

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

(повна найменування кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНИЙ ПРОЄКТ
ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «БАКАЛАВР»

ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЗАВОДУ СУХОЇ
МОЛОЧНОЇ ПРОДУКЦІЇ ВСТАНОВЛЕНОЮ
ПОТУЖНІСТЮ 1500 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
Остапчук Дмитро Іванович

(підпис)

Керівник: асистент
Денисовець Тетяна Миколаївна

(підпис)

Кваліфікаційний проєкт
допущено до захисту
«__» _____ 2026 р.
Гарант освітньої програми:
канд. техн. наук, доцент
Волинець Владислав Ігорович

(підпис)

Луцьк – 2026 року

АНОТАЦІЯ

ОСТАПЧУК Д. І. Електропостачання заводу сухої молочної продукції встановленою потужністю 1500 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 вступу, п'яти розділів, висновків та пропозицій, переліку джерел посилення та додатків.

Розроблено систему електропостачання заводу сухої молочної продукції встановленою потужністю 1500 кВт.

Розробка СЕП підприємства виконувалася на основі електротехнічних розрахунків. А саме, розрахунок електричних навантажень, розрахунок освітлювальних навантажень, розрахунок навантажень на вищих рівнях СЕП, розрахунок кількості та потужності силових трансформаторів, розрахунок потужності конденсаторних батарей, розрахунок струмів короткого замикання, вибір раціональної схеми зовнішнього та внутрішнього електропостачання.

Кваліфікаційний проєкт містить 78 сторінок, 12 рисунків, 27 таблиць, 25 джерел літератури.

Ключові слова: СИСТЕМА ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ (СЕП), ЕЛЕКТРИЧНІ НАВАНТАЖЕННЯ, КАБЕЛЬНА ЛІНІЯ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ, СТРУМ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ, ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ.

ANNOTATION

OSTAPCHUK D. Power supply to the dry milk products plant with an installed capacity of 1500 kW. Manuscript.

Bachelor's qualification project of EP Electrical energetics, electrical engineering and electromechanics specialties 141 Electrical energetics, electrical engineering and electromechanics. Lutsk National Technical University. Lutsk, 2026.

The bachelor's qualification project consists of an introduction, five sections, conclusions and recommendations, a list of reference sources and appendices.

A power supply system was developed for a dry milk products plant an installed capacity of 1500 kW.

Development of PSS of the enterprise was carried out on the basis of electrotechnical calculations. Namely, the calculation of electrical loads, calculation of lighting loads, calculation of loads at higher levels of PSS, calculation of the number and capacity of power transformers, calculation power of capacitor banks, calculation of short-circuit currents, selection of a rational scheme of external and internal power supply.

Bachelor's qualification project contains 78 pages, 12 figures, 27 tables, 25 sources of literature.

Keywords: POWER SUPPLY SYSTEM (PSS), ELECTRICAL LOADS, CABLE LINES OF ELECTRICITY TRANSMISSION, SHORT-CIRCUIT CURRENT, ELECTRICAL EQUIPMENT.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1 КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ПРОЄКТУВАННЯ	8
РОЗДІЛ 2 ОСНОВНІ ПРОЄКТНІ РІШЕННЯ	11
2.1. Розрахунок силових електричних навантажень	11
2.2. Розрахунок освітлювальних навантажень	12
2.2.1. Розрахунок освітлювальних навантажень підприємства	12
2.2.2. Розрахунок освітлювальної мережі апаратного цеху	13
2.3. Визначення сумарних навантажень	14
2.4. Розрахунок картограми навантажень та визначення теоретичного центру навантажень	15
2.5. Вибір кількості та потужності трансформаторів	15
2.6. Компенсація реактивної потужності	17
2.7. Визначення електричних навантажень на вищих рівнях	18
2.8. Проєктування зовнішньої мережі живлення підприємства	18
2.9. Проєктування внутрішньої розподільної мережі	19
2.10. Вибір схеми електропостачання апаратного цеху	22
2.11. Розрахунок струмів короткого замикання	23
2.11.1. Розрахунок струмів короткого замикання на стороні 10 кВ	23
2.11.2. Розрахунок струмів короткого замикання в мережі 0,4 кВ	25
2.12. Вибір обладнання	29
2.12.1. Вибір комірок	29
2.12.2. Вибір роз'єднувачів	29
2.12.3. Вибір вимикачів навантаження та запобіжників	30
2.12.4. Вибір автоматичних вимикачів	31
2.12.5. Вибір вимірювальної апаратури	32
РОЗДІЛ 3 РОЗРАХУНОК СЕП ТРАНСПОРТЕРУ	34
РОЗДІЛ 4 САПР	37
РОЗДІЛ 5 ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА	39
ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ	41
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	42
ДОДАТКИ	45

					<i>ЛНТУ971024.000 ПЗ</i>						
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Електропостачання заводу сухої молочної продукції встановленою потужністю 1500 кВт.	Літ.		Арк.	Аркушів		
Розробив	Остапчук Д.І.					Д		6	78		
Перевірив	Денисовець Т.М.										
Н. контр.	Ващелюк Ю.І.										
Затвердив	Волинець В.І.										
					Пояснювальна записка	ФАБЕ, гр. ЕЕ-41					

ВСТУП

Виробництво сухої молочної продукції є складним технологічним процесом, що потребує суворого дотримання температурних режимів та безперервної роботи ліній сушіння й автоматики. Система електропостачання (СЕП) такого підприємства повинна враховувати специфіку потужних енергоспоживачів, систем вентиляції та високий рівень автоматизації. Будь-яке відхилення параметрів напруги може призвести до псування сировини, тому проектування надійної енергосистеми є пріоритетним завданням.

Основними критеріями проектування є:

Надійність: вибір схемних рішень, що гарантують безперебійне живлення критично важливих споживачів.

Якість енергії: підтримка стабільного рівня напруги на затискачах електроприймачів для коректної роботи мікропроцесорної автоматики.

Безпека та експлуатація: проектування розподільних пунктів із високим ступенем захисту персоналу.

Економічна ефективність: оптимізація витрат на обладнання та мінімізація втрат електроенергії в мережах.

Гнучкість системи: можливість нарощування потужностей без проведення масштабної реконструкції мереж.

					<i>ЛНТУ.971024.000 ПЗ</i>	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1

КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ПРОЄКТУВАННЯ

У кваліфікаційному проєкті розробляється СЕП молокозаводу, який спеціалізується на виготовленні сухої молочної продукції. На балансі молокозаводу знаходяться такі корпуси як апаратний цех, цех вакуум-випаровування, сушільний цех, насосна станція, каналізаційна насосна станція, котельня, склад сухої продукції, цех демінералізації, насоси пожежних резервуарів та лабораторія. Вихідні дані для проєктування подані в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Вихідні дані для проєктування

Назва параметра	Одиниці вимірювання	Значення параметра
Джерело живлення	-	Шини 10 кВ ПС
Встановлена потужність	кВт	1500
Відстань до джерела живлення	км	1,4
Лінія живлення	-	кабельна
Напруга живлення	кВ	10
Загальна територія підприємства	м ²	30500
Площа будівель	м ²	4755
Кількість робочих змін	-	3
Тривалість роботи обладнання за рік	год	6000
Час використання максимального навантаження	год	5400
Потужність КЗ на шинах джерела живлення	МВА	78
Реактивна потужність, дозволена до використання	кВАр	450
Категорія надійності споживачів:		
I	%	4
II	%	92
III	%	3

Встановлена потужність та площі будівель заводу наведена в таблиці 1.2, а генеральний план заводу зображено на рис. 1.1.

					<i>ЛНТУ.971024.000 ПЗ</i>							
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Електропостачання заводу сухої молочної продукції встановленою потужністю 1500 кВт. Пояснювальна записка				Літ.	Арк.	Аркушів	
Розробив	Остапчук Д.І.									Д	8	3
Перевірив	Денисовець Т.М.								ФАБЕ, гр. ЕЕ-41			
Н. контр.	Ващелюк Ю.І.											
Затвердив	Волинець В.І.											

Таблиця 1.2 – Встановлена потужність та площі будівель заводу

Назва цеху	Встановлена потужність P_B , кВт	Площа цехів S , м ²
Апаратний цех	244	1152
Цех вакуум-випаровування	280	1140
Сушильний цех	192	450
Насосна станція	120	540
Каналізаційна насосна станція	100	160
Котельня	221	540
Склад сухої продукції	30	240
Цех демінералізації	230	290
Насоси пожежних резервуарів	65	160
Лабораторія	18	80
Всього	<u>1500</u>	<u>4752</u>

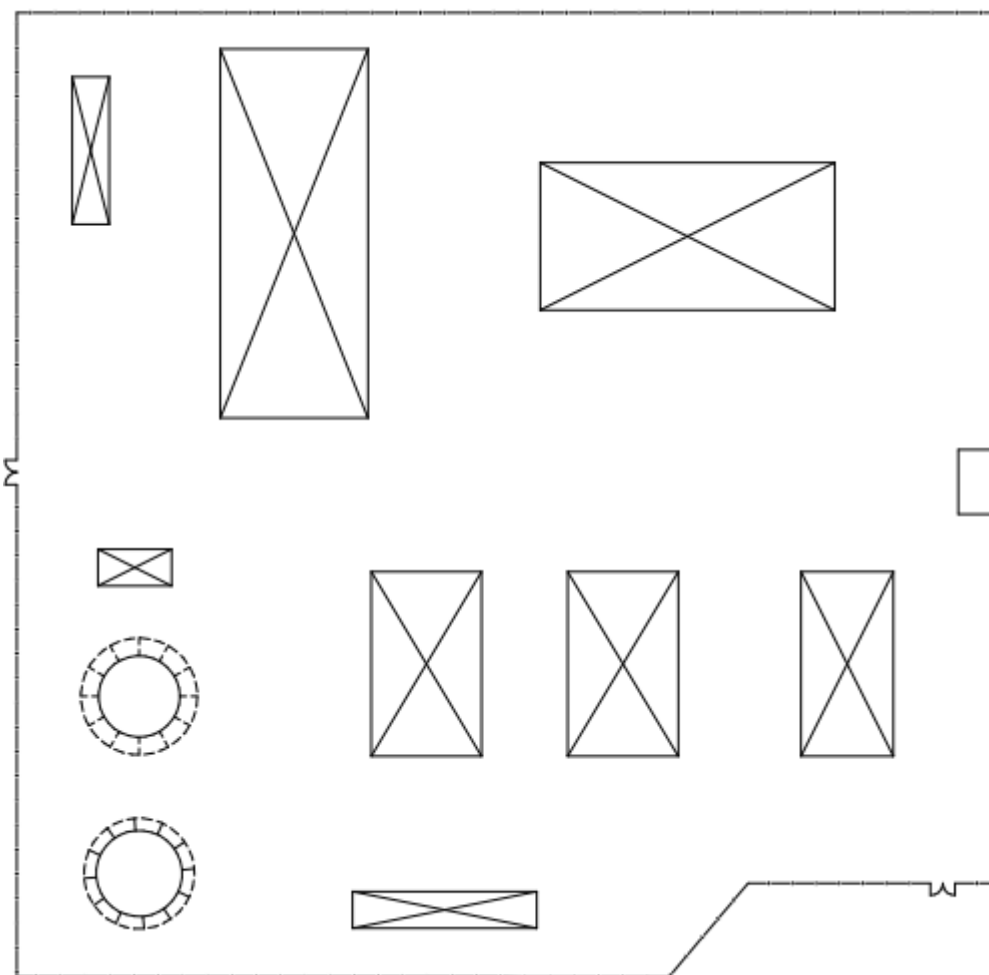


Рисунок 1.1 – Генеральний план молокозаводу

Ми проведемо детальний розрахунок електричної мережі апаратного цеху - ключової ланки виробничого процесу. Основними споживачами електроенергії тут є технологічне обладнання: насоси, гомогенізатори, сепаратори, пастеризатори, масловиготовлювачі та заквасники. Також до складу цеху входять охолоджувальні установки, транспортери, фасувальні автомати та резервуари різного об'єму. Технічні характеристики всього переліченого парку машин наведені в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Параметри обладнання апаратного цеху

