

КВАЛІФІКАЦІЙНИЙ ПРОЄКТ
ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «БАКАЛАВР»

**«Електропостачання заводу продтоварів встановленою
потужністю 1650 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-41

Гладун Ілля Юрійович

(підпис)

Керівник: асистент

Вітер Дмитро Володимирович

(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

Гладуну Іллі Юрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційного проекту: Електропостачання заводу продтоварів
встановленою потужністю 1650 кВт

Керівник проекту: асистент Вітер Дмитро Володимирович
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 механізму підйому вантажного візка.
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 двигунами вантажного візка.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис	
		завдання видав	завдання прийняв
1. Коротка характеристика об'єкту проектування	Вітер Д.В.		
2. Основні проектні рішення	Вітер Д.В.		
3. Розрахунок механізму підйому вантажного візка	Вітер Д.В.		
4. САПР	Вітер Д.В.		
5. Електробезпека	Вітер Д.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 механізму підйому вантажного візка	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 двигунами вантажного візка		

Здобувач вищої освіти

(підпис)

(Гладун І.Ю.)
(прізвище, ініціали)

Керівник

кваліфікаційного проекту

(підпис)

(Вітер Д.В.)
(прізвище, ініціали)

АНОТАЦІЯ

Гладун І.Ю. Електропостачання заводу продтоварів встановленою потужністю 1650 кВт. Рукопис.

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

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

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

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

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

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

ANNOTATION

I. Gladun. Power supply of the food factory with an installed capacity of 1650 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.....	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.971006.000 ПЗ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Електропостачання заводу продтоварів встановленою потужністю 1650 кВт. Пояснювальна записка.		
Розроб.		Гладун І.Ю.					
Перевір.		Вітер Д.В.					
Н. контр.		Ващелюк Ю.І.					
Затверд.		Волинець В.І.			ФАБЕ, гр.ЕЕ-41		
					Літ.	Арк.	Аркушів
						6	73

2.12.4. Вибір автоматичних вимикачів.....	30
2.12.5. Вибір рубильників.....	31
РОЗДІЛ 3 РОЗРАХУНОК МЕХАНІЗМУ ПІДЙОМУ ВАНТАЖНОГО ВІЗКА.....	32
РОЗДІЛ 4 САПР.....	36
РОЗДІЛ 5 ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА	39
ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ.....	40
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	41
ДОДАТОК 1 ОСНОВНІ ПРОЄКТНІ РІШЕННЯ.....	44
ДОДАТОК 2 РОЗРАХУНОК МЕХАНІЗМУ ПІДЙОМУ ВАНТАЖНОГО ВІЗКА.....	65
ДОДАТОК 3 ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА.....	72

ВСТУП

Системам електропостачання харчових промислових підприємств властиві такі особливості:

до складу електроприймачів входять переважно трифазні установки змінного струму та освітлювальні установки;

категорія надійності електропостачання визначається технічними умовами на приєднання: згідно з [1,2] основна маса приймачів належить до II категорії надійності, оскільки харчове виробництво містить такі технологічні цикли, зупинка яких може призвести до значних матеріальних збитків (недовідпуск, псування продукції) та навіть пошкодження обладнання;

переважна більшість електроустановок працюють в повторно-короткочасному режимі, тобто мають змінний графік електричного навантаження; крім того, присутня частка приймачів, що працюють в тривалому режимі, тобто мають постійний графік навантаження;

реактивна складова змінного струму, що споживається приймачами підприємства та передається його мережами, створює перевантаження мереж та може призвести до погіршення якості електричної енергії; тому електрична система потребує встановлення засобів компенсації цієї складової;

передавання реактивної потужності також перевантажує мережі постачальника; в зв'язку з цим при укладанні договору на підключення постачальником обмежується реактивне споживання підприємства у години максимуму активних навантажень;

силові приймачі харчових підприємств переважно є трифазними (окрім джерел світла), тобто створюють симетричні навантаження в електричній мережі;

нейтралі мереж напругою до 1 кВ виконують глухозаземленими, нейтралі мереж 10 – 35 кВ – ізольованими.

РОЗДІЛ 1

КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ПРОЄКТУВАННЯ

Структуру виробництва заводу продтоварів наведено на рисунку 1.1. До складу підприємства входять цехи з виробництва різних видів харчової продукції (блактний колір на рис.1.1), допоміжним об'єктом є склад (жовтий колір).

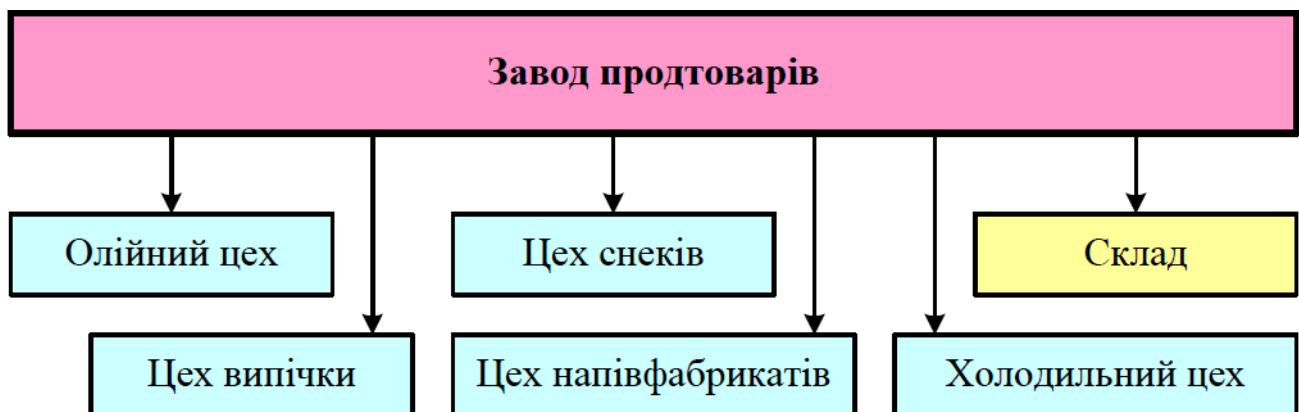


Рисунок 1.1 – Структура виробництва заводу продтоварів

Цех випічки спеціалізується на виготовленні борошняних кондитерських виробів, до складу яких входять торти, тістечка, кекси, рулети, цукрове та вівсяне печиво. До складу цеху входять три дільниці: дільниця тортів та тістечок; дільниця кексів та рулетів; дільниця печива.

Розрахунки мереж напругою до 1 кВ виконуватимемо для дільниці печива цеху випічки. Основні стадії виробничого процесу печива наведено на рисунку 1.2.

Усі електроустановки цеху належать до II категорії надійності.

					ЛНТУ.971006.000 ПЗ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Гладун І.Ю.			Електропостачання заводу продтоварів встановленою потужністю 1650 кВт. Пояснювальна записка.	Літ.	Арк.
Перевір.		Вітер Д.В.					9
						Аркушів	3
Н. контр.		Ващелюк Ю.І.				ФАБЕ, гр.ЕЕ-41	
Затверд.		Волинець В.І.					



Рисунок 1.2 – Основні стадії виробничого процесу печива

Таблиця 1.1 – Характеристики цехів заводу

Назва об'єкту	Розміри будівлі			Встановлена потужність, кВт
	Довжина, м	Ширина, м	Площа будівлі, м ²	
1. Олійний цех	60	42	2520	360
2. Цех випічки	96	48	4608	365
3. Цех напівфабрикатів	60	36	2160	350
4. Цех <u>снеків</u>	72	36	2592	255
5. Холодильний цех	24	36	864	185
6. Склад	24	36	864	135
Разом			13608	1650

Таблиця 1.2 – Вихідні дані

Назва параметру	Одиниці вимірювання	Значення
Кількість змін	–	2
Тривалість роботи електрообладнання в рік τ	год.	4250
Час використання максимального навантаження $T_{\max}$	год.	2350
Джерело живлення	–	РП-10 кВ
Відстань до джерела l	км	4,3
Потужність короткого замикання на шинах джерела живлення $S_{\text{кз}}$	МВА	48,5
Вхідна реактивна потужність $Q_{\text{е max}}$	<u>кВАр</u>	270
Загальна територія підприємства	м ²	34272
Категорія надійності споживачів:		
I (пристрої пожежної сигналізації, евакуаційне освітлення)	%	0,4
II (приймачі основних виробничих <u>цехів</u>)	%	72,5
III (приймачі складу, приймачі, що виконують допоміжні функції)	%	27,1

РОЗДІЛ 2

ОСНОВНІ ПРОЄКТНІ РІШЕННЯ

2.1. Розрахунок силових електричних навантажень

Розрахунок силових навантажень виконуємо за методом впорядкованих діаграм на основі даних про склад та характеристики приймачів кожного цеху. До цих даних належать: тип та кількість приймачів; встановлена потужність силового приймача; коефіцієнт використання (характер навантаження); коефіцієнт потужності.

