

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 ХАРЧОВОГО
УСТАТКУВАННЯ ВСТАНОВЛЕНОЮ ПОТУЖНІСТЮ
1100 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
Козакевич Богдан Петрович

(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

КОЗАКЕВИЧ Б. П. Електропостачання заводу харчового устаткування встановленою потужністю 1100 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 харчового устаткування встановленою потужністю 1100 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 74 сторінки, 12 рисунків, 23 таблиці, 26 джерел літератури.

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

ANNOTATION

KOZAKEVYCH B. Power supply of food equipment factory with an installed capacity of 1100 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 food equipment factory an installed capacity of 1100 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 74 pages, 12 figures, 23 tables, 26 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 механообробного 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	16
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 механообробного 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	31
РОЗДІЛ 3 РОЗРАХУНОК СЕП ВЕНТИЛЯЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ	33
РОЗДІЛ 4 САПР	37
РОЗДІЛ 5 ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА	39
ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ	41
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	42
ДОДАТКИ	45

					<i>ЛНТУ.971016.000 ПЗ</i>			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		Козакевич Б.П.			Електропостачання заводу харчового устаткування встановленою потужністю 1100 кВт. Пояснювальна записка	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірив		Денисовець Т.М.				Д	6	74
Н. контр.		Ващелюк Ю.І.				ФАБЕ, гр. ЕЕ-41		
Затвердив		Волинець В.І.						

ВСТУП

Проектування системи електропостачання сучасного машинобудівного підприємства, яким є завод харчового устаткування, вимагає врахування високої концентрації точних технологій (лазерна різка, зварювальні пости, пресове обладнання). Забезпечення високої якості електроенергії та надійності живлення є критичним фактором для запобігання браку продукції та виходу з ладу вартісних систем керування. Даний проєкт спрямований на створення СЕП, що поєднує в собі технічну ефективність та економічну доцільність.

Мета проєкту полягає у розробці раціональної системи електропостачання заводу, яка гарантує сталу роботу електроприймачів у всіх режимах експлуатації та мінімізацію втрат потужності в мережах.

Об'єкт проектування - внутрішні та зовнішні мережі електропостачання заводу харчового устаткування, включаючи трансформаторні підстанції та розподільні пункти.

Результатом проєкту є технічно обґрунтована система, що забезпечує гнучкість при модернізації виробництва та високу експлуатаційну надійність.

					<i>ЛНТУ.971016.000 ПЗ</i>	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1

КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ПРОЄКТУВАННЯ

Технологічний процес заводу з виробництва харчового устаткування - це цикл перетворення металопрокату (переважно нержавіючої сталі) у готові агрегати. Основні етапи включають:

1. Заготовча операція: лазерна або плазмова різка листового металу, рубка на гільйотинах та гнуття заготовок на станках із ЧПК.

2. Механічна обробка: токарні та фрезерні роботи для виготовлення валів, форсунок, кріплень та інших точних деталей.

3. Зварювання: основний етап, де найчастіше використовується аргонодугове зварювання (TIG) для створення герметичних та гігієнічних швів, що відповідають санітарним нормам.

4. Фінішна обробка: шліфування, полірування або пасивація поверхонь для запобігання корозії та забезпечення легкої мийки обладнання.

5. Складання та випробування: монтаж приводів, електроніки (датчиків, ПЛК), тестування на герметичність та перевірка роботи під навантаженням.

На проєктованому підприємстві основний технологічний процес проходить у механообробному, слюсарно-зварювальному, складальному та електромонтажному цехах. Також на території підприємства знаходяться конструкторське бюро, відділ технічного контролю, насосна станція, автобокси та склади.

На рисунку 1.1 зображено генеральний план підприємства.

					<i>ЛНТУ.971016.000 ПЗ</i>			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Електропостачання заводу харчового устаткування встановленою потужністю 1100 кВт. Пояснювальна записка	Літ.	Арк.	Аркушів
Розробив		Козакевич Б.П.				д	8	3
Перевірив		Денисовець Т.М.						
Н. контр.		Ващелюк Ю.І.				ФАБЕ, гр. ЕЕ-41		
Затвердив		Волинець В.І.						