Назва обладнання	Номінальна потужність P_H , кВт	Кіль- кість, шт	$\cos \varphi$	Коеф. викор., $K_{вик}$
Танк 1	3	1	0,7	0,65
Танк 2	3	3	0,7	0,65
Сепаратор	17	5	0,7	0,65
Пастеризатор трубчастий	3	3	0,7	0,65
Пастеризаційно-охолоджувальна установка 1	3	1	0,7	0,65
Пастеризаційно-охолоджувальна установка 2	1,5	2	0,7	0,65
Підігрівач	3	1	0,7	0,6
Масловиготовлювач 1	35	1	0,7	0,6
Масловиготовлювач 2	35	1	0,7	0,6
Фасувальний автомат 1	2,2	2	0,7	0,6
Транспортер	5,5	4	0,66	0,6
Фасувальний автомат 2	2,2	2	0,7	0,6
Гомогенізатор	1,5	1	0,7	0,6
Заквасник	2,2	3	0,7	0,6
Танк 3	0,75	7	0,7	0,65
Насос	3	5	0,85	0,85

РОЗДІЛ 2

ОСНОВНІ ПРОЄКТНІ РІШЕННЯ

2.1. Розрахунок силових електричних навантажень

Розрахунок силових електричних навантажень апаратного цеху розпочнемо з використання методу упорядкованих діаграм. Обчислення проведемо згідно з алгоритмом, описаним у додатку А.1 [1], а отримані дані систематизуємо та представимо у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Результати розрахунку навантажень апаратного цеху

Назва обладнання	$P_{вст},$ кВт	$N,$ шт	$\cos\varphi$	$k_{внк}$	$P_{ном},$ кВт	$tg\varphi$	Середні навантаження		Розрахункові навантаження	
							$P_{ср.зм},$ кВт	$Q_{ср.зм},$ кВАр	$P_p,$ кВт	$Q_p,$ кВАр
Танк 1	3	1	0,7	0,65	3	1,02	1,95	1,99	1,95	1,99
Танк 2	3	3	0,7	0,65	9	1,02	5,85	5,97	5,85	5,97
Сепаратор	17	5	0,7	0,65	85	1,02	55,25	56,35	55,25	56,35
Пасторизатор трубчастий	3	3	0,7	0,65	9	1,02	5,85	5,97	5,85	5,97
Пастеризаційно-охолоджувальна установка 1, 2	3/1,5	1/2	0,7	0,65	6	1,02	3,9	3,98	3,9	3,98
Підігрівач	3	1	0,7	0,6	3	1,02	1,8	1,84	1,8	1,84
Масло-виготовлювач 1	35	1	0,7	0,6	35	1,02	21	21,42	21	21,42
Масло-виготовлювач 2	35	1	0,7	0,6	35	1,02	21	21,42	21	21,42
Фасувальний автомат 1	2,2	2	0,7	0,6	4,4	1,02	2,64	2,69	2,64	2,69
Транспортер	5,5	4	0,66	0,6	22	1,13	13,2	14,9	13,2	14,9
Фасувальний автомат 2	2,2	2	0,7	0,6	4,4	1,02	2,64	2,69	2,64	2,69
Гомогенізатор	1,5	1	0,7	0,6	1,5	1,02	0,9	0,92	0,9	0,92
Заквасник	2,2	3	0,7	0,6	6,6	1,02	3,96	4,04	3,96	4,04
Танк 3	0,75	5	0,7	0,65	5,25	1,02	3,41	3,48	3,41	3,48
Насос	3	5	0,85	0,85	15	0,62	12,75	7,91	12,75	7,91
Всього	-	40	-	-	244	-	156,1	155,6	156,1	155,6

					<i>ЛНТУ.971024.000 ПЗ</i>							
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата								
Розробив		<i>Остапчук Д.І.</i>			Електропостачання заводу сухої молочної продукції встановленою потужністю 1500 кВт. Пояснювальна записка				Літ.	Арк.	Аркушів	
Перевірив		<i>Денисовець Т.М.</i>							д	11	23	
									ФАБЕ, гр. ЕЕ-41			
Н. контр.		<i>Ващелюк Ю.І.</i>										
Затвердив		<i>Волинець В.І.</i>										

Розрахунок силового навантаження усіх будівель та споруд молокозаводу проведемо аналогічно. Результати розрахунку показані в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Розрахунок силових навантажень молокозаводу

Назва підрозділу	Встановлена потужність $P_{вст}, кВт$	Розрахункові навантаження		
		$P_p, кВт$	$Q_p, кВАр$	$S_p, кВА$
Апаратний цех	244	156,1	155,60	220,41
Цех вакуум-випаровування	280	212,8	148,96	259,76
Сушильний цех	192	145,92	102,14	178,12
Насосна станція	120	91,2	63,84	111,32
Каналізаційна насосна станція	100	76	53,20	92,77
Котельня	221	167,96	117,57	205,02
Склад сухої продукції	30	22,8	15,96	27,83
Цех демінералізації	230	174,8	122,36	213,37
Насоси пожежних резервуарів	65	49,4	34,58	60,30
Лабораторія	18	13,68	9,58	16,70
Всього	1500	1110,66	777,46	1385,59

2.2. Розрахунок освітлювальних навантажень

2.2.1. Розрахунок освітлювальних навантажень підприємства

Відповідно до положень додатка А.2, виконаємо обчислення параметрів освітлювальної мережі молокозаводу. Отримані дані, що відображають сумарне навантаження на систему освітлення всіх підрозділів підприємства, будуть систематизовані та наведені в таблиці 2.3. Це дозволить коректно визначити встановлену потужність освітлювальних приладів та врахувати їхній вплив на загальний енергобаланс заводу.

Таблиця 2.3 – Розрахунок освітлювальних навантажень заводу

Назва корпусу	E_n , лк	F , m^2	h , м	$P_{плт}$, $\frac{Вт}{m^2}$	P_0 , кВт	Тип	$K_{пра}$	K_n	$tg\varphi$	$P_{ро}$, кВт	$Q_{ро}$, кВАр
Апаратний цех	200	1152	9	15	17,10	LED	1,2	0,9	0,33	18,66	6,16
Цех вакуум-випаровування	200	1140	9	15	17,33	LED	1,2	0,9	0,33	18,47	6,09
Сушильний цех	200	450	9	15	6,75	LED	1,2	0,9	0,33	7,29	2,41
Насосна станція	75	540	9	10	5,40	LED	1,2	0,9	0,33	5,83	1,92
Каналізаційна насосна станція	75	160	9	10	1,60	LED	1,2	0,9	0,33	1,73	0,57
Котельня	75	540	9	10	5,40	LED	1,2	0,9	0,33	5,83	1,92
Склад сухої продукції	75	240	12	10	2,40	LED	1,2	0,9	0,33	2,59	0,86
Цех демінералізації	200	290	9	15	4,35	LED	1,2	0,9	0,33	4,70	1,55
Насоси пожежних резервуарів	75	160	9	10	1,60	LED	1,2	0,9	0,33	1,73	0,57
Лабораторія	300	80	4	20	1,60	LED	1,2	0,9	0,33	1,73	0,57
Всього	-	4752	-	-	63,53	-	-	-	-	68,56	22,62

2.2.2. Розрахунок освітлювальної мережі апаратного цеху

Для нашого випадку площа апаратного цеху складає 1152 м², питома потужність складає 15 Вт/м² (2,25 Вт/м² для світлодіодних світильників). Згідно плану ми намічаємо собі 4 ряди по 10 світильників. Знайдемо потужність світильника:

$$P_{л} = \frac{1152 \cdot 2,25}{40} = 64,8 \text{ Вт.}$$

Приймаємо до влаштування LED світильник 100Вт HIGH BAY 130000lm 6500K серія PROFESSIONAL [5] (Ledmark).

Перерахуємо кількість світильників з врахуванням вибраної потужності світлодіодної лампи:

$$n = \frac{1152 \cdot 2,25}{100} = 25,9 \text{ шт.}$$

Отже, приймаємо до встановлення 26 світильників, розміщуючи їх згідно плану апаратного цеху.

Живлення робочого освітлення здійснюється від групового освітлювального щита типу ЩО-24 (Білмакс), номінальний струм якого 63 А. У ньому встановлені автоматичні вимикачі СНС ВА-72 63А. Живлення світильників від групового освітлювального щитка здійснюється проводом ПВС-3х4 з $I_{тр.дон}=50$ А.

2.3. Визначення сумарних навантажень

Підсумковий показник повної потужності на шинах низької напруги трансформаторної підстанції визначається шляхом підсумовування силових та освітлювальних навантажень. Розрахунок базується на алгоритмі, викладеному в джерелі [6], а всі фінальні значення для кожної групи споживачів представлені в таблиці 2.4. Це дає змогу оцінити загальне енергоспоживання об'єкта та підготувати дані для вибору силового трансформатора.