Розрахунки виконуємо для кожного цеху окремо (докладно для дільниці печива цеху випічки) та для заводу продтоварів в цілому.

Таблиця 2.1 – Розрахунок навантажень силових приймачів підприємства

Номер цеху	P_n , кВт	Середні навантаження за найбільш завантажену зміну			Розрахункові навантаження		
		$P_{ср.зм}$, кВт	$Q_{ср.зм}$, кВАр	$S_{ср.зм}$, кВА	P_p , кВт	Q_p , кВАр	S_p , кВА
1	360	162,00	160,38	227,96	202,50	176,42	268,57
2	365	165,76	163,74	232,99	204,99	35,96	208,12
2.1	42	19,96	19,31	27,77	25,76	19,31	32,19
2.2	41	16,13	15,37	22,28	20,33	16,65	26,28
2.3	139	63,80	62,53	89,33	76,56	0,00	76,56
2.4	143	65,87	66,53	93,62	82,34	0,00	82,34
3	350	161,00	193,20	251,49	225,40	212,52	309,79
4	255	119,85	121,05	170,34	153,41	133,15	203,14
5	185	86,95	86,08	122,35	126,08	94,69	157,68
6	135	44,55	45,44	63,64	106,92	49,99	118,03
Всього	1650	740,11	769,89	1068,78	1019,29	702,73	1265,31

					ЛНТУ.971006.000 ПЗ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Гладун І.Ю.			Електропостачання заводу продтоварів встановленою потужністю 1650 кВт. Пояснювальна записка.	Літ.	Арк.
Перевір.		Вітер Д.В.					
						12	20
Н. контр.		Ващелюк Ю.І.				ФАБЕ, гр.ЕЕ-41	
Затверд.		Волинець В.І.					

Таблиця 2.2 – Розрахунок силових навантажень дільниці печива цеху випічки

Назва електроприймача	P_n , кВт	n	P_n , кВт	$K_{вик}$	$\cos \phi$	m	$\eta_{эф}$	$K_{кор}$	Розрахункові навантаження			
									$P_{ср.зм.}$, кВт	$Q_{ср.зм.}$ квар	$P_{р.}$, кВт	$Q_{р.}$ квар
	РП2.1											
	Приймачі із змінним графіком навантаження											
Сито	2,5	3	7,5	0,42	1,02	1,8	11	1,35	3,15	3,21	22,36	16,79
Вловлювач магнітний	3	3	9	0,42	1,02				3,78	3,86		
Мікромлин швидкохідний	3,5	2	7	0,45	1,01				3,15	3,18		
Змішувач	4,5	3	13,5	0,48	1,01				6,48	6,54		
	Приймачі із постійним графіком навантаження											
Вентилятор	2,5	2	5	0,68	0,74				3,40	2,52	3,40	2,52
Всього РП2.1		13	42						19,96	19,31	25,76	19,31
	РП2.2											
	Приймачі із змінним графіком навантаження											
Бак водомірно-змішувальний	1,1	2	2,2	0,31	1,03	4,6	14	1,33	0,68	0,70	16,93	14,14
Машина місильна	5	2	10	0,4	1,02				4,00	4,08		
Машина формувальна	4,5	2	9	0,4	1,02				3,60	3,67		
Піч електрична	5	2	10	0,42	0,99				4,20	4,16		
Візок вантажний	4,9	1	4,9	0,05	0,98				0,25	0,24		
	Приймачі із постійним графіком навантаження											
Вентилятор	2,5	2	5	0,68	0,74				3,40	2,52	3,40	2,52
Всього РП2.2		11	41,1						16,13	15,37	20,33	16,65
ВСЬОГО		24	83,1						36,09	34,68	46,08	35,96

2.2. Розрахунок освітлювальних навантажень

Розрахунок освітлювальних навантажень виконуємо на основі даних про площу, висоту кожної будівлі, розряд зорової роботи та нормативну освітленість в кожному цеху. З [1] визначаємо питоме освітлювальне навантаження та розраховуємо навантаження освітлювальних установок кожного цеху за методом питомої потужності.

Також визначаємо сумарне освітлювальне навантаження заводу продтоварів в цілому з урахуванням освітлення території.

Таблиця 2.3 – Вибір джерел світла

Номер цеху	Розряд зорової роботи	$E_{\text{норм}}^*$ лк	Тип світильника	F, лм	P, кВт
1	Va	300	GreenUp Highbay G2	21000	154
2	Va	300	GreenUp Highbay G2	21000	154
3	Va	300	GreenUp Highbay G2	21000	154
4	Va	300	GreenUp Highbay G2	21000	154
5	Va	300	GreenUp Highbay G2	21000	154
6	VIIIб	75	Coreline High-Bay Gen 4	10000	69

Таблиця 2.4 – Розрахунок освітлювального навантаження підприємства

Номер цеху	F, м ²	h, м	$P_{\text{пит}}, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$	$P_o,$ кВт	$K_{\text{пра}}$	K_n	tgφ	$P_{p.o},$ кВт	$Q_{p.o},$ квар
1	2520	8	3,34	8,42	1,2	0,9	0,33	9,09	3,00
2	4608	8	3,34	15,39	1,2	0,9	0,33	16,62	5,49
3	2160	8	3,34	7,21	1,2	0,9	0,33	7,79	2,57
4	2592	8	3,34	8,66	1,2	0,9	0,33	9,35	3,09
5	864	8	3,34	2,89	1,2	0,9	0,33	3,12	1,03
6	864	5	3,06	2,64	1,2	0,9	0,33	2,86	0,94
Всього	13608			45,21				48,83	16,11

Для вуличного освітлення приймаємо з [4] джерела світла Philips StreerStar, 27 Вт, 3500 лм:

$$\sum \varepsilon = \frac{10^3 \cdot 2,75 \cdot 0,85 \cdot 11}{3500} = 7,35 \text{ лк};$$

$$\frac{L}{h} = 10; L = 10 \cdot 11 = 110 \text{ м};$$

$$L_{\Sigma} = 2976 \text{ м}; N = \frac{2976}{110} = 27,1 \Rightarrow N_{\text{прийн}} = 28;$$

$$P_{\text{вст.зовн}} = 28 \cdot 27 \cdot 10^{-3} = 0,76 \text{ кВт};$$

$$P_{\text{розр.зовн}} = 1,2 \cdot 0,9 \cdot 0,76 = 0,82 \text{ кВт};$$

$$Q_{\text{розр.зовн}} = 0,82 \cdot 0,33 = 0,27 \text{ кВАр}.$$

2.3. Визначення результуючих навантажень

Розраховуємо результуючі навантаження на основі отриманих в п.2.1 силових навантажень та отриманих в п.2.2 освітлювальних навантажень. Враховуємо навантаження 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	368,42	171,09	163,38	236,57	211,59	179,42	277,42
2	380,39	182,38	169,22	248,80	221,61	41,45	225,45
2.1	42,00	19,96	19,31	27,77	25,76	19,31	32,19
2.2	41,10	16,13	15,37	22,28	20,33	16,65	26,28
2.3	138,70	63,80	62,53	89,33	76,56	0,00	76,56
2.4	143,20	65,87	66,53	93,62	82,34	0,00	82,34
3	357,21	168,79	195,77	258,49	233,19	215,09	317,24
4	263,66	129,20	124,13	179,17	162,76	136,24	212,25
5	187,89	90,07	87,11	125,30	129,19	95,72	160,79
6	137,64	47,41	46,38	66,32	109,78	50,93	121,01
Освітлення території	0,76	0,82	0,27	0,86	0,82	0,27	0,86
Всього	1695,96	789,75	786,27	1115,51	1068,93	719,11	1315,03

2.4. Побудова картограми навантажень та визначення теоретичного центру навантажень

Картограму електричних навантажень у вигляді сукупності кіл, центр яких співпадає з геометричним центром цеху, а розмір відповідає сумарному навантаженню (п.2.4), будуємо на генеральному плані заводу.

Також визначаємо місце встановлення трансформаторної підстанції в точці, що відповідає центру електричних навантажень.

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	42	159	8887	33643	7536	28527	30	15
2	150	156	33241	34571	6217	6466	27	27
3	42	66	9794	15391	9034	14196	32	12
4	144	30	23437	4883	19618	4087	26	21
5	204	102	26356	13178	19526	9763	23	9
6	24	30	2635	3293	1222	1528	20	9
Всього			104349	104958	63154	64568		
X_{Σ}	93							
Y_{Σ}	94							

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

Для визначення діапазону рекомендованих потужностей силових трансформаторів підстанції розраховуємо питому густину повного навантаження заводу. Вибираємо з [5] трансформатори та їх характеристики. Розраховуємо максимальну реактивну потужність, яку доцільно передавати через кожен трансформатор.

