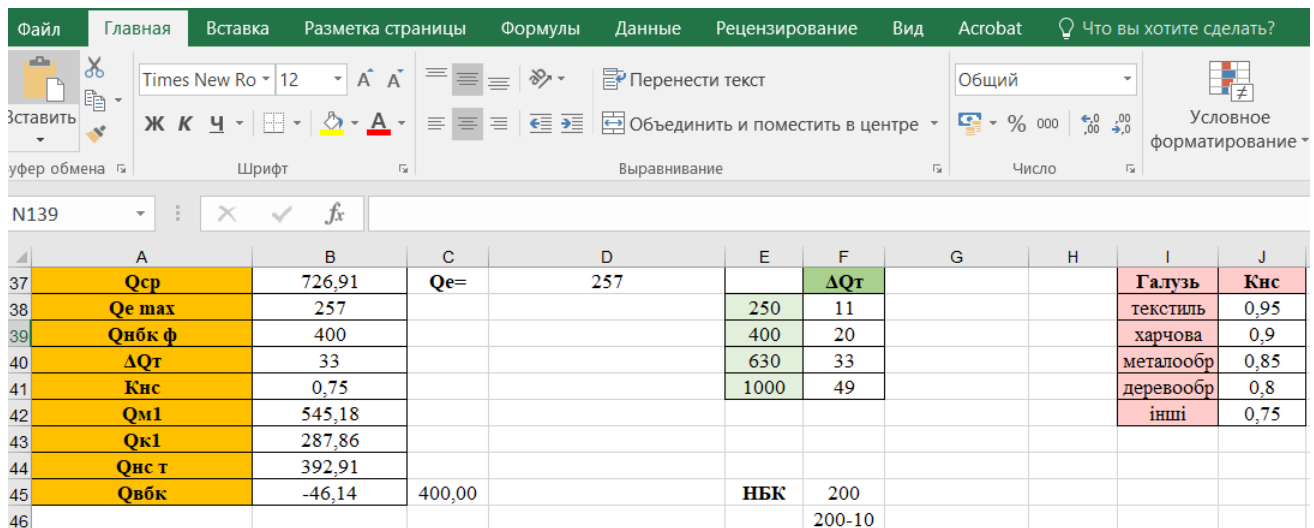


Рисунок 4.2 – Вибір ВБК

ЛНТУ.971032.000 ПЗ

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.	Бесарабчук О.С.				Проектування системи електропостачання кондитерської фабрики встановленою потужністю 1400 кВт. Пояснювальна записка.		
Перевір.	Грицюк І.В.						
Н. контр.	Вашелюк Ю.І.						
Затверд.	Волинець В.І.						
					Літ.	Арк.	Аркушів
						33	1
					ФАБЕ, гр.ЕЕ-42		

РОЗДІЛ 5

ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА

В усіх цехах кондитерської фабрики влаштовано контури заземлення для захисту персоналу від ураження електричним струмом. Розрахуємо такий контур для цеху соків та пюре [24]:

$$l = (104 + 42) \cdot 2 = 292 \text{ м};$$

$$R_{\Gamma} = \frac{180}{2 \cdot 3,14 \cdot 292} \cdot \ln \frac{292^2}{0,4 \cdot 0,04} = 1,6 \text{ Ом};$$

$$R_H = 10 \text{ Ом};$$

$$R_B = \frac{1,6 \cdot 10}{1,6 + 10} = 1,37 \text{ Ом};$$

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

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

$$n_B = \frac{55}{1,37 \cdot 0,65} = 61,6 \text{ шт} \Rightarrow n_B = 62 \text{ шт};$$

$$R_{шт} = \frac{55 \cdot 1,6}{0,3 \cdot 55 + 0,65 \cdot 62 \cdot 1,6} = 1,08 \text{ Ом} < 10 \text{ Ом}.$$

					ЛНТУ.971032.000 ПЗ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Проектування системи електропостачання кондитерської фабрики встановленою потужністю 1400 кВт. Пояснювальна записка. Літ. Арк. Аркушів 34 1 ФАБЕ, гр.ЕЕ-42		
Розроб.	Бесарабчук О.С.						
Перевір.	Грицюк І.В.						
Н. контр.	Ващелюк Ю.І.						
Затверд.	Волинець В.І.						

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

В ході проєктування електропостачання кондитерської фабрики прийнято технічні рішення, завдяки яким дана система відповідає діючим вимогам в галузі електроенергетики, зазначеним в [2]:

1. Оскільки приймачі електричної енергії належать переважно до II категорії надійності, зовнішнє живлення підприємства виконане двома кабельними лініями від різних секцій шин існуючого розподільного пункту напругою 10 кВ; підстанцію виконано двотрансформаторною; лінії 0,4 кВ, від яких отримують живлення виробничі цехи та каналізаційно-насосна станція також виконані дволанковими.

2. Для забезпечення належної якості електричної енергії застосовано централізовану компенсацію реактивної потужності на шинах 400 В підстанції. Таким чином, вдалося розвантажити кабельні лінії зовнішнього живлення 10 кВ та трансформатори підстанції від частини реактивної потужності, а отже, зменшити втрати напруги. Крім того, передбачено пристрої перемикання без збудження в обмотках високої напруги силових трансформаторів для регулювання напруги в мережі в межах 5%.

3. Перемикання живлення між кабельними лініями напругою 10 кВ виконується за допомогою ремонтної перемички, встановленої між шинами високої напруги трансформаторної підстанції; перемикання між трансформаторами – за допомогою секційної перемички, встановленої між шинами низької напруги трансформаторної підстанції.

4. Вибрано найбільш економічно доцільний варіант для перерізів кабельних ліній 10 кВ та потужностей силових трансформаторів на основі проведеного техніко-економічного порівняння.

					ЛНТУ.971032.000 ПЗ	Арк.
						35
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/vyrobnyststvo/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.