Таблиця 2.4 – Визначення сумарних навантажень заводу

Назва корпусу	$P_{ср зм},$ кВт	$Q_{ср зм},$ кВАр	$P_{ро},$ кВт	$Q_{ро},$ кВАр	$P_{р\Sigma},$ кВт	$Q_{р\Sigma},$ кВАр	$S_{р\Sigma},$ кВА
Апаратний цех	156,1	155,60	18,66	6,16	174,8	161,8	238,13
Цех вакуум-випаровування	212,8	148,96	18,47	6,09	231,3	155,1	278,44
Сушильний цех	145,92	102,14	7,29	2,41	153,2	104,5	185,48
Насосна станція	91,2	63,84	5,83	1,92	97,0	65,8	117,22
Каналізаційна насосна станція	76	53,20	1,73	0,57	77,7	53,8	94,51
Котельня	167,96	117,57	5,83	1,92	173,8	119,5	210,91
Склад сухої продукції	22,8	15,96	2,59	0,86	25,4	16,8	30,46
Цех демінералізації	174,8	122,36	4,70	1,55	179,5	123,9	218,11
Насоси пожежних резервуарів	49,4	34,58	1,73	0,57	51,1	35,2	62,05
Лабораторія	13,68	9,58	1,73	0,57	15,4	10,1	18,45
Всього	1110,66	777,46	68,56	22,62	1179,2	800,1	1425,02

2.4. Розрахунок картограми навантажень та визначення теоретичного центру навантажень

Для візуалізації розподілу споживання на підприємстві побудуємо картограму та визначимо центр електричних навантажень (ЦЕН) за активною потужністю. Використовуючи методику з додатка А.3, ми знайдемо оптимальну точку розміщення підстанції, що дозволить скоротити довжину ліній та знизити втрати енергії. Усі обчислені координати та характеристики вузлів навантаження наведені у таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Розрахунок картограми електричних навантажень

Назва корпусу	$X, \text{м}$	$Y, \text{м}$	$P_{p\Sigma} \cdot x$	$P_{p\Sigma} \cdot y$	$R, \text{см}$	α
Апаратний цех	43	120	7514,78	20971,49	7	38
Цех вакуум-випаровування	108	118	24976,94	27289,62	9	29
Сушильний цех	133	50	20376,93	7660,50	7	17
Насосна станція	67	50	6501,14	4851,60	6	22
Каналізаційна насосна станція	20	45	1554,56	3497,76	5	8
Котельня	98	50	17031,62	8689,60	7	12
Склад сухої продукції	10	133	253,92	3377,14	3	37
Цех демінералізації	70	10	12564,86	1794,98	8	9
Насоси пожежних резервуарів	20	17	1022,56	869,18	4	12
Лабораторія	10	66	154,08	1016,93	2	40
Всього	-	-	91951,40	80018,79	-	-

Згідно виразів (А.3.2)-(А.3.3) визначасмо координати центру активного навантаження:

$$X_{\text{цен}} = \frac{91951,40}{1179,2} = 78 \text{ м},$$

$$Y_a = \frac{80018,79}{1179,2} = 68 \text{ м}.$$

2.5. Вибір кількості та потужності трансформаторів

Для визначення оптимальної потужності силових трансформаторів скористаємося методикою з додатка А.4. Щоб знайти найбільш економічно вигідне рішення, ми проведемо порівняльний аналіз двох варіантів, базуючись

на методі приведених затрат. Усі розрахункові показники та техніко-економічне обґрунтування вибору наведені в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Вибір силових трансформаторів

Показник	Варіант I	Варіант II
$P_{p\Sigma}$, кВт	1179,20	1179,20
$Q_{p\Sigma}$, кВАр	800,10	800,10
$S_{p\Sigma}$, кВА	1425,02	1425,02
F , м ²	4752	4752
σ , кВА/м ²	0,11	0,11
Тип трансформатора	ТМ-1000	ТМ-1250
N_{min} , шт	1,7	1,3
m , шт	0	0
N_{onm} , шт	2	2
$Q_{max T}$, кВАр	754,64	1293,05
$Q_{НБК 1}$, кВАр	45,46	-492,95
K_{p1}	11	—
K_{p2}	15	—
γ	0,52	—
$Q_{НБК 2}$, кВАр	-285,36	—
$Q_{НБК}$, кВАр	45,46	—
Тип НБК	ККУ-0,4-25/3-5-21У3	—
ΔP_x , кВт	1,55	1,6
ΔP_k , кВт	10,8	14,7
τ_M , год	3862,2	3862,2
ΔW , тис.кВт·год	69,51	64,93
C_e , тис.грн	583,867	545,373
K , тис.грн	1412,57	1440,00
$З$, тис.грн	760,44	725,37

Приведені затрати другого варіанту менші, то обираємо до встановлення силовий трансформатор потужністю 1250 кВА вироблений ТОВ «УкрЕЛКОМ».

Перевіримо вибрані трансформатори на перевантажувальну здатність:

$$1,4 \cdot 1250 = 1750 > \frac{2 \cdot 1425,02}{2} = 1425,02 \text{ кВА.}$$

Умова виконується, тому ми приймаємо до встановлення вибрані трансформатори.

2.6. Компенсація реактивної потужності

Визначення потужності високовольтних конденсаторних батарей для компенсації реактивної енергії здійснимо згідно з алгоритмом, наведеним у додатку А.5. Такий розрахунок дозволяє значно знизити втрати потужності в мережі та покращити показники якості електроенергії на підприємстві. Усі обчислені параметри компенсаційних пристроїв для відповідних вузлів навантаження систематизовані та представлені в таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 – Розрахунок потужності ВБК

Показник	Одиниці вимірювання	Значення
Q_p	кВАр	800,1
Q_{max}	кВАр	450
$Q_{\text{НБК}}$	кВАр	0
ΔQ_T	кВАр	38,1
$k_{\text{НС}}$	—	0,9
Q_{M1}	кВАр	720,09
Q_{K1}	кВАр	270,09
$Q_{\text{НСТ}}$	кВАр	838,20
$Q_{\text{ВБК}}$	кВАр	308,19

Реактивну потужність 308,19 кВАр більш доцільно компенсувати на стороні низької напруги, тому приймаємо до встановлення на кожну шину 0,4 кВ таку марку конденсаторних установок: ККУ-0,4-170/6-10-21У3 [8] (УкрЕЛКОМ).

2.7. Визначення електричних навантажень на вищих рівнях

Алгоритм обчислення електричних параметрів для верхніх рівнів енергосистеми молокозаводу викладено в додатку А.6. Щоб отримати реальні значення потужності на високій стороні (ВН) трансформаторної підстанції, ми скоригуємо отримані раніше дані, врахувавши технічні втрати енергії безпосередньо у самих трансформаторах:

$$S_{P4} = \sqrt{(1179,2 + 6,8)^2 + (800,1 + 38,1 - 340)^2} = 1286,4 \text{ кВА},$$

$$\Delta P_{T1250} = 2 \cdot 1,6 + \frac{1}{2} \cdot 0,7^2 \cdot 14,7 = 6,8 \text{ кВт}.$$

2.8. Проектування зовнішньої мережі живлення підприємства

Визначаємо раціональну напругу живлення заводу:

$$U = \sqrt{1,2864 \cdot (100 + 15 \cdot \sqrt{1,4})} = 12,3 \text{ кВ}.$$

Орієнтуючись на шкалу стандартних значень, обираємо напругу 10 кВ як найбільш раціональну для електропостачання заводу. Визначення параметрів кабельних ліній (КЛ-10 кВ) базуватиметься на аналізі розрахункового струму в нормальному стані та з урахуванням пікового навантаження в післяаварійному режимі (при вимкненні однієї з ліній). Вибір перерізу та подальша перевірка кабелів на допустиме нагрівання здійснюється за алгоритмом, викладеним у додатку А.7. Струм післяаварійного режиму:

$$I_{n\text{ав}} = \frac{1286,4}{\sqrt{3} \cdot 10} = 74,4 \text{ А}.$$

					ЛНТУ.971024.000 ПЗ	Арк.
						18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для живлення ТП вибираємо високовольтний кабель марки – АПвЕгаПу «кабель силовий з алюмінієвими струмопровідними жилами, з ізоляцією з шитого поліетилену, з повздовжньою та поперечною герметизацією екрану, з посиленою зовнішньою оболонкою з поліетилену» [10]. Кабель прокладено в траншеї на глибині промерзання ґрунту (70см).

Розрахунковий струм в нормальному режимі за виразом А.7.5:

$$I_{\text{норм}} = \frac{1286,4}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 2} = 37,2 \text{ А.}$$

Усі розрахунки зведемо в таблицю 2.8.

Таблиця 2.8 – Вибір перерізу КЛ 10 кВ марки АПвЕгаПу

$F, \text{мм}^2$	$I_{\text{доп}}, \text{А}$	$I'_{\text{доп}}, \text{А}$	$r_0, \frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	$x_0, \frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	$\Delta U_{\text{норм}}, \text{В}$	$\Delta U_{\text{норм}}, \%$	$\Delta U_{\text{н ав}}, \%$	K_3	$\Delta P_{\text{н}}, \text{кВт}$	$\Delta P_{\text{д}}, \text{кВт}$	$C_e, \text{тис. грн.}$	$K, \text{тис. грн.}$	$З, \text{тис. грн.}$
35	119	128,52	0,894	0,095	69,57	0,696	1,391	0,29	62,02	5,25	170,39	2202,62	445,72
50	140	151,2	0,625	0,09	49,91	0,499	0,998	0,25	60,01	3,67	119,12	2339,44	411,55
70	171	184,68	0,447	0,086	36,87	0,369	0,737	0,20	64,03	2,63	85,19	2760,77	430,29
95	203	219,24	0,329	0,083	28,20	0,282	0,564	0,17	66,42	1,93	62,71	2862,8	420,56
120	232	250,56	0,261	0,081	23,19	0,232	0,464	0,15	68,82	1,53	49,74	3238,4	454,54

Приведені затрати на кабель перерізом 50 мм² найменші, отже приймаємо кабель марки АПвЕгаПу-10-3×50 (Південкабель) [10].

2.9. Проектування внутрішньої розподільної мережі

Оскільки на підприємстві відсутні споживачі, що потребують напруги 10 чи 6 кВ, усе технологічне обладнання живиться від мережі 0,4 кВ. Для забезпечення надійного енергопостачання цехів обрано змішану схему розподілу електроенергії. Вибір перерізів кабелів для цих ліній виконано згідно з методичними вказівками, наведеними в додатку А.8. Попередньо приймемо кабель марки ВББШв на 1 кВ «кабелі силові з мідними СПЖ, із ізоляцією з

ПВХ пластикату, броньовані сталевими оцинкованими стрічками, із захисним шлангом з ПВХ пластикату» [11].

Для живлення електрообладнання цехів, окрім апаратного цеху, вибираємо РП на напругу 0,4 кВ. Прийmemo до влаштування розподільні пункти ПР11 (Нафтаенергопром) [12] з ввідними автоматичними вимикачами ElectrO ВА 77-1-630 3Р 630А. Для апаратного цеху встановлюємо ввідний розподільчий пункт типу ВРП-1-13-20 (Нафтаенергопром). Розрахункові струми будемо визначати за виразом А.8.1. Результати розрахунків зведемо в таблиці 2.9 і 2.10.