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	0,08	1000	1,13	2	0	2	1155,98
II		630	1,79	2	0	2	392,70

Розраховуємо основну, додаткову та сумарну потужність конденсаторних батарей напругою 0,4 кВ та обираємо їх з [6].

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	0,31	0	166,27	80
II	393,57	12	27	0,31	0	395,67	200

Порівнюємо затрати на спорудження та обслуговування трансформаторної підстанції для двох варіантів.

Таблиця 2.9 – Техніко-економічне порівняння можливих варіантів встановлення

Варіант встановлення	ΔP_x , кВт	ΔP_K , кВт	τ , год	W , тис.кВт·год	C_e , тис.грн	K , тис.грн	Z , тис.грн
I	1,7	12,2	1129	17,825	137,249	1020,00	264,75
II	1,18	8,5	1129	12,381	95,335	972,08	216,84

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

Перевіряємо вибрані трансформатори за перевантажувальною здатністю :

$$1,4 \cdot 630 = 882 \text{ кВА} > \frac{2 \cdot (1 - 0,271) \cdot 1115,51}{2} = 813,2 \text{ кВА}.$$

2.6. Компенсація реактивної потужності

Для визначення необхідності встановлення батарей конденсаторів напругою 10 кВ враховуємо значення реактивної потужності, дозволеної постачальником для споживання в режимі максимального активного навантаження та заданої в таблиці 1.2.

Таблиця 2.10 – Розрахунок компенсації реактивної потужності

Показник	Од.вимір.	Значення
$Q_{\text{ср.зм}\Sigma}$	кВАр	786,27
$Q_{\text{еmax}}$	кВАр	270
$Q_{\text{НБК ф}}$	кВАр	400
ΔQ_T	кВАр	33
$K_{\text{НС}}$	—	0,90
Q_{M1}	кВАр	707,64
Q_{K1}	кВАр	437,64
$Q_{\text{НС Т}}$	кВАр	452,27
$Q_{\text{ВБК}}$	кВАр	103,64

$Q_{\text{ВБК}} = 103,64 \text{ кВт}$ недоцільно компенсувати на рівні напруги 10 кВ.

Додаємо $Q_{\text{ВБК}}$ до потужності вже встановлених низьковольтних батарей:

$$Q_{\text{НБК,рез}} = 2 \cdot 200 + 103,64 = 503,64 \text{ кВт} \Rightarrow 2 \times \text{ККУ} - 0,4 - 250 - 10 - 21 \text{ УЗ}.$$

2.7. Визначення електричних навантажень на вищих рівнях

Навантаження на рівні 10 кВ трансформаторної підстанції розраховуємо на основі навантажень на рівні 0,4 кВ (п.2.3). Враховуємо втрати в трансформаторах та потужність $Q_{\text{НБК}}$, визначену в п.2.6.

Таблиця 2.11 – Розрахунок навантажень на рівні 10 кВ

Розрахункове навантаження	Одиниці вимірювання	Значення
P_{p3}	кВт	789,75
Q_{p2}	кВАр	786,27
$Q_{\text{НБК}}$	кВАр	500
P_{p3}	кВт	789,75
Q_{p3}	кВАр	286,27
S_{p3}	кВА	840,04
ΔP_T	кВт	16,80
ΔQ_T	кВАр	84,00
P_{p4}	кВт	806,55
Q_{p4}	кВАр	370,27
S_{p4}	кВА	887,49

2.8. Проектування мережі живлення підприємства

Для вибору з [8] силових кабелів, якими забезпечуватиметься живлення трансформаторної підстанції, розраховуємо струм навантаження в нормальному режимі роботи. Визначаємо з [7] значення економічної густини струму з врахуванням типу кабелів та річної тривалості використання максимуму навантаження (табл.1.2).

Обрані кабелі перевіряємо за завантаженням в післяаварійному режимі роботи та втратами напруги.

$$j_e = 1,9 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2};$$

$$I_{\text{норм}} = \frac{887,49}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 2} = 25,62 \text{ А}; I_{\text{П АВ}} = \frac{887,49}{\sqrt{3} \cdot 10} = 51,24 \text{ А};$$

$$F_e = \frac{25,62}{1,9} = 13,48 \text{ мм}^2; \text{розглядаємо перерізи від } 35 \text{ мм}^2 \text{ включно.}$$

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	108,15	1,08	2,16
50	169	174,1	0,58	0,086	98,38	0,98	1,97
70	211	217,3	0,45	0,084	78,31	0,78	1,57
95	260	267,8	0,31	0,083	56,82	0,57	1,14

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	0,174	135,17	4,089	35,551	4153,8	554,776
50	0,147	170,82	3,700	32,168	5091,2	668,568
70	0,118	206,59	2,871	24,958	5297,6	687,158
95	0,096	216,10	1,978	17,193	6183,4	790,118

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

2.9. Проектування внутрішньої розподільної мережі

Тип та характеристики розподільних пристроїв [8, 9], встановлених у цехах заводу, обираємо за значенням струмів післяаварійного режиму та кількістю приєднань.

Тип та характеристики силових кабелів напругою 0,4 кВ АВВГ – 0,4, АВВГнгд – 0,4, від яких отримують живлення обрані розподільні пристрої обираємо з [11] за значеннями струмів післяаварійного режиму та перевіряємо за післяаварійним перевантаженням та втратами напруги.

Таблиця 2.14 – Вибір розподільних пристроїв 0,4 кВ

Назва РП	$S_{p\Sigma}$, кВА	$I_{п.ав}$, А	Тип розподільного пристрою	$I_{доп.РП}$, А	$n_{прийм}$	$n_{мод}$
ВРП1	277,42	421,49	ЕУ – ВРП2 – 1 – 630 У4	630	4	4
ВРП2	225,45	342,54	ЕУ – ВРП2 – 1 – 400 У4	400	4	4
РП2.1	32,19	48,91	ПР11 – 1034 – 21 У3	100	13	14
РП2.2	26,28	39,93	ПР11 – 1034 – 21 У3	100	11	14
РП2.3	76,56	116,32	ПР11 – 3085А – 21 У3	250	11	18
РП2.4	82,34	125,10	ПР11 – 3085А – 21 У3	250	12	18
ВРП3	438,26	665,86	ВРП – 800	800	4	4
ВРП4	212,25	322,48	ЕУ – ВРП2 – 1 – 400 У4	400	4	4
ВРП5	160,79	244,29	ЕУ – ВРП2 – 1 – 250 У4	250	4	3
РП6	121,01	183,86	ПР11 – 3085А – 21 У3	250	12	18

Таблиця 2.15 – Вибір кабелів 0,4 кВ

Назва КЛ	n	$S_{p\Sigma}$, кВА	$I_{норм}$, А	$I_{п.ав}$, А	Переріз кабелю	$I_{доп}$, А	$I'_{доп}$, А	$I''_{доп}$, А	l , км	r_0 , Ом/км	x_0 , Ом/км	$\Delta U_{норм}$, %	$\Delta U_{п.ав}$, %
ТП – ВРП1	2	277,42	210,75	421,49	4×240	260	268	281	0,068	0,125	0,047	0,83	1,66
ТП – ВРП2	2	225,45	171,27	342,54	4×240	490	505	529	0,058	0,125	0,047	0,58	1,15
ВРП2 – РП2.1	2	32,19	24,45	48,91	5×16	60	62	65	0,078	2,08	0,07	1,48	2,97
ВРП2 – РП2.2	2	26,28	19,96	39,93	5×16	60	62	65	0,074	2,08	0,07	1,15	2,30
ВРП2 – РП2.3	2	76,56	58,16	116,32	5×50	110	113	119	0,018	0,67	0,06	0,27	0,55
ВРП2 – РП2.4	2	82,34	62,55	125,10	5×70	140	144	151	0,016	0,48	0,06	0,19	0,38
ТП – ВРП3	2	438,26	221,95	443,91	4×240	490	505	529	0,047	0,125	0,047	0,61	1,82
ТП – ВРП4	2	212,25	161,24	322,48	4×240	490	505	529	0,082	0,125	0,047	0,77	1,55
ТП – ВРП5	2	160,79	122,15	244,29	4×185	260	268	281	0,101	0,18	0,06	1,01	2,02
ВРП3 – РП6	1	121,01	183,86	183,86	4×120	200	206	216	0,074	0,125	0,047	0,80	0,80

2.10. Розрахунок струмів короткого замикання

Струми короткого замикання на рівні напруги 10 кВ розраховуємо за значеннями поужності КЗ на шинах джерела живлення (табл.1.2) та параметрами заступної схеми, зведеними до базових умов.