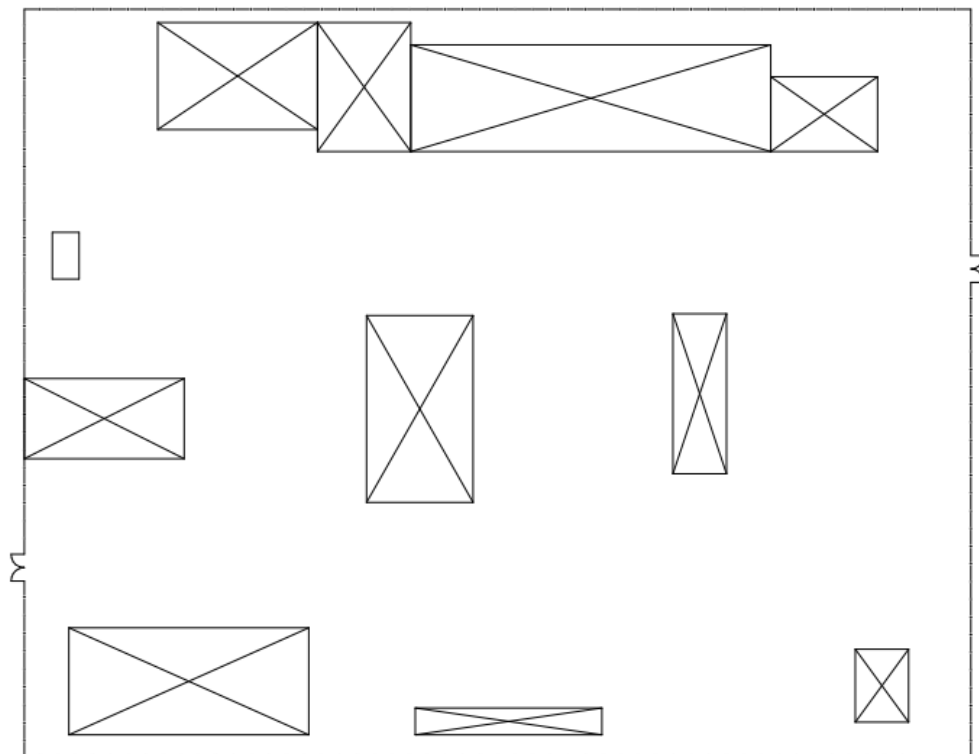


Рисунок 1.1 – Генеральний план проєктованого підприємства

У даному проєкті особлива увага буде приділятися розрахунку електричних навантажень механообробного цеху, де встановлено таке технологічне обладнання як: різноманітні металообробні верстати, кран-балка та вентиляційна установка.

Вихідні параметри для розрахунку:

- площа підприємства - 20800 м²;
- площа цехів та будівель - 7776 м²;
- встановлена потужність підприємства - 1100 кВт;
- довжина живлячої кабельної лінії – 1,8 км.
- джерело живлення - шини 10 кВ РПС;
- потужність струму КЗ - 62 МВА;
- кількість робочих змін - 2;
- кількість годин роботи обладнання в рік - 4000 год;
- кількість годин роботи обладнання при максимальному навантаженні - 3500 год;

					<i>ЛНТУ.971016.000 ПЗ</i>	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- реактивна потужність, яка дозволена до використання енергосистемою
 $Q_{\text{етax}}=330$ кВАр.

Встановлена потужність та площа цехів підприємства наведена в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 - Встановлена потужність та площа цехів підприємства

Назва цеху	Встановлена потужність $P_{\text{вст}}$, кВт	Площа цехів S , м ²
Механообробний цех	234	1950
Слюсарно-зварювальний цех	269	756
Складальний цех	236	864
Електромонтажний цех	135	432
Конструкторське бюро	12	288
Відділ технічного контролю	10	288
Насосна станція	142	648
Автобокси	20	252
Склад готової продукції	19	1296
Склад матеріалів	23	1008
Разом	1100	7776

За надійністю електропостачання споживачі підприємства відносяться переважно до II та III категорій. До II категорії відносяться 92% (споживачі виробничих цехів та насосної станції), до III категорії – 8 % (споживачі інших допоміжних будівель).