Таблиця 2.9 – Вибір РП та захисної апаратури

Назва будівлі (дільниці)	$S_{p\Sigma},$ кВА	$I_p,$ А	Тип РП	$I_{доп РП},$ А	Кіль- кість приймачів	Кіль- кість ліній	Кіль- кість РП	Позн. на рис.2.1	Тип автoма- тичного вимикача
Апаратний цех	238,13	172,06	ВРП-1-13-20	630	40	2	1	ВРП	ВА 77-1
Цех вакуум-випаровування	278,44	201,18	ПР11	630	16	2	1	РП1	ВА 77-1
Сушильний цех	185,48	134,02	ПР11	630	11	2	1	РП3	ВА 77-1
Насосна станція	117,22	84,70	ПР11	630	12	2	1	РП9	ВА 77-1
Каналізаційна насосна станція	94,51	68,29	ПР11	630	10	2	1	РП4	ВА 77-1
Котельня	210,91	152,39	ПР11	630	8	2	1	РП5	ВА 77-1
Склад сухої продукції	30,46	44,01	ПР11	630	4	1	1	РП2	ВА 77-1
Цех демінералізації	218,11	157,60	ПР11	630	10	2	1	РП7	ВА 77-1
Насоси пожежних резервуарів	62,05	44,83	ПР11	630	4	2	1	РП8	ВА 77-1
Лабораторія	18,45	26,66	ПР11	630	4	1	1	РП6	ВА 77-1

Схему з'єднань показано на рис. 2.1.

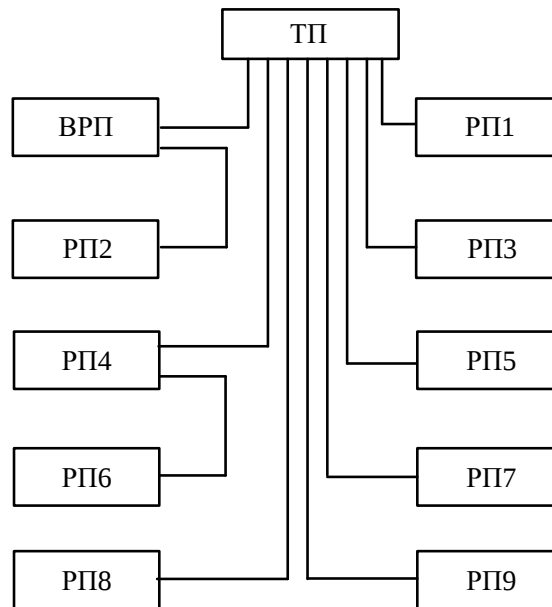


Рисунок 2.1 – Схема з'єднань РП та ТП

Таблиця 2.10 – Вибір ліній внутрішнього електропостачання заводу

Назва КЛ	n	$S_{p\Sigma},$ кВА	$I_p,$ А	Перері з кабелю ВББШв	$l,$ км	$I_{доп},$ А	$I_{наб},$ А	$I'_{наб},$ А	$r_0,$ $\frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	$x_0,$ $\frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	$\Delta U_{норм},$ %	$\Delta U_{наб},$ %	$F_e,$ мм ²
ТП-ВРП	2	256,58	185,39	4х185	0,024	376	370,78	374,49	0,1	0,078	0,2	0,5	93
ТП-РП4	2	124,97	90,30	4х70	0,153	214	180,59	182,40	0,265	0,082	1,6	3,2	45
ТП-РП8	2	62,05	44,83	4х25	0,162	123	89,67	90,56	0,74	0,091	2,0	4,1	22
ТП-РП9	2	117,22	84,70	4х50	0,088	173	84,70	85,54	0,37	0,085	1,1	1,1	42
ТП-РП7	2	218,11	157,59	4х150	0,159	332	315,19	318,34	0,124	0,079	1,6	3,2	79
ТП-РП5	2	210,91	152,39	4х150	0,145	332	304,78	307,83	0,124	0,079	1,4	2,8	76
ТП-РП3	2	185,48	134,02	4х120	0,158	294	268,03	270,72	0,154	0,08	1,6	3,2	67
ТП-РП1	2	278,44	201,18	4х240	0,041	435	402,37	406,39	0,077	0,077	0,4	0,8	101
ВРП-РП2	1	18,45	26,66	4х16	0,065	94	26,66	26,93	1,16	0,095	0,7	0,7	13
РП4-РП6	1	30,46	44,02	4х25	0,033	123	44,02	44,46	0,74	0,091	0,4	0,4	22

Оскільки допустимий струм для вибраних перерізів більше за післяаварійний, то приймаємо для всіх ліній вибрані перерізи.

2.10. Вибір схеми електропостачання апаратного цеху

Живлення приймачів цеху приймаємо за радіальною схемою. Розрахункове навантаження цеху становить $S_p=238,13$ кВА. Отже, струм лінії буде визначатись з виразу:

$$I_p = \frac{238,13}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 2} = 185,39 \text{ А.}$$

Згідно п. 2.9 даного проекту, для живлення цеху вибрано кабель марки ВБбШв-4х185-1 з допустимим струмом $I_{дон}=376$ А. Для живлення електрообладнання в цеху вибираємо кабель ВВГнгд (кабелі силові з мідними СПЖ, з ізоляцією з ПВХ пластикату, із зовнішньою оболонкою з ПВХ пластикату зниженої горючості та димоутворення).

Відповідно до даних таблиці 2.9, було прийнято рішення про встановлення ввідно-розподільного пристрою (ВРП), який забезпечує живлення чотирьох розподільних пунктів серії ПР11. Останні комплектуються автоматичними вимикачами ElectrO з допустимим струмом навантаження 630 А. Монтаж мережі передбачає комбінований підхід: основні лінії до ПР11 прокладаються на кабельних лотках, тоді як розводка безпосередньо до електроприймачів виконується в трубах, замонолічених у підлозі. Вибір перерізів кабелів здійснимо за розрахунковим струмом за виразом А.8.1. Результати вибору кабелю зведемо в таблицю 2.11.

					<i>ЛНТУ.971024.000 ПЗ</i>	Арк.
						22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.11 – Вибір перерізів КЛ 0,4 кВ

Назва обладнання	P_H , кВт	n , шт	$\cos \varphi$	I_p , А	$I_{\text{доп}}$, А	Переріз кабелю ВВГнгд
Танк 1	3	1	0,7	6,18	33	5x2,5
Танк 2	3	3	0,7	6,18	33	5x2,5
Пастеризатор трубчастий	3	3	0,7	6,18	33	5x2,5
Пастеризаційно-охолоджувальна установка 1	3	1	0,7	6,18	33	5x2,5
Пастеризаційно-охолоджувальна установка 2	1,5	2	0,7	3,09	33	5x2,5
Підігрівач	3	1	0,7	6,18	33	5x2,5
Насос 1	3	1	0,85	5,09	33	5x2,5
РП-1	Sp=30,23кВА	—	—	43,63	54	5x6
Сепаратор	17	5	0,7	35,05	43	5x4
РП-2	Sp=78,92кВА	—	—	113,91	123	5x25
Фасувальний автомат 1	2,2	2	0,7	4,54	33	5x2,5
Транспортер	5,5	4	0,66	12,04	33	5x2,5
Фасувальний автомат 2	2,2	2	0,7	4,54	33	5x2,5
Масловиготовлювач 1	35	1	0,7	72,17	94	5x16
Масловиготовлювач 2	35	1	0,7	72,17	94	5x16
РП-3	Sp=100,8кВА	—	—	172,6	123	5x50
Танк 3	0,75	7	0,7	1,55	33	5x2,5
Насос 2	3	2	0,85	5,09	33	5x2,5
Гомогенізатор	1,5	1	0,7	3,09	33	5x2,5
Заквасник	2,2	3	0,7	4,54	33	5x2,5
Насос 3	3	2	0,85	5,09	33	5x2,5
РП-4	Sp=22,27кВА	—		32,14	43	5x4

Оскільки перевірки виконуються, то приймаємо до встановлення вибрані перерізи кабелів.

2.11. Розрахунок струмів короткого замикання

2.11.1. Розрахунок струмів короткого замикання на стороні 10 кВ

$S_0=100$ МВА; $U_0 = U_{cp} = 10,5$; $S_{K3} = 78$ МВА.

Визначаємо опір системи:

$$\dot{X}_{C^*} = \frac{100}{78} = 1,28.$$

Розрахункова схема та схема заміщення показана на рисунках 2.2 та 2.3.

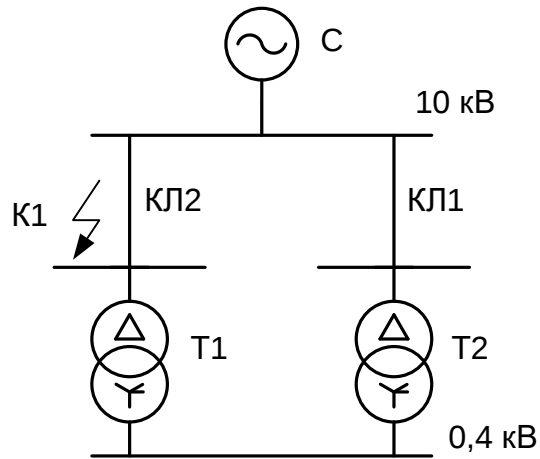


Рисунок 2.2 – Розрахункова схема

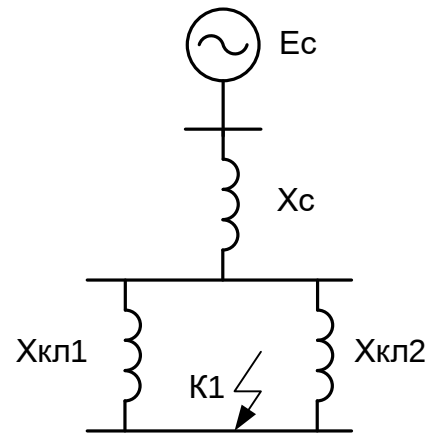


Рисунок 2.3 – Схема заміщення

Спрощена схема зображена на рис. 2.4, а результуюча на рис. 2.5.

Опір кабельної лінії:

$$x_{КЛ1^*} = 1,4 \cdot 0,09 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,114.$$

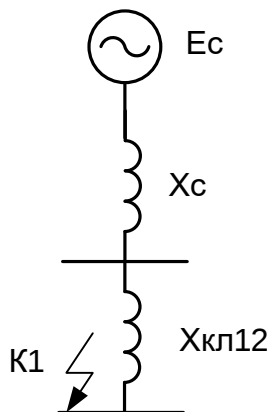


Рисунок 2.4 – Спрощена схема

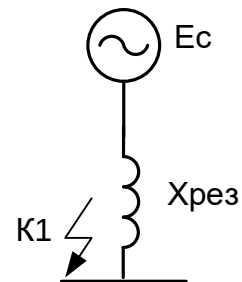


Рисунок 2.5 – Результуюча схема

Опір паралельних ліній за формулою:

$$x_{КЛ12^*} = \frac{0,114}{2} = 0,057.$$

Результуючий опір:

$$x_{рез*} = 1,28 + 0,057 = 1,337.$$

Струм КЗ в точці К1 становить:

$$I_{\sigma} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 5,5 \text{ кА},$$

$$I_{no} = \frac{5,5}{1,337} = 4,11 \text{ кА}.$$

$$i_y = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 4,11 = 10,46 \text{ кА}.$$

Мінімальний переріз, який стійкий до термічної дії струмів КЗ:

$$F_{\min} = \frac{4110}{65} \cdot \sqrt{0,25} = 31,6 \text{ мм}^2.$$

Так як $31,6 \text{ мм}^2$ менше за вибраний переріз 50 мм^2 , то остаточно приймаємо до встановлення кабель АПвЕгаПу-10-3х50.