Застосовуємо відносно наближене зведення :

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

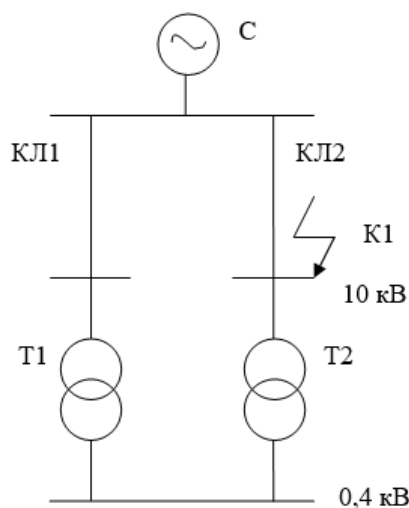


Рисунок 2.1 – Електрична схема короткозамкненого кола

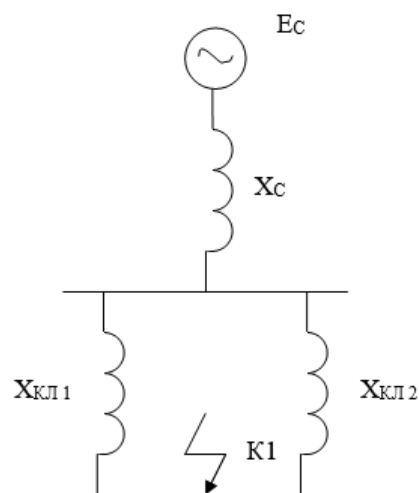


Рисунок 2.2 – Заступна схема короткозамкненого кола

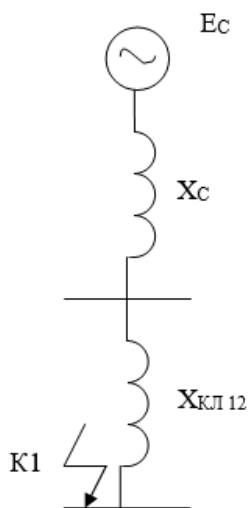


Рисунок 2.3 – Схема короткозамкненого кола після об'єднання паралельних ліній

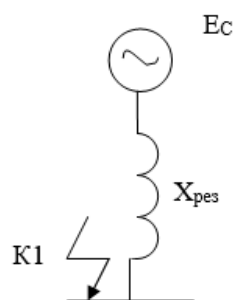


Рисунок 2.4 – Спрощена схема короткозамкненого кола

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

Показник	Одиниці вимірювання	Значення
S_{K3}	МВА	48,5
$\dot{X}_{C*}$	—	2,062
$\dot{R}_{KL1*}, \dot{R}_{KL2*}$	—	2,500
$\dot{X}_{KL1*}, \dot{X}_{KL2*}$	—	0,351
$\dot{R}_{KL12*}$	—	1,250
$\dot{X}_{KL12*}$	—	0,176
$\dot{R}_{рез*}$	—	1,250
$\dot{X}_{рез*}$	—	2,237
$\dot{Z}_{рез*}$	—	2,563
I_{ϕ}	кА	5,50
I_{n0}	кА	2,145
k_y	—	1,42
i_y	кА	4,308
K_T	$\frac{A \cdot c^{1/2}}{mm^2}$	125
t_n	с	0,25
F_{min}	mm^2	8,6
Тип та переріз кабелю з п.2.8	—	АПВВ – 10 – 3 × 35
B_K	$кА^2 \cdot c$	1,15

2.11. Вибір обладнання

Обладнання високої напруги обираємо за напругою установки та струмами післяаварійного та нормального режимів.

Перевірку виконуємо за стійкістю до термічної та електродинамічної дії струмів короткого замикання, розрахованих в п.2.10.

2.11.1. Вибір комплектних розподільчих пристроїв

Прийом та розподіл електроенергії на боці напруги 10 кВ відбувається в комірках КСО – 399 [14]; на боці напруги 0,4 кВ – в панелях ЩО – 99 [15].

Таблиця 2.17 – Технічні характеристики комплектних розподільних пристроїв трансформаторної підстанції

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

$10 = 10 \text{ кВ};$

$25,62 < 630 \text{ А};$

$51,24 < 630 \text{ А};$

$4,308 < 51 \text{ кА};$

$1,15 < 400 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$

2.11.2. Вибір роз'єднувачів

Згідно з пп.2.11.1 в секційних комірках встановлено роз'єднувачі. Обраємо їх з [16]:

РВ030 – 10 – 630

$10 = 10 \text{ кВ};$

$25,62 < 630 \text{ А};$

$51,24 < 630 \text{ А};$

$4,308 < 41 \text{ кА};$

$1,15 < 1024 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$

2.11.3. Вибір вимикачів навантаження та запобіжників

Згідно з п.2.11.1 у ввідних комірках встановлено вимикачі навантаження, а в трансформаторних – вимикачі навантаження з запобіжниками. Обираємо їх з [17]:

Ввідні комірки	Трансформаторні комірки
ВН – РА 030 – 10 – 630 УЗ:	ВН – РА 03П – 10 – 630 УЗ:
10 = 10 кВ;	10 = 10 кВ;
25,62 < 630 А;	25,62 < 630 А;
51,24 < 630 А;	51,24 < 630 А;
2,145 < 31,5 кА;	2,145 < 31,5 кА;
4,308 < 80 кА;	4,308 < 80 кА;
1,15 < 992,3 кА ² · с;	1,15 < 992,3 кА ² · с;

Запобіжники обираємо з [18]:

ПКТ – 10 – 63 – 12,5 УЗ:

51,24 < 63 А;

2,145 < 12,5 кА;

37,16 < 217 кА,

$$S'' = \sqrt{3} \cdot 10 \cdot 2,145 = 37,16 \text{ МВА.}$$

2.12. Розрахунок низьковольтної мережі цеху

2.12.1. Вибір схеми електропостачання

Силові кабелі, що живлять силові приймачі, встановлені в дільниці печива, ВВГнгд обираємо з [19] за струмом приймача. Виконуємо перевірку перерізів кабелів за втратами напруги та за термічною стійкістю до струмів короткого замикання в мережі напругою 0,4 кВ.

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						
Сито	2,5	0,70	5,43	2,5	26	ВВГнгд-5×2,5
Вловлювач магнітний	3	0,70	6,51	2,5	26	ВВГнгд-5×2,5
Мікромлин швидкохідний	3,5	0,70	7,56	2,5	26	ВВГнгд-5×2,5
Змішувач	4,5	0,70	9,72	2,5	26	ВВГнгд-5×2,5
Вентилятор	2,5	0,80	4,73	2,5	26	ВВГнгд-5×2,5
РП2.2						
Бак водомірно-змішувальний	1,1	0,70	2,40	2,5	26	ВВГнгд-5×2,5
Машина місильна	5	0,70	10,85	2,5	26	ВВГнгд-5×2,5
Машина формувальна	4,5	0,70	9,77	2,5	26	ВВГнгд-5×2,5
Піч електрична	5	0,71	10,69	2,5	26	ВВГнгд-5×2,5
Візок вантажний	4,9	0,71	10,42	2,5	26	ВВГнгд-5×2,5
Вентилятор	2,5	0,80	4,73	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					
Сито	3	8	0,09	0,015	0,210	ВВГнгд-5×2,5
		8	0,09	0,006	0,084	ВВГнгд-5×2,5
		8	0,09	0,011	0,154	ВВГнгд-5×2,5
Вловлювач магнітний	3	8	0,09	0,022	0,370	ВВГнгд-5×2,5
		8	0,09	0,019	0,319	ВВГнгд-5×2,5
		8	0,09	0,02	0,336	ВВГнгд-5×2,5
Мікромлин швидкохідний	2	8	0,09	0,03	0,588	ВВГнгд-5×2,5
		8	0,09	0,036	0,706	ВВГнгд-5×2,5
Змішувач	3	8	0,09	0,027	0,681	ВВГнгд-5×2,5
		8	0,09	0,033	0,832	ВВГнгд-5×2,5
		8	0,09	0,035	0,882	ВВГнгд-5×2,5
Установка вентиляційна	2	8	0,09	0,012	0,168	ВВГнгд-5×2,5
		8	0,09	0,036	0,503	ВВГнгд-5×2,5
	РП2.2					
Бак водомірно-змішувальний	2	8	0,09	0,024	0,148	ВВГнгд-5×2,5
		8	0,09	0,033	0,203	ВВГнгд-5×2,5
Машина місильна	2	8	0,09	0,024	0,672	ВВГнгд-5×2,5
		8	0,09	0,018	0,504	ВВГнгд-5×2,5
Машина формувальна	2	8	0,09	0,021	0,530	ВВГнгд-5×2,5
		8	0,09	0,027	0,681	ВВГнгд-5×2,5
Піч електрична	2	8	0,09	0,027	0,756	ВВГнгд-5×2,5
		8	0,09	0,015	0,420	ВВГнгд-5×2,5
Візок вантажний	1	8	0,09	0,016	0,439	ВВГнгд-5×2,5
Установка вентиляційна	2	8	0,09	0,034	0,475	ВВГнгд-5×2,5
		8	0,09	0,018	0,251	ВВГнгд-5×2,5

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

Для визначення струмів КЗ в мережі напругою 0,4 кВ приводимо опори системи до нижчої напруги. Розрахунок виконуємо на основі струму КЗ на рівні 10 кВ (п.2.10) та опорів заступної схеми, зведених до базових умов.