ОСНОВНІ ПРОЄКТНІ РІШЕННЯ

2.1. Розрахунок силових електричних навантажень

Визначення розрахункових електричних навантажень механообробного цеху виконано згідно з методикою [1], деталізованою в Додатку А.1. Отримані результати систематизовано та наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Визначення розрахункових навантажень механообробного цеху

Назва групи приймачів електричної енергії	Встановлена потужність, <i>кВт</i>		<i>n</i>	<i>K_{вик}</i>	<i>m</i>	<i>tgφ</i>	Середнє навантаження за найбільш завантажену зміну		<i>n_{еф}</i>	<i>K_{тах}</i>	Розрахункове навантаження	
	<i>P_в</i>	<i>P_{ном}</i>					<i>P_{ср зм}</i> , <i>кВт</i>	<i>Q_{ср зм}</i> , <i>кВАр</i>			<i>P_p</i> , <i>кВт</i>	<i>Q_p</i> , <i>кВАр</i>
Верстат токарний	10	100	10	0,15	1	1,33	15	19,95	10	2,4	36	21,95
Радіально-свердлильний верстат	9,23	55,4	6	0,14	1	1,33	7,76	10,32	6	2,85	22,12	11,35
Верстат фрезерний	8	48	6	0,14	1	1,33	6,72	8,94	6	2,85	19,15	9,83
Кран-балка	5,5	11	2	0,06	1	1,98	0,66	1,31	2	4,5	2,97	1,44
Установка зварювальна	6,5	13	4	0,35	1	1,51	9,1	13,74	4	2,7	24,57	15,12
<i>Всього із змінним графіком навантаження</i>	-	227,4	28	-	-	-	39,46	54,55	-	-	104,81	59,69
Вентиляційна установка	1,5	6	4	0,65		0,75	3,9	2,93	4	-	3,9	2,93
<i>Всього з постійним графіком навантаження</i>	-	-	-	-	-	-	3,9	2,93	-	-	3,9	2,93
Разом	-	234	32	-	-	-	43,36	57,48	-	-	108,71	62,62

					ЛНТУ.971016.000 ПЗ						
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Електропостачання заводу харчового устаткування встановленою потужністю 1100 кВт. Пояснювальна записка	Літ.	Арк.	Аркушів			
Розробив	Козакевич Б.П.					д	11	22			
Перевірив	Денисовець Т.М.					ФАБЕ, гр. ЕЕ-41					
Н. контр.	Ващелюк Ю.І.										
Затвердив	Волинець В.І.										

Аналогічно за «методом упорядкованих діаграм» [1] визначимо розрахункові навантаження для інших цехів та об'єктів підприємства. Результати розрахунку показані в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Визначення розрахункових навантажень усього підприємства

Назва цеху	Встановлена потужність $P_{вст}, \text{кВт}$	Розрахункові навантаження		
		$P_p, \text{кВт}$	$Q_p, \text{кВАр}$	$S_p, \text{кВА}$
Механообробний цех	234	108,71	62,62	125,46
Слюсарно-зварювальний цех	269	209,82	190,94	283,69
Складальний цех	236	184,08	167,51	248,89
Електромонтажний цех	135	105,30	95,82	142,37
Конструкторське бюро	12	9,36	8,52	12,66
Відділ технічного контролю	10	7,80	7,10	10,55
Насосна станція	142	110,76	100,79	149,76
Автобокси	20	15,60	14,20	21,09
Склад готової продукції	19	14,82	13,49	20,04
Склад матеріалів	23	17,94	16,33	24,26
Разом	1100	784,19	677,31	1036,19