Тепловий імпульс струму короткого замикання:

$$B_K = 3,94^2 \cdot 0,25 = 4,22 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

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

$U_{\sigma} = 0,4 \text{ кВ}$; $I_{KB} = 4,11 \text{ кА}$; $U_{CBH} = 10,5 \text{ кВ}$; $S_T = 1250 \text{ кВА}$, $\Delta P_K = 14,7 \text{ кВт}$,
 $u_K = 5,5\%$; параметри лінії показані в таблиці 2.11.

Згідно додатку А.10 визначаємо струми КЗ на стороні 0,4 кВ.

					<i>ЛНТУ.971024.000 ПЗ</i>	Арк.
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Опір системи:

- реактивний:

$$x_c = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 4,11} = 1,48 \text{ Ом};$$

- активний:

$$r_c = r_o \cdot l = 0,625 \cdot 1,4 = 0,875 \text{ Ом}.$$

Опір системи, який приведений до нижчої напруги:

- реактивний:

$$x_c^o = 1,48 \cdot \left(\frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 2,15 \text{ мОм};$$

- активний:

$$r_c^o = 0,875 \cdot \left(\frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 1,27 \text{ мОм}.$$

На рисунках 2.6 та 2.7 зображено розрахункову схему ТП та схему заміщення КЗ кола.

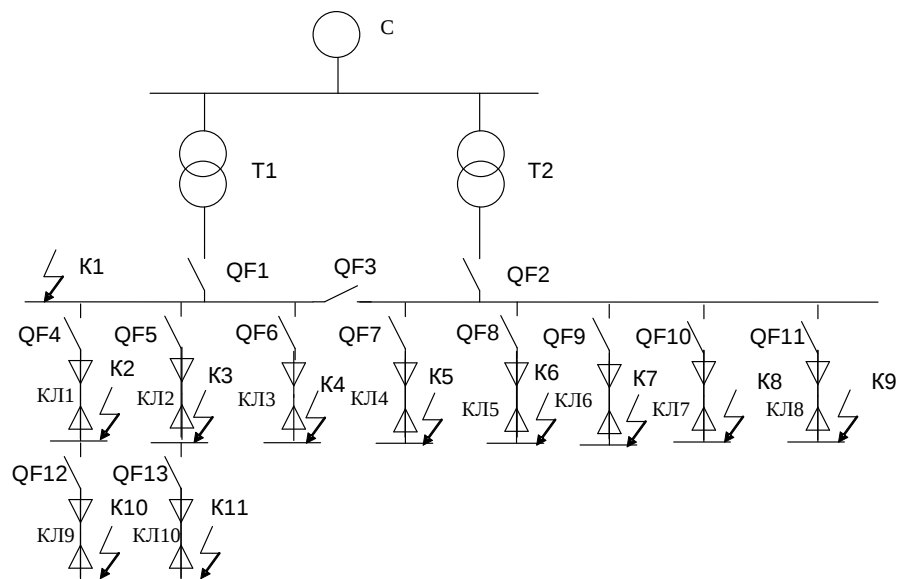


Рисунок 2.6 – Розрахункова схема ТП

					<i>ЛНТУ.971024.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

Опори трансформатора:

– активний:

$$r_T = \frac{14,7 \cdot 10^{-3} \cdot 0,4^2}{1,25^2} = 1,5 \text{ мОм};$$

– реактивний:

$$x_T = \frac{5,5}{100} \cdot \frac{0,4^2}{1250} = 0,007 \text{ мОм}.$$

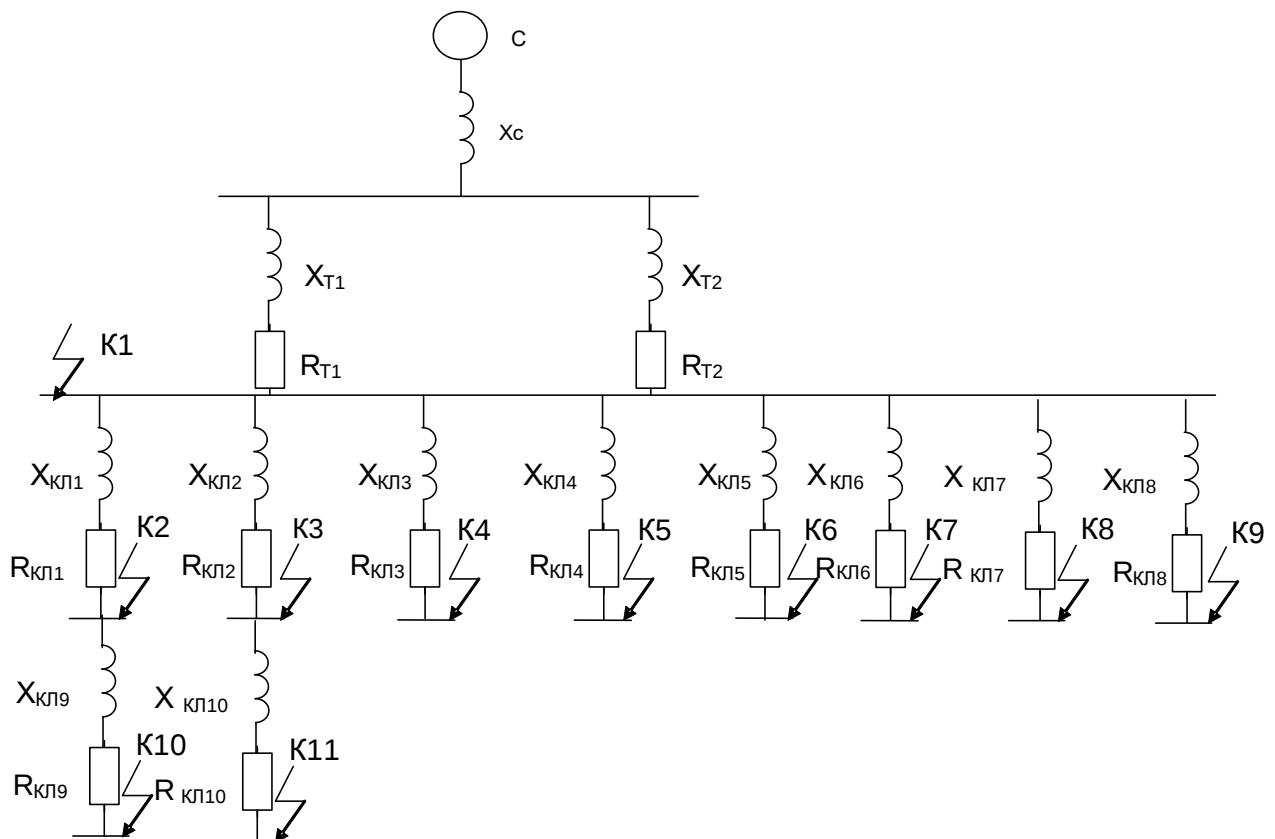


Рисунок 2.7 – Схема заміщення КЗ кола

Результуючі опори до точки К1:

– реактивний:

$$x_{рез1} = 2,15 + 0,007 = 2,157 \text{ мОм};$$

– активний:

$$r_{рез1}^o = 1,27 + 1,5 + 15 = 17,77 \text{ мОм.}$$

Розрахунок опорів КЛ зведемо в таблицю 2.12.

Таблиця 2.12 – Результати розрахунку опорів КЛ 0,4 кВ

Назва КЛ	l , км	r_o , Ом/км	r , мОм	χ_o , Ом/км	χ , Ом
КЛ1	0,024	0,1	2,400	0,078	1,872
КЛ2	0,153	0,265	40,545	0,082	12,546
КЛ3	0,162	0,74	119,880	0,091	14,742
КЛ4	0,088	0,37	32,560	0,085	7,480
КЛ5	0,159	0,124	19,716	0,079	12,561
КЛ6	0,145	0,124	17,980	0,079	11,455
КЛ7	0,158	0,154	24,332	0,08	12,640
КЛ8	0,041	0,077	3,157	0,077	3,157
КЛ9	0,065	1,16	75,400	0,095	6,175
КЛ10	0,033	0,74	24,420	0,091	3,003

Для підтвердження надійності обраних кабельних ліній проведемо їх перевірку на термічну стійкість до впливу струмів короткого замикання. Розрахунок базується на формулі (А.9.7), що наведена в даному кваліфікаційному проекті. Отримані результати, які підтверджують відповідність перерізів вимогам безпеки, систематизовано в таблиці 2.13.

Таблиця 2.13 – Результати перевірки вибраних КЛ 0,4 кВ

Точка КЗ	$\chi_{рез}$, мОм	$r_{дод}$, мОм	$r_{рез}$, мОм	$Z_{рез}$, мОм	I_k , кА	k_y	i_y , кА	F_{min} , мм ²	$F_{нр}$, мм ²
K1	2,157	15	17,77	17,90	12,92	1,05	19,12	—	—
K2	4,029	20	40,170	40,37	5,73	1	8,08	25	185
K3	14,703	20	78,315	79,68	2,90	1	4,09	13	70
K4	16,899	20	157,650	158,55	1,46	1	2,06	6	25
K5	9,637	20	70,330	70,99	3,26	1	4,59	14	50
K6	14,718	20	57,486	59,34	3,90	1	5,49	17	150
K7	13,612	20	55,750	57,39	4,03	1	5,68	18	150
K8	14,797	20	62,102	63,84	3,62	1	5,11	16	120
K9	5,314	20	40,927	41,27	5,60	1	7,90	25	240
K10	10,204	25	140,570	140,94	1,64	1	2,31	7	16
K11	17,706	25	90,347	92,07	2,51	1	3,54	11	25

Аналіз підтвердив, що всі попередньо обрані перерізи кабелів мають достатню термічну стійкість до впливу струмів короткого замикання. Оскільки кабелі здатні витримувати пікові теплові навантаження без пошкодження ізоляції, вони повністю відповідають вимогам безпеки та остаточно приймаються до реалізації в проєкті.

2.12. Вибір обладнання

2.12.1. Вибір комірок

Обладнання на стороні 10 кВ розміщують в комірках типу КСО304 (УкрЕЛКОМ) [16]. Результати вибору та перевірки зведемо в таблицю 2.14.

Таблиця 2.14 – Вибір комірок 10 кВ

Каталожні дані	Розрахункові дані
$U_{\text{ном.крп}}=10 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}}=10 \text{ кВ}$
$I_{\text{ном.крп}}=630 \text{ А}$	$I_{\text{р.мах}}=74,4 \text{ А}$
$I_{\text{ном.відкл.крп}}=20 \text{ кА}$	$I_{\text{к.мах}}=4,11 \text{ кА}$
$i_{\text{ном.дин.крп}}=51 \text{ кА}$	$i_{\text{у.мах}}=10,46 \text{ кА}$
$B_{\text{т}}=20^2 \cdot 1=400 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_{\text{к}}=4,11^2 \cdot 0,25= 4,22 \text{ кА}^2\text{с}$

Всі умови виконуються, отже, приймаємо остаточно комірки типу КСО-304.