Застосовуємо абсолютне наближене зведення :

$$U_6 = 0,4 \text{ кВ}; U_{c10} = 10,5 \text{ кВ}.$$

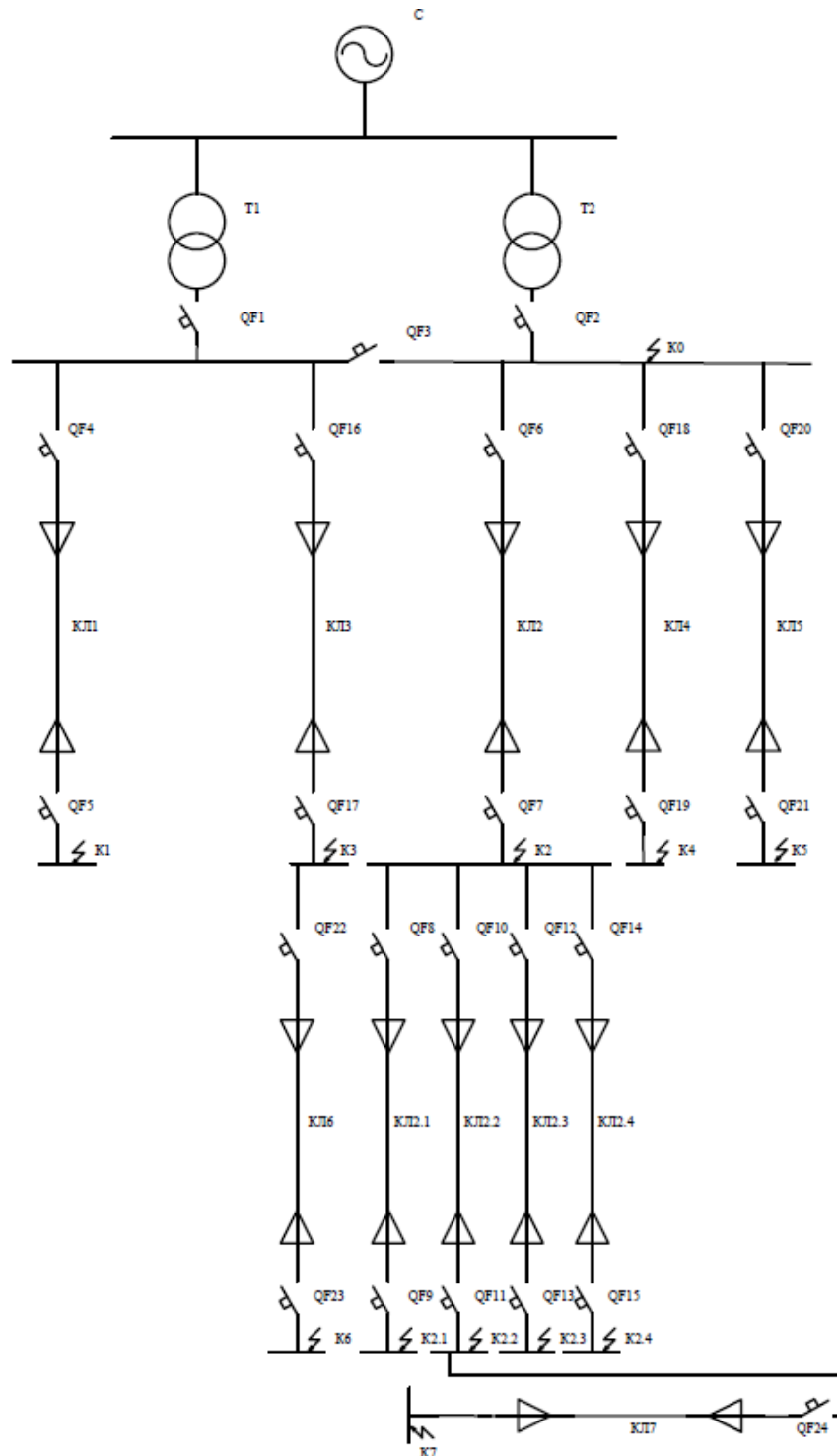


Рисунок 2.5 – Схема короткозамкнутого кола НВ мережі

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

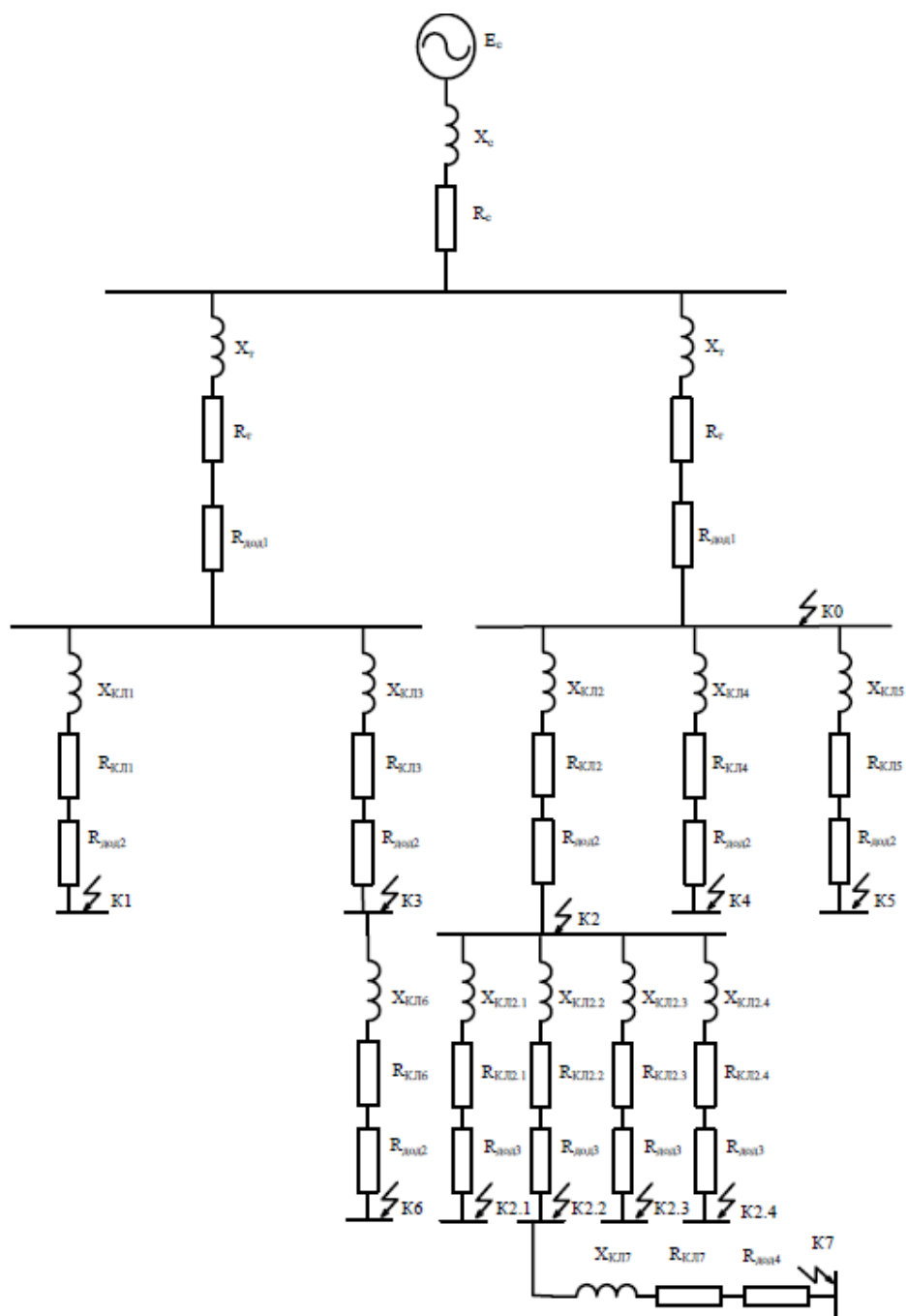


Рисунок 2.6 – Заступна схема НВ мережі

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	2,145
$U_{с10}$	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	1,378
X_c	Ом	2,826
$\dot{R}_c$	МОм	2,000
$\dot{X}_c$	МОм	4,101
$\dot{R}_T$	МОм	1,713
$\dot{X}_T$	МОм	7,619
$\dot{R}_{рез0}$	МОм	18,713
$\dot{X}_{рез0}$	МОм	11,720
$Z_{рез0}$	МОм	22,080
I_K	кА	10,459
k_y	–	1,05
i_y	кА	15,531