2.2. Розрахунок освітлювальних навантажень

2.2.1. Розрахунок освітлювальних навантажень підприємства

Для визначення потужності освітлення застосовано методику питомої густини навантаження (Додаток А.2) з використанням світлодіодних джерел світла. Розрахункові дані систематизовано в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Результати розрахунку освітлювальних навантажень

Назва	$E_{норм},$ лк	$F,$ $м^2$	$h,$ м	$P_{нум},$ $\frac{Вт}{м^2}$	$P_0,$ кВт	Тип лампи	$K_{пра}$	K_n	$tg\varphi$	$P_{ро},$ кВт	$Q_{ро},$ кВАр
Механообробний цех	150	1944	6	15	29,16	LED	1,2	0,9	0,33	31,49	10,39
Слюсарно-зварювальний цех	150	756	6	15	11,34	LED	1,2	0,9	0,33	12,25	4,04
Складальний цех	150	864	6	15	12,96	LED	1,2	0,9	0,33	14,00	4,62
Електромонтажний цех	150	432	6	15	6,48	LED	1,2	0,9	0,33	7,00	2,31
Конструкторське бюро	300	288	4	20	5,76	LED	1,2	0,9	0,33	6,22	2,05
Відділ технічного контролю	250	288	4	20	5,76	LED	1,2	0,9	0,33	6,22	2,05
Насосна станція	75	648	5	12	7,776	LED	1,2	0,9	0,33	8,40	2,77
Автобокси	75	252	5	15	3,78	LED	1,2	0,9	0,33	4,08	1,35
Склад готової продукції	75	1296	9	10	12,96	LED	1,2	0,9	0,33	14,00	4,62
Склад матеріалів	75	1008	9	10	10,08	LED	1,2	0,9	0,33	10,89	3,59
Разом	-	7776	-	-	106,056	-	-	-	-	114,54	37,80

2.2.2. Розрахунок освітлювальної мережі механообробного цеху

Об'єктом детального проєктування освітлення є механообробний цех площею 1950 м². Для світлотехнічного розрахунку прийнято питому потужність 15 Вт/м², значення якої адаптовано під використання світлодіодного обладнання згідно з нормативними таблицями перерахунку.

$$P_{нумLED} = \frac{P_{нумLP}}{6,66} = \frac{15}{6,66} = 2,25 \text{ Вт/м}^2.$$

Згідно плану ми намічаємо собі 4 ряди по 10 світильників. Підставляємо відомі значення у вираз та знайдемо потужність лампи.

$$P_{св} = \frac{1950 \cdot 2,25}{40} = 109,7 \text{ Вт}.$$

					ЛНТУ.971016.000 ПЗ					Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						13

Вибираємо світлодіодну лампу потужністю 100 Вт, яка встановлена у світильнику типу PYRAMID-100 [5] (HOROS ELECTRIC).

Перерахуємо кількість світильників з врахуванням вибраної потужності світлодіодної лампи:

$$n_{ce} = \frac{1950 \cdot 2,25}{100} = 43,8 \text{ шт.}$$

Отже, приймаємо 4 ряди світильників по 11 світильників в кожному ряду.

В якості освітлювального щитка вибираємо щиток робочого освітлення типу ЩО-4 (Білмакс), номінальний струм якого 50 А. Живлення світильників від освітлювального щитка здійснюється проводом ПВСм-3х2,5 з $I_{mp \cdot don} = 34$ А (Одескабель).

2.3. Визначення сумарних навантажень

Визначимо повне сумарне навантаження підприємства користуючись [6].

У таблиці 2.4 представлені результати розрахунку.

Таблиця 2.4 – Результати розрахунку сумарних навантажень

Назва	$P_{ср зм},$ кВт	$Q_{ср зм},$ кВАр	$P_{ро},$ кВт	$Q_{ро},$ кВАр	$P_{p\Sigma},$ кВт	$Q_{p\Sigma},$ кВАр	$S_{p\Sigma},$ кВА
Механообробний цех	108