2.12.2. Вибір роз'єднувачів

Попередньо приймаємо роз'єднувачі призначені для внутрішнього встановлення з ручним важільним приводом обладнані заземлюючими ножами РВ/ЕЛ [17] (УкрЕЛКОМ).

Результати перевірки зведемо в таблицю 2.15.

Таблиця 2.15 – Вибір роз'єднувачів 10 кВ

Розрахункові дані	Каталожні дані
$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
$I_{норм} = 37,2 \text{ А}$ $I_{макс} = 74,4 \text{ А}$	$I_{ном} = 630 \text{ А}$
$i_y = 10,46 \text{ кА}$	$i_{гр наскр} = 51 \text{ кА}$
$B_k = 4,11^2 \cdot 0,25 = 4,22 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_m = 20^2 \cdot 1 = 400 \text{ кА}^2\text{с}$

Так як умови виконуються, приймаємо остаточно роз'єднувачі типів PP/EL-PP-30-10-630У2.

2.12.3. Вибір вимикачів навантаження та запобіжників

У ввідних комірках встановлюємо вимикач навантаження з заземлюючим ножом без запобіжника. В трансформаторній комірці для захисту від КЗ встановлюємо вимикач навантаження з заземлюючим ножом із запобіжником. Вибираємо вимикач навантаження ВНР-РА/EL (УкрЕЛКОМ) [18]. Результати перевірки вимикачів навантаження та запобіжників зведемо в таблицю 2.16.

Таблиця 2.16 – Вибір вимикачів навантаження 10 кВ

Розрахункові дані	Каталожні дані
$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
$I_{норм} = 37,2 \text{ А}$ $I_{макс} = 74,4 \text{ А}$	$I_{ном} = 630 \text{ А}$
$i_y = 10,46 \text{ кА}$	$i_{гр наскр} = 25 \text{ кА}$
$I_{но} = 4,11 \text{ кА}$	$I_{гр наскр} = 10 \text{ кА}$
$B_k = 4,11^2 \cdot 0,25 = 4,22 \text{ кА}^2\text{с}$	$I_m^2 t_m = 20^2 \cdot 1 = 400 \text{ кА}^2\text{с}$
$I_{макс} = 74,4 \text{ А}$	$I_{ном.з} = 100 \text{ А}$
$I_{макс} = 74,4 \text{ А}$	$I_{вимк з} = 630 \text{ кА}$
$S'' = 78 \text{ МВА}$	$S_{.вимк з} = 200 \text{ МВА}$

Приймаємо до влаштування в комірках КСО304 вимикач навантаження ВНР-РА/EL-ПР-3-П-10-630-25У2 з запобіжником та без нього ВНР-РА/EL-ПР-3-10-630-25У2.

2.12.4. Вибір автоматичних вимикачів

Для комплектації розподільного пристрою 0,4 кВ на трансформаторній підстанції обрано панелі серії ЩО-04 виробництва компанії «УкрЕЛКОМ»[19]. Вони оснащені сучасними автоматичними вимикачами ElectrO [20], параметри яких перевіряються на відповідність технічним вимогам згідно з алгоритмом у додатку А.12. Весь процес підбору апаратів захисту, а також результати їхньої перевірки на вимикальну здатність і номінальні струми, представлено в таблиці 2.17.

Таблиця 2.17 – Вибір автоматичних вимикачів

Назва вимикача	Тип вимикача ElectrO	Каталожні дані			Розрахункові дані		
		$U_{ном.ав}, \text{кВ}$	$I_{ном.розщ}, \text{А}$	$I_{гр.вимк}, \text{кА}$	$U_{ном}, \text{кВ}$	$I_p, \text{А}$	$I_K, \text{кА}$
QF1	BA 77-1-1250	0,4	1250	50	0,4	1121	12,92
QF2	BA 77-1-1250	0,4	1250	50	0,4	1121	12,92
QF3	BA 77-1-250	0,4	250	35	0,4	185,39	5,73
QF4	BA 77-1-250	0,4	250	35	0,4	90,30	2,90
QF5	BA 77-1-250	0,4	250	35	0,4	44,83	1,46
QF6	BA 77-1-250	0,4	250	35	0,4	84,70	3,26
QF7	BA 77-1-250	0,4	250	35	0,4	157,59	3,90
QF8	BA 77-1-250	0,4	250	35	0,4	152,39	4,03
QF9	BA 77-1-250	0,4	250	35	0,4	134,02	3,62
QF10	BA 77-1-250	0,4	250	35	0,4	201,18	5,60
QF11	BA 77-1-1250	0,4	1250	50	0,4	1121	12,92
QF12	BA 77-1-250	0,4	250	35	0,4	185,39	5,73
QF13	BA 77-1-250	0,4	250	35	0,4	90,30	2,90
QF14	BA 77-1-250	0,4	250	35	0,4	44,83	1,46
QF15	BA 77-1-250	0,4	250	35	0,4	84,70	3,26
QF16	BA 77-1-250	0,4	250	35	0,4	157,59	3,90
QF17	BA 77-1-250	0,4	250	35	0,4	152,39	4,03
QF18	BA 77-1-250	0,4	250	35	0,4	134,02	3,62
QF19	BA 77-1-250	0,4	250	35	0,4	201,18	5,60

Отже, приймаємо до встановлення вибрані вимикачі.

2.12.5. Вибір вимірювальної апаратури

Для забезпечення комерційного обліку електроенергії на вводах низької напруги передбачено встановлення трифазних електронних лічильників Iskra MT174-T1 [21]. Їх підключення до силових мереж здійснюється через шинні вимірювальні трансформатори струму типу ТШ-0,66-1 виробництва заводу «Мегомметр» [22]. Перевірка обраних трансформаторів на відповідність класу точності та номінальному навантаженню вторинних кіл проводиться згідно з алгоритмом, викладеним у додатку А.13.

Результати перевірки зведемо в таблицю 2.18.

Таблиця 2.18 – Вибір шинних ТС

Каталожні дані	Розрахункові дані
$I_{ном\text{ТС}}=1200 \text{ А}$	$I_{p\text{ max}}= 1121 \text{ А}$
$U_{ном\text{ТС}}=0,72 \text{ кВ}$	$U_{ном}=0,4 \text{ кВ}$
$i_{ном\text{ дин}}=51 \text{ кА}$	$i_{y\text{ max}}= 19,12 \text{ кА}$
$B_m = I_m^2 t_m = 100 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_k = I_{k\text{ max}}^2 t_n = 12,92^2 \cdot 0,25 = 41,7 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$
$s_{2\text{ ном}}=5 \text{ ВА}$	$s_{2p}=0,286 \text{ ВА}$

Розрахунок номінального навантаження трансформатора струму подано в таблиці 2.19.

Таблиця 2.19 – Вибір лічильників

Назва приладу	Тип приладу	Навантаження, ВА
Електронний лічильник	Iskra MT174-T1	5
Всього	—	5

Із метою контролю струму на лініях, що відходять встановлюємо амперметр DJ-A96T [23], вибираємо трансформатори струму типу Т-0,66. Результати перевірки зведемо в таблицю 2.20.

					ЛНТУ.971024.000 ПЗ	Арк.
						32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.20 – Вибір ТС

Каталожні дані	Розрахункові дані
$I_{ном\text{ТС}}=250 \text{ A}$	$I_{p\text{ max}}= 201,18 \text{ A}$
$U_{ном\text{ТС}}=0,72 \text{ кВ}$	$U_{ном}=0,4 \text{ кВ}$
$i_{ном\text{дин}}= 51\text{кА}$	$i_{y\text{ max}}=8,08 \text{ кА}$
$B_m = I_m^2 t_m = 100 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_{\kappa} = I_{\kappa\text{ max}}^2 t_n = 5,73^2 \cdot 0,25 = 8,2 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$
$s_{2ном}=5 \text{ ВА}$	$s_{2p}=0,6 \text{ ВА}$

Отже, приймаємо до встановлення вибрані трансформатори струму.

РОЗДІЛ 3

РОЗРАХУНОК СЕП ТРАНСПОРТЕРУ

Транспортер встановлено в апаратному цеху підприємства. Усі розрахунки проводимо за методикою, яка наведена в додатку Б. Усі результати зведемо в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1 – Результати розрахунку та вибору транспортеру

Позначення , одиниця вимірювання	Значення
Вихідні дані	
v_k , м/с	0,6
D , м	0,5
i_p	23
η_n	0,8
$F_{n,\delta}$, Н	400
$F_{наб}$, Н	8500
F_o , Н	2200
k_3	1,1
Розрахункові дані	
F_c , Н	6260
$P_{дв}$, кВт	5,16
$\omega_{дв}$, рад/с	55,2
$n_{дв}$, об/хв	527
Каталожні дані	
$P_{ном}$,кВт	5,5
$U_{ном}$, В	380
$\omega_{ном}$, рад/с	100,9
$n_{ном}$, об/хв	964
$I_n / I_{ном}$	5,8
$\cos \varphi$	0,66
η , %	83,1

					ЛНТУ.971024.000 ПЗ			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив	Остапчук Д.І.				Електропостачання заводу сухої молочної продукції встановленою потужністю 1500 кВт. Пояснювальна записка	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірив	Денисовець Т.М.					Д	34	3
Н. контр.	Ващелюк Ю.І.					ФАБЕ, гр. ЕЕ-41		
Затвердив	Волинець В.І.							

Отже, вибираємо типу АВВ М2ВАХ 132МВ 6 ІЕ1 5,5 kW [24] (АВВ).

$$I_{\text{дв}} = \frac{5,5 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,66 \cdot 0,831} = 15,2 \text{ А},$$

Отже, вибираємо кабель ВВГнгд-5х2,5 з $I_{\text{дон}}=33 \text{ А}$, $x_0=0,116 \text{ Ом/м}$, $r_0=7,4 \text{ Ом/м}$. Результати вибору показані в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 - Вибір кабельної лінії транспортеру

Розрахункові дані	Каталожні дані
$I_{\text{дв}}=25,5 \text{ А}$	$I_{\text{дон}}=33 \text{ А}$
$\Delta U_{\text{норм.кл}}=5,3\text{В}$	—
$\Delta U_{\text{ном.дв}}=1,2 \%$	$\Delta U_{\text{дон}}=6\%$
$F_{\text{мін}}= 2,1 \text{ мм}^2$	$F=2,5 \text{ мм}^2$

Вибір автоматичного вимикача для захисту транспортеру проведемо в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Результати вибору автоматичного вимикача

Розрахункові дані	Каталожні дані
$U_{\text{ном.дв}}=380 \text{ В}$	$U_{\text{ном}}=380 \text{ В}$
$I_{\text{дв}}=15,2 \text{ А}$	$I_{\text{ном.авт}}=20 \text{ А}$
$1,25I_{\text{дв}}=1,25 \cdot 15,2=19 \text{ А}$	$I_{\text{спр.розщ}}= 20 \text{ А}$
$I_{\text{кз}}^{(3)}=1,41 \text{ кА}$	$I_{\text{спр.вимк}}= 6 \text{ кА}$

Отже, приймаємо до встановлення автоматичний вимикач серії ВА1-63 (ElectrO).