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	0,068	0,125	8,450	0,047	3,177
ТП – ВРП2	0,058	0,125	7,200	0,047	2,707
ВРП2 – РП2.1	0,078	2,08	162,240	0,07	5,460
ВРП2 – РП2.2	0,074	2,08	153,920	0,07	5,180
ВРП2 – РП2.3	0,018	0,67	12,060	0,06	1,080
ВРП2 – РП2.4	0,016	0,48	7,680	0,06	0,960
ТП – ВРП3	0,047	0,125	5,850	0,047	2,200
ТП – ВРП4	0,082	0,125	10,250	0,047	3,854
ТП – ВРП5	0,101	0,18	18,144	0,06	6,048
ВРП3 – РП6	0,074	0,125	9,250	0,047	3,478
РП2.2 – Рmax	0,015	8	120,000	0,09	1,350

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	32,16	14,90	35,45	6,515	1	9,214	24,1	4×240
К2	20	30,91	14,43	34,11	6,770	1	9,574	25,1	4×240
К2.1	25	198,15	19,89	199,15	1,160	1	1,640	4,3	5×16
К2.2	25	189,83	19,61	190,84	1,210	1	1,711	4,5	5×16
К2.3	25	47,97	15,51	50,42	4,581	1	6,478	17,0	5×50
К2.4	25	43,59	15,39	46,23	4,996	1	7,065	18,5	5×70
К3	20	29,56	13,92	32,68	7,068	1	9,995	26,2	4×240
К4	20	33,96	15,57	37,36	6,181	1	8,741	22,9	4×240
К5	20	41,86	17,77	45,47	5,079	1	7,182	18,8	4×185
К6	20	38,81	17,40	42,53	5,430	1	7,679	20,1	4×120
К7	30	314,83	20,96	315,53	0,732	1	1,035	2,7	5×2,5

Приймаємо для КЛ7 кабель ВВГнгд – 5 × 4.

2.12.3. Вибір трансформаторів струму

Трансформатори струму обираємо з [21]. Навантаження їх вторинних обмоток складається з таких приладів:

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

амперметри АСКО – УКРЕМ 600А.

$$I_{\text{норм}} = \frac{1315,03}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 2} = 998,99 \text{ А}; I_{\text{max}} = \frac{1315,03}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 1997,97 \text{ А}.$$

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 :

CHINT ВН-0.66 120 2000/5А 0,5

$$0,38 < 0,66 \text{ кВ};$$

$$998,99 < 2000 \text{ A};$$

$$1997,97 < 2000 \text{ A};$$

$$15,531 < 51 \text{ кА};$$

$$27,35 < 100 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

$$0,495 < 5,0 \text{ Ом.}$$

Технічний облік :

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

$$0,38 < 0,66 \text{ кВ};$$

$$443,91 < 600 \text{ A};$$

$$9,995 < 51 \text{ кА};$$

$$12,49 < 100 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

$$0,495 < 5,0 \text{ Ом.}$$

2.12.4. Вибір автоматичних вимикачів

Автоматичні вимикачі обираємо 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	Chint NA1-2000-2000M	0,4	2000	40	0,4	998,99	1997,97	10,459
QF2	Chint NA1-2000-2000M	0,4	2000	40	0,4	998,99	1997,97	10,459
QF3	Chint NA1-2000-2000M	0,4	2000	40	0,4	998,99	1997,97	10,459
QF4	BA 88 – 40	0,4	500	35	0,4	210,75	421,49	6,515
QF5	BA 88 – 40	0,4	500	35	0,4	210,75	421,49	6,515
QF6	BA 88 – 40	0,4	400	35	0,4	171,27	342,54	6,770
QF7	BA 88 – 40	0,4	400	35	0,4	171,27	342,54	6,770
QF8	BA 88 – 33	0,4	50	35	0,4	24,45	48,91	1,160

Продовження таблиці 2.24

1	2	3	4	5	6	7	8	9
QF9	BA 88 – 33	0,4	50	35	0,4	24,45	48,91	1,160
QF10	BA 88 – 33	0,4	40	35	0,4	19,96	39,93	1,210
QF11	BA 88 – 33	0,4	40	35	0,4	19,96	39,93	1,210
QF12	BA 88 – 33	0,4	125	35	0,4	58,16	116,32	4,581
QF13	BA 88 – 33	0,4	125	35	0,4	58,16	116,32	4,581
QF14	BA 88 – 33	0,4	160	35	0,4	62,55	125,10	4,996
QF15	BA 88 – 33	0,4	160	35	0,4	62,55	125,10	4,996
QF16	BA 88 – 40	0,4	500	35	0,4	221,95	443,91	7,068
QF17	BA 88 – 40	0,4	500	35	0,4	221,95	443,91	7,068
QF18	BA 88 – 40	0,4	400	35	0,4	161,24	322,48	6,181
QF19	BA 88 – 40	0,4	400	35	0,4	161,24	322,48	6,181
QF20	BA 88 – 37	0,4	250	35	0,4	122,15	244,29	5,079
QF21	BA 88 – 37	0,4	250	35	0,4	122,15	244,29	5,079
QF22	BA 88 – 35	0,4	200	35	0,4	183,86	183,86	5,430
QF23	BA 88 – 35	0,4	200	35	0,4	183,86	183,86	5,430
QF24	BA 88 – 32	0,4	12,5	25	0,4	10,69	10,69	0,732

2.12.5. Вибір рубильників

Рубильниками обрано з [23]:

 $PE\ 19 - 44; 2000\ A;$ $0,38 < 0,66\ kV;$ $998,99 < 2000\ A;$ $1997,97 < 2000\ A;$ $15,531 < 50\ kA;$ $27,35 < 900\ kA^2 \cdot c.$

РОЗДІЛ 3

РОЗРАХУНОК МЕХАНІЗМУ ПІДЙОМУ ВАНТАЖНОГО ВІЗКА

Швидке та безпечне переміщення вантажів між окремими робочими зонами ділянки печива забезпечується за допомогою підвісного вантажного візка. Візок переміщується вздовж несучої балки – двотавра – та має два приводних механізми: механізм переміщення візка та механізм підйому. Виконаємо розрахунок останнього.

Таблиця 3.1 – Вихідні дані

m, т	1,25
$v, \frac{m}{s}$	0,16
$\eta\%$	79
h, м	8
Режим роботи	T
ТВ%	40
Двигун механізму пересування візка	МТF011 – 6 $P_{вст} = 1,4$ кВт

Для розрахунку використовуємо довідникові дані, наведені в [24].

Таблиця 3.2 – Вибір підйомного канату

z	2
u_n	2
$\eta_{бл}$	0,98
η_n	0,99
F_0, H	3096,59
k	6
F, H	18579,5
d, мм	8,3
F_k, H	34800
k_ϕ	11,2

					ЛНТУ.971006.000 ПЗ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Електропостачання заводу продтоварів встановленою потужністю 1650 кВт. Пояснювальна записка.		
Розроб.	Гладун І.Ю.						
Перевір.	Вітер Д.В.						
Н. контр.	Ващелюк Ю.І.						
Затверд.	Волинець В.І.						
					Літ.	Арк.	Аркушів
						32	4
					ФАБЕ, гр.ЕЕ–41		

Таблиця 3.3 – Вибір барабану

e	30
D , мм	249
D_6 , мм	250
—	I
$m_{\text{підв}}$, т	3,2
$D_{\text{підв}}$, мм	320
$b_{\text{підв}}$, мм	200
L_k , м	19,925
t , мм	9
L_6 , м	0,221
L , м	0,642
$D_{6,\phi}$, мм	241,7
δ_{min} , м	0,011
δ , мм	11
$[\sigma_{\text{стиск}}]$, МПа	130
$[\sigma_{\text{стиск}}]_{\phi}$, МПа	31,758

Таблиця 3.4 – Вибір двигуна

P_c , кВт	2,48
—	MTF 111-6
$P_{\text{дв}}$, кВт	3,5
$n_{\text{дв}}$, хв^{-1} .	895
$I_{\text{дв}}$, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$	0,048
M_{max} , $\text{Н} \cdot \text{м}$	87
ψ_{max}	3,2
ψ_{min}	1,25
n_6 , хв^{-1} .	25,299
u	35,378
$M_{\text{дв}}^{\text{ном}}$, $\text{Н} \cdot \text{м}$	37,346
$M_{\text{ср.пуск}}$, $\text{Н} \cdot \text{м}$	83,096