Алгоритм керування електроприводом транспортера організовано так.

1. Синхронна робота (UZ1, UZ2): Основне завдання швидкості формується за допомогою потенціометра RP1, підключеного до першого перетворювача. Для

забезпечення узгодженого руху обох двигунів сигнал завдання передається з виходу UZ1 на вхід UZ2, що гарантує ідентичність їхніх характеристик.

2. Зворотний зв'язок (SQ1, SQ2): За контроль реальних обертів відповідають оптичні датчики. На основі отриманих імпульсів частотні перетворювачі автоматично підлаштовують вихідну частоту, нівелюючи вплив змінного навантаження на стабільність швидкості.

3. Логіка захисту (KL1-KL3): Система безпеки базується на релейній схемі. У разі виникнення внутрішньої помилки ПЧ спрацьовують реле KL1 або KL2, які миттєво блокують роботу приводу. Запуск обладнання виконується кнопкою SB3 через проміжне реле KL3, а повернення системи в робочий стан після усунення несправностей - кнопкою SB1.

Ключові особливості: 1. Реалізовано частотне регулювання з жорсткою міжприводною синхронізацією.

2. Використано імпульсний зворотний зв'язок за швидкістю для високої точності.

3. Передбачено захист від самовільного пуску та автоматичне самоблокування при аварійних режимах.

Схема керування транспортером зображена на рисунку 3.1.

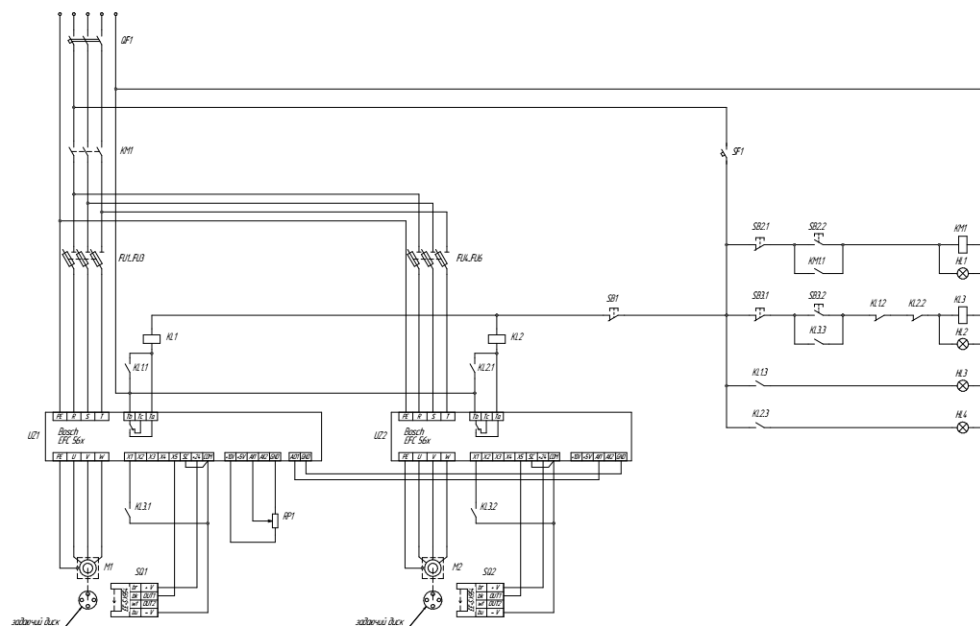


Рисунок 3.1 – Схема керування транспортером

РОЗДІЛ 4

САПР

Для обчислення ЦЕН у другому розділі було використано математичний пакет РТС Mathcad. Результати програмного розрахунку наведено на рисунках 4.1–4.3.

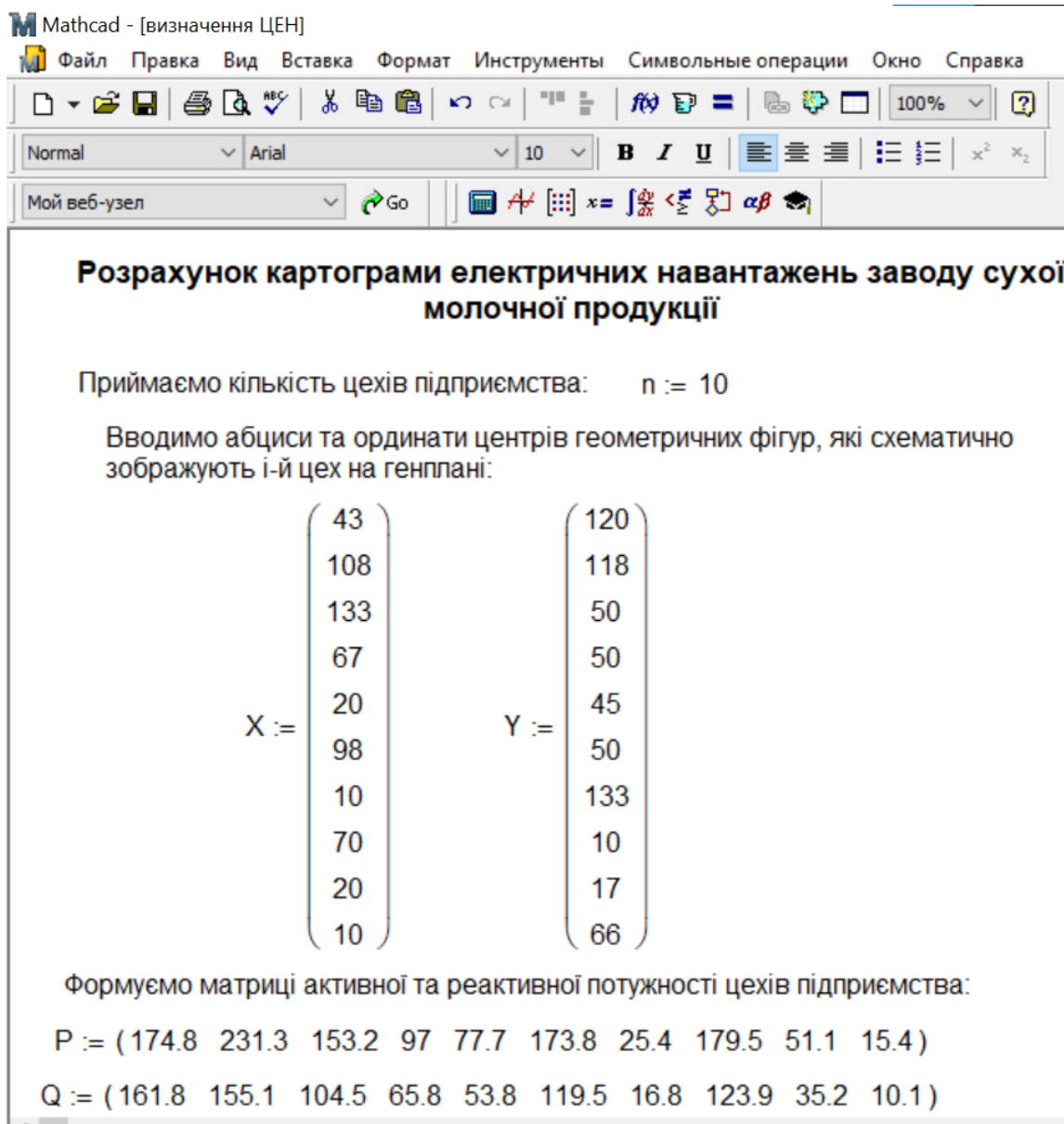


Рисунок 4.1 – Розрахунок центру електричних навантажень проєктованого підприємства

					<i>ЛНТУ.971024.000 ПЗ</i>								
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата									
Розробив		<i>Остапчук Д.І.</i>			Електропостачання заводу сухої молочної продукції встановленою потужністю 1500 кВт. Пояснювальна записка			Літ.		Арк.		Аркушів	
Перевірив		<i>Денисовець Т.М.</i>						Д		37		2	
								ФАБЕ, гр. ЕЕ-41					
Н. контр.		<i>Ващелюк Ю.І.</i>											
Затвердив		<i>Волинець В.І.</i>											

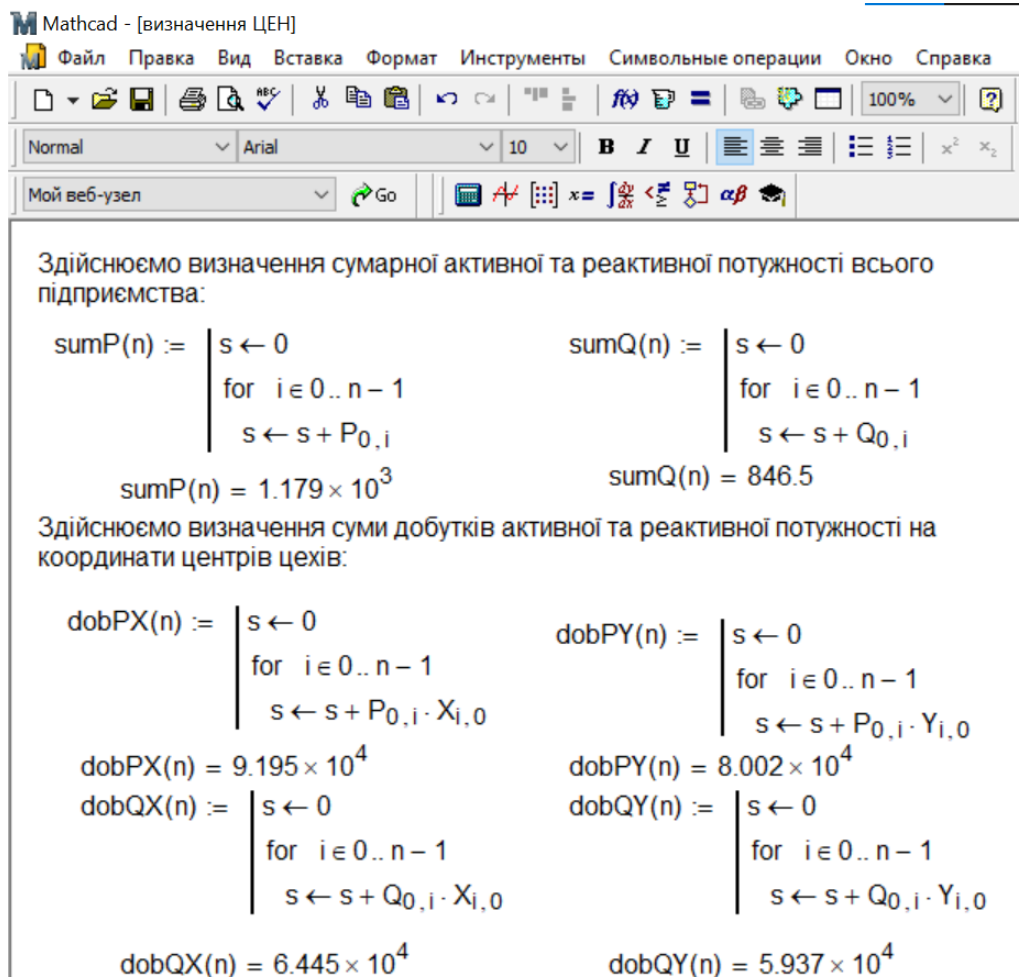


Рисунок 4.2 - Розрахунок центру електричних навантажень проєктованого підприємства