Таблиця 3.5 – Вибір редуктора

k_p	1
$P_{\text{розр.р}}, \text{кВт}$	2,48
—	Ц2-250
$P_p, \text{кВт}$	2,85
u_p	41,34

Таблиця 3.6 – Вибір муфти

$M_c, \text{Н} \cdot \text{м}$	42,801
$M_M^{\text{ном}}, \text{Н} \cdot \text{м}$	42,801
k_1	1,3
k_2	1,3
$M_M, \text{Н} \cdot \text{м}$	72,333
$D_M, \text{мм}$	140
$M_M, \text{Н} \cdot \text{м}$	250
$I_M, \text{кг} \cdot \text{м}^2$	0,129
$I, \text{кг} \cdot \text{м}^2$	0,177

Таблиця 3.7 – Розрахунок фактичних значень швидкості підйому, часу та прискорення при пуску

$n_6^{\phi}, \text{хв}^{-1}$	21,65
$v_p^{\phi}, \text{м} / \text{с}$	0,142
$v_{\text{станд}}, \text{м} / \text{с}$	0,16
$\Delta v, \%$	11,5
$\Delta v_{\text{доп}}, \%$	12
δ	1,2
$t_{\text{пуск}}, \text{с}$	0,51
$t_{\text{пуск.доп}}, \text{с}$	2
$a_p^{\phi}, \text{м} / \text{с}^2$	0,28

Протягом робочої зміни механізм підйому працює з різними вантажами, маса яких часто відрізняється від номінальної вантажопідйомності. Відповідно значення натягу канату, моменту статичного опору та часу пуску будуть відрізнятись від номінальних.

Визначаємо з [24] вагові коефіцієнти та рівень завантаження для механізмів підйому, що працюють в тяжкому режимі роботи, та

розраховуємо середньоквадратичну потужність двигуна з врахуванням його дійсного завантаження: $w_1 = 1$; $w_2 = 5$; $w_3 = 1$; $w_4 = 3$.

Таблиця 3.8 – Перевірка двигуна за нагріванням

Позначення	Одиниці вимірювання	Результати розрахунку при масі вантажу, т			
		1250	1000	250	62,5
		0,79	0,72	0,5	0,38
η	—	3096,591	2477,273	619,32	154,83
F_6	Н	42,8	34,2	8,6	2,1
M_C	Н · м	0,51	0,416	0,269	0,247
$t_{\text{пуск}}$	с	3034,969	2427,98	606,99	151,75
		30,633	24,506	6,127	1,532
F'_6	Н	0,179	0,189	0,225	0,236
M'_C	Н · м	1250	1000	250	62,5
$t'_{\text{пуск}}$	с	0,79	0,72	0,5	0,38

Таблиця 3.9 – Визначення середньоквадратичної потужності

$H_{\text{ср}}, \text{ м}$	6,4
$t_{\text{вст}}, \text{ с}$	45,190
$\Sigma t_{\text{пуск}}, \text{ с}$	5,734
$\Sigma t, \text{ с}$	909,53
$M_{\text{ср.кв}}, \text{ Н} \cdot \text{ м}$	26,03
$P_{\text{ср.кв}}, \text{ кВт}$	2,44

Таблиця 3.10 – Вибір гальмівних пристроїв

$M_r, \text{ Н} \cdot \text{ м}$	29,239
k_r	2
—	ТКГ-160
$D_r, \text{ мм}$	160
$M_{\text{необх}}, \text{ Н} \cdot \text{ м}$	58,478
$t_r, \text{ с}$	0,69
$s, \text{ м}$	0,083
$t_r^{\text{max}}, \text{ с}$	1,18
$a_r, \text{ м} / \text{ с}^2$	0,20

Встановлена потужність візка:

$$P_B = 3,5 + 1,4 = 4,9 \text{ кВт},$$

що відповідає даним таблиці 2.2.

РОЗДІЛ 4

САПР

Автоматизацію розрахунку механізму підйому візка в середовищі Microsoft Excel 2016 наведено на рисунках 4.1 – 4.5.

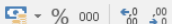
Файл		Главная		Разметка страницы		Формулы		Данные		Рецензирование		Вид		Acrobat		💡 Что вы хотите сделать?			
 Вставить				Times New Ro ▾ 10 ▾ A ⁺ A ⁻				 Перенести текст		 Объединить и поместить в центре ▾		Общий ▾				 Условное форматирование ▾		 Форматы как табл	
Буфер обмена		Шрифт				Выравнивание						Число				Стили			
K24		  																	
Розрахунок механізму підйому вантажного візка																			
Вихідні дані:																			
m= 1,25		т																	
m0= 0		т																	
режим С																			
v.п= 0,16		м/с		a.п= 0,31		м/с4		Іп= 0,11		кг*м4		η.п= 0,79							
H= 8		м						ТВ		40		%							
Механізм пересування		MTF011-6		1,4 кВт															
										Двоєний поліспаст									
1. Вибір підйомного канату																			
Кількість поліспастів				z		2		m, т		u.п		Режим		k		e			
Кратність поліспасту				u.п		2		До 8		2		Л		5		20			
ККД блоку				η.бл		0,98		10...16		2...3		С		5,5		25			
ККД поліспасту				η.п		0,99		20...32		3...4		Т		6		30			
Зусилля в канаті				Fб		3096,59		40...50		4...5		ОТ		6		35			
Коеф. міцності				k		6													
Розривне зусилля				F		18579,5		Н											
Діаметр				d		8,3		мм											
Розривне зусилля канату				Fк		34800		Н											
Факт коеф запасу міцн.				k.ф		11,2		>		6									

Рисунок 4.1 – Вихідні дані та вибір підйомного канату

2. Вибір барабану												
28												
29	Коефіцієнт		e	30								
30	Доп.діаметр барабану		D	249	мм							
31	Діам.вибраного барабану		Dб	250	мм							
32	Тип підвіски		-	1								
33	Вантажопідйомність підв.		m.підв	3,2	т							
34	Діаметр блоків підв.		Dпідв	320	мм							
35	Відстань між блоками		b	200	мм							
36	Довжина канату		Lк	19,925	м							
37	Крок витка		t	9	мм							
38	Роб.довжина барабану		Lб	0,221	м							
39	Повна довжина барабану		L	0,642	м							
40	Факт.діаметр барабану		Dб.ф	241,7	мм							
41	Мін.товщина стінки		δ.min	0,011	м							
42	Факт.товщина стінки		δ.ф	11	м							
43	Доп.напруження стиск.		σ.доп	130	МПа							
44	Факт.напруження стиск.		σ.стиск	31,758	МПа	<	130					

Рисунок 4.2 – Вибір барабану

					ЛНТУ.971006.000 ПЗ						
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Гладун І.Ю.			Електропостачання заводу продтоварів встановленою потужністю 1650 кВт. Пояснювальна записка.			Літ.	Арк.	Аркушів	
Перевір.		Вітер Д.В.								36	3
Н. контр.		Ващелюк Ю.І.			ФАБЕ, гр.ЕЕ-41						
Затверд.		Волинець В.І.									