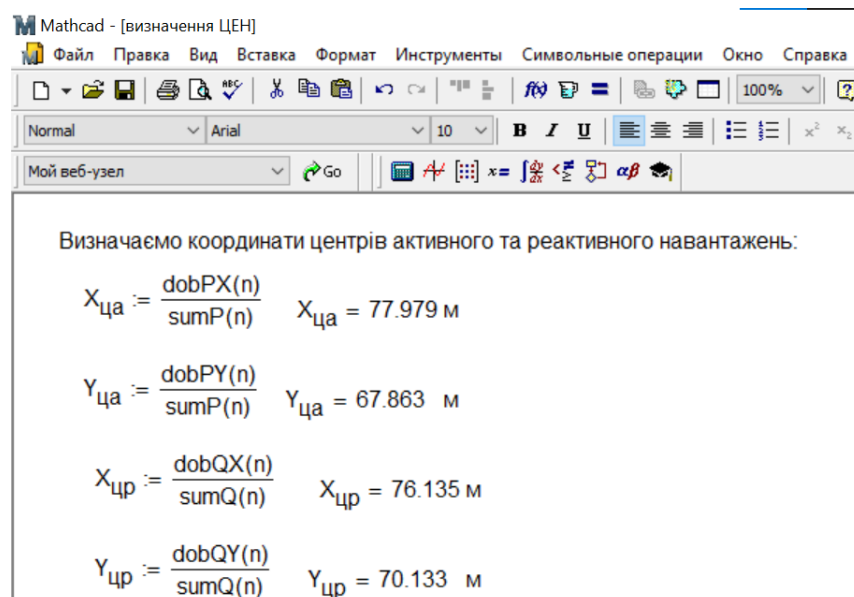


Рисунок 4.3 - Розрахунок центру електричних навантажень проєктованого підприємства

РОЗДІЛ 5

ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА

Розрахунок захисного заземлення електрообладнання апаратного цеху

Розрахунок захисного заземлення обладнання апаратного цеху проведемо відповідно до додатку В.

Таблиця 5.1 – Вхідні параметри та результати розрахунку захисного заземлення

<u>Вхідні параметри</u>	
1	2
Спосіб розташування вертикальних заземлювачів	в ряд
Розміри цеху, м	24x48
Матеріал та форма заземлювачів	сталь, труба
Розмір заземлювачів: - довжина, м - зовнішній діаметр, м	2,5 0,07
Ширина шини, м	0,07
Вид ґрунту	суглинок
Глибина залягання заземлюючого пристрою, м	0,7
<u>Результати розрахунку</u>	
Питомий опір ґрунту, Ом·м [25, т.5.1]	40
Кліматичний коефіцієнт φ_2 [25, т.5.2]	1,5
Розрахунковий питомий опір ρ_p , Ом·м	60
Відстань від поверхні землі до середини заземлювача t , м	1,95
Опір розтіканню струму однієї вертикальної труби R_{od} , Ом	17,58
Орієнтовна відстань між трубами a , м	82
Кількість заземлювачів n' , шт.	2

					<i>ЛНТУ.971024.000 ПЗ</i>			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив	Остапчук Д.І.				Електропостачання заводу сухої молочної продукції встановленою потужністю 1500 кВт. Пояснювальна записка	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірив	Денисовець В.І.						53	2
Н. контр.	Ващелюк Ю.І.					ФАБЕ, гр. ЕЕ-41		
Затвердив	Волинець В.І.							

Продовження таблиці 5.1

1	2
Коефіцієнт використання стержньових заземлювачів η [25, т.5.3]	0,9
Необхідна кількість заземлювачів з врахуванням коефіцієнта використання n , шт.	2
Коефіцієнт використання для шин $\eta_{ш}$ [25, т.5.4]	0,77
Опір розтіканню струму з'єднувальної шини $R_{ш}$, Ом	27,5
Опір заземлюючого пристрою без врахування опору шини $R_{ст}$, Ом	12,35
Загальний опір заземлюючого пристрою R , Ом	8,5

Оскільки загальний опір заземлюючого пристрою 8,5 Ом менший за нормативне значення 10 Ом, то приймаємо розроблену систему контуру заземлення до впровадження. Кількість заземлювачів - 2, розміщених в ряд.

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

Для забезпечення нормативного рівня надійності електропостачання споживачів II категорії проєктом передбачено двотрансформаторну підстанцію з радіальною схемою розподілу енергії. Зовнішнє живлення об'єкта реалізовано високовольтним кабелем марки АПвЕгаПу-10 перерізом 50 мм², параметри якого верифіковано відповідними розрахунками. З метою оптимізації показників якості електроенергії на шинах низької напруги встановлено дві конденсаторні установки ККУ-0,4-170/6-10-21УЗ. Вибрана комутаційно-захисна апаратура відповідає сучасним стандартам та гарантує сталу роботу системи як у номінальному, так і в післяаварійному режимах.

В індивідуальному розділі розраховано систему електропостачання транспортера апаратного цеху, для привода якого обрано електродвигун АВВ серії M2BAX 132MB 6 IE1 номінальною потужністю 5,5 кВт. За допомогою інструментарію САПР у середовищі Mathcad виконано аналітичне визначення координат центру електричних навантажень заводу.

Питання виробничої безпеки опрацьовано в розділі «Електробезпека», де розраховано контур захисного заземлення обладнання цеху: отримане значення опору заземлювального пристрою 8,5 Ом повністю відповідає вимогам нормативних документів (не більше 10 Ом).

					<i>ЛНТУ.971024.000 ПЗ</i>	Арк.
						41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. ДСТУ-Н Б В.2.5-80:2015. Настанова з проектування систем електропостачання промислових підприємств. [Чинний від 01.07.2016]. Вид. офіц. К: Мінрегіон України, 2016. 49 с.
2. Бурбело, М. Й. Розрахунок внутрішнього електропостачання : навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2017. 122 с.
3. Суворова К. І. Промислове освітлення : конспект лекцій для магістрів денної форми навчання спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка освітньо-професійної програми «Світлотехніка і джерела світла» / К. І. Суворова ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. 82 с.
4. ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення. [Чинний від 01.03.2019]. Вид. офіц. К: Мінрегіон України, 2018. 137 с.
5. Освітлювальне обладнання. URL: <https://ledmark.com.ua/led-svitylnyk-100vt-high-bay-130000lm-6500k-seriia-professional/>
6. Бурбело М.Й. Проектування систем електропостачання. Приклади розрахунків. Навчальний посібник. Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. 148 с.
7. Рудницький В.Г. Внутрішньозаводське електропостачання. Курсове проектування: навчальний посібник 2-ге вид., перероб. та доповн. Київ : Освіта України, 2013. 287 с.
8. Конденсаторні установки. URL: https://www.ukrelcom.com/kond_uk.php
9. Калужний Д.М. Конспект лекцій з курсу «Електропостачання та електрозбереження» (для студентів 4 курсу денної та заочної форм навчання за напрямом підготовки 6.050701 – Електротехніка та електротехнології та слухачів другої вищої освіти зі спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Електротехнічні системи електроспоживання) / Д. М. Калюжний, А. О. Карюк, І. Є. Щербак; Харків. нац.

					<i>ЛНТУ.971024.000 ПЗ</i>	Арк.
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2016. 124 с.

10. Кабелі силові 10 кВ з ІШП. URL:

<https://www.yuzhcable.info/index.php?CAT=10&MRI=100107&UN=10>

11. Кабелі силові з ПВХ ізоляцією 1 кВ. URL:

<https://www.yuzhcable.info/cat/18/mri/180102/un/1>

12. Пункт розподільний 0,4 кВ. URL

<https://electrocontrol.com.ua/ua/elektroshhitovoe-oborudovanie/punkt-raspredelitelnyj-pr11-pr11d>

13. Правила улаштування електроустановок. Видання офіційне. Міненерговугілля України. Х. : Видавництво «Форт», 2017. 760 с.

14. Мілих В.І. Електропостачання промислових підприємств: Підручник для студентів електромеханічних спеціальностей / В.І. Мілих, Т.П. Павленко. Харків: ФОП Панов А.М., 2018. 269 с.

15. Перехідні процеси в системах електропостачання: підручник для ВНЗ / Г.Г. Півняк та ін. ; за заг. ред. Г.Г. Півняка. 5-е вид., доопрац. і допов. Дніпро : НГУ, 2016. 600 с.

16. Камера збірна одностороннього обслуговування КСО304. URL: https://www.ukrelcom.com/kso_uk.php

17. Роз'єднувач РР/ЕL-10. URL: https://www.ukrelcom.com/rn_uk.php

18. Вимикач навантаження 10 кВ. URL https://www.ukrelcom.com/v5_uk.php

19. Розподільчі комірки ЩО-04. URL: https://www.ukrelcom.com/sho_uk.php

20. Автоматичні вимикачі ElectrO. URL: <https://electrocontrol.com.ua/ua/av/electro>

21. Лічильник електроенергії Iskra.

URL: <https://schetchiki.com.ua/schetchiki-elektroenergii/iskra-mt174-t1-detail>

22. Трансформатори струму ТШ-0,66-2, Т-0,66. URL:

<https://www.megommetr.com/product-category/production-uk/transformers/>

23. Амперметр електронний трифазний TENSE DJ-A96T. URL:

https://principal.ua/p710081373-ampermetr-trehfaznyj-elektronnyj.html?source=merchant_center&gclid=CjwKCAiAjs2bBhACEiwALTBW

					<i>ЛНТУ.971024.000 ПЗ</i>	Арк.
						43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

[ZUvEEvSlnA9fhSwmOSG7C4EF_TquAifL4HMMa83UG2NynrutKe9QpxoCHncQ
AvD_BwE](#)

24. Електродвигун АВВ. URL: <https://systemax.ua/ua/elektrodivigateli/trehfaznye-obshepromyshlennye-elektrodivigateli/m2-ie1/m2bax-132mb-6-ie1-5-5.html>

25. Сивко В.Й. Розрахунки з охорони праці: навчальний посібник. Житомир. ЖІТІ, 2001. 152 с.

					<i>ЛНТУ.971024.000 ПЗ</i>	Арк.
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		