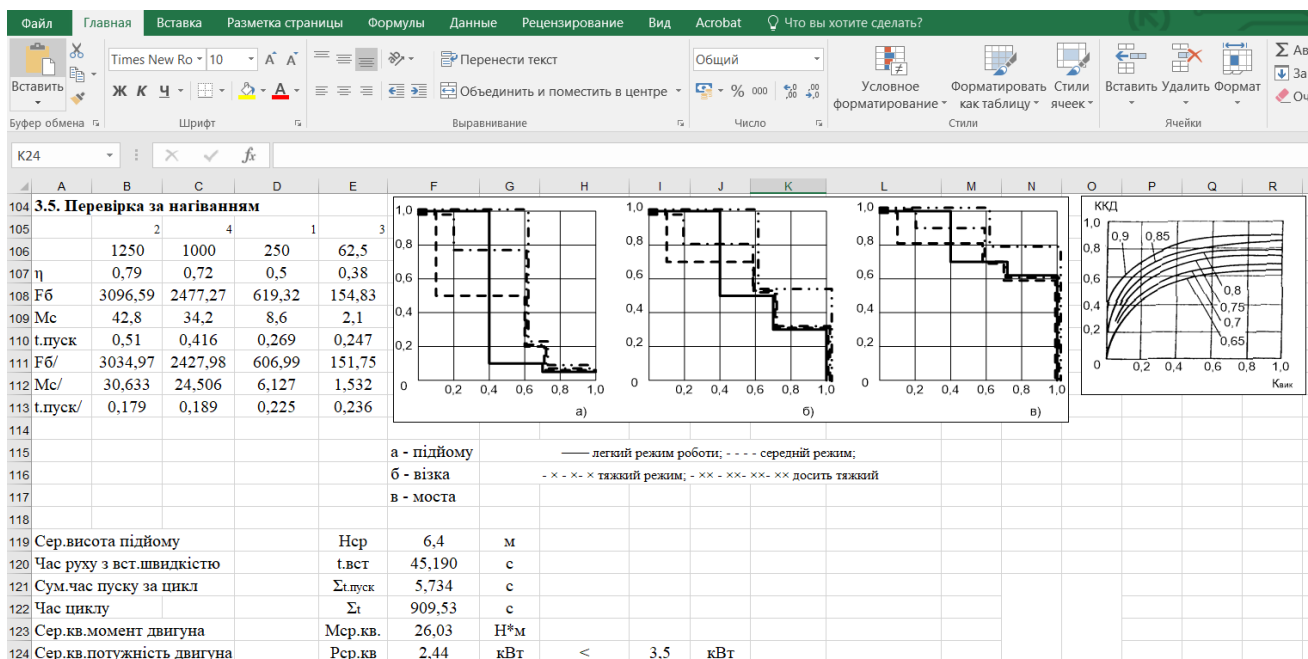


Рисунок 4.5 – Перевірка двигуна за нагріванням

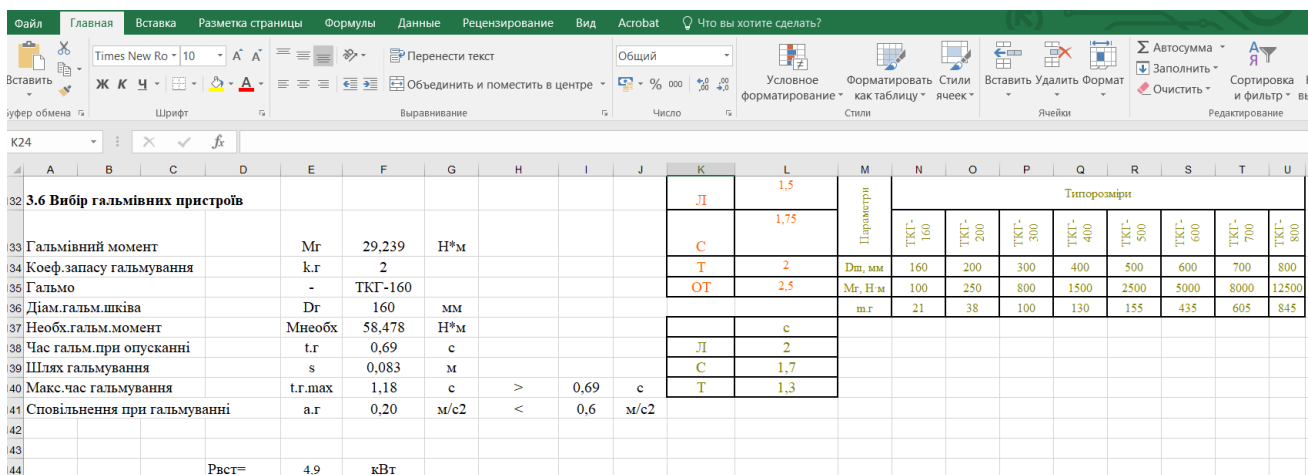


Рисунок 4.6 – Вибір гальмівних пристроїв

РОЗДІЛ 5

ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА

Згідно з [25] захист від ураження електричним струмом передбачає приєднання неструмівдних частин обладнання до контуру захисного заземлення. Розрахунок такого контуру виконано для цеху випічки:

$$l = (96 + 48) \cdot 2 = 288 \text{ м};$$

$$R_{\Gamma} = \frac{180}{2 \cdot 3,14 \cdot 288} \cdot \ln \frac{288^2}{0,4 \cdot 0,04} = 1,6 \text{ Ом};$$

$$R_H = 10 \text{ Ом};$$

$$R_B = \frac{1,6 \cdot 10}{1,6 + 10} = 1,39 \text{ Ом};$$

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

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

$$n_B = \frac{55}{1,39 \cdot 0,65} = 61,0 \text{ шт} \Rightarrow n_B = 61 \text{ шт};$$

$$R_{шт} = \frac{55 \cdot 1,6}{0,3 \cdot 55 + 0,65 \cdot 61 \cdot 1,6} = 1,1 \text{ Ом} < 10 \text{ Ом}.$$

					ЛНТУ.971006.000 ПЗ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Електропостачання заводу продтоварів встановленою потужністю 1650 кВт. Пояснювальна записка.		
Розроб.	Гладун І.Ю.						
Перевір.	Вітер Д.В.						
Н. контр.	Ващелюк Ю.І.						
Затверд.	Волинець В.І.						
					Літ.	Арк.	Аркушів
						39	1
					ФАБЕ, гр.ЕЕ-41		

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

Розроблений проєкт системи електропостачання заводу продтоварів є придатним до впровадження, завдяки таким характеристикам:

– забезпечується надійність електропостачання електроприймачів заводу відповідно до вимог, задекларованих в [2], для I та II категорії. Резервування може виконуватись як на рівні високої, так і низької напруги та вмикатиметься вручну; нейтраль мережі 10 кВ – ізольована;

– пропускна здатність електричних мереж є достатньою для роботи в нормальному та післяаварійному режимах. Втрати напруги не перевищують допустимих значень;

– система оснащена засобами компенсації реактивної потужності та регулювання напруги без навантаження, завдяки чому якість електричної енергії, яку отримуватимуть споживачі, знаходитиметься на належному рівні;

– для безпеки роботи електрообладнання передбачено захисні пристрої, вибрані за струмами номального та післяаварійного режимів: захист силових трансформаторів забезпечено плавкими високовольтними запобіжниками; захист кабельних ліній та конденсаторних установок напругою 0,4 кВ виконано автоматичними вимикачами;

– для безпеки персоналу влаштовано контур захисного заземлення кожного цеху з опором, що не перевищує 10 Ом; нейтраль мережі 0,4 кВ – глухозаземлена;

– прийняті технічні рішення є економічно обґрунтованими техніко-економічним порівнянням різних варіантів встановлення;

– перерізи силових кабелів високої та низької напруги та електричні апарати 10 та 0,4 кВ є стікими до термічної дії струмів короткого замикання;

– система електропостачання заводу продтоварів оснащена достатньою кількістю вимірювальних приладів для моніторингу параметрів режиму та приладів комерційного та технічного обліку електроенергії.

					ЛНТУ.971006.000 ПЗ	Арк.
						40
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 АБВГ, АБВГнг, АБВГнгд : каталог. URL :
<https://euopan.ua/ru/produkcija/kabeli-silovi/avvg-avvgng-avvgngd/>.
- 12.Грицюк Ю.В. Електрична частина станцій і підстанцій. Методичні вказівки до практичних занять. – Луцьк: ЛНТУ, 2015. – 96 с.
13. Електрична частина станцій і підстанцій : методичні вказівки до виконання курсового проекту ; уклад. Ю.В. Грицюк. Луцьк : Луцький НТУ, 2014. 84с.
14. Камери збірні одностороннього обслуговування КСО 399 УЗ : каталог. ООО Укрелетрокомплект. URL: <http://uelko.com/kso399.pdf>.
15. Панелі розподільних щитів ЩО 99 УЗ : каталог. ООО Укрелетрокомплект. URL: <https://uelko.com/so99.pdf>.
16. Роз'єднувачі РВ, РВО, РВЗ, РВФЗ, РЛВО : каталог. URL: <http://nvacontact.com/category2/razediniteli-10-kv/>.
17. Вимикач навантаження типу ВН-РА-000 : каталог. ООО Укрелетрокомплект URL: <https://uelko.com/vn-ra.pdf>.
18. Високовольтні запобіжники : каталог. URL: https://www.websor.ru/vjsokovoltnje_predohraniteli.html.
19. Кабелі силові ВВГ, ВВГнг, ВВГнгд : каталог. URL :
<https://euopan.ua/ru/produkcija/kabeli-silovi/vvg3-vvg3ng-vvg3ngd-vvg5-vvg5ng-vvg5ngd/>.
20. Лічильники електричної енергії НІК2303 : настанова з експлуатації. Київ, 2016. URL: http://www.nik.net.ua/uploads/RE_2303LE.pdf.
21. Трансформатори струму ТШ-0,66 : каталог. URL: <http://bek-ltd.com.ua/transformatory-toka-t-0-66>.
22. Вимикачі автоматичні серії ВА88 : інструкція з експлуатації. ІЕК. URL:

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

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

					ЛНТУ.971006.000 ПЗ	Арк.
						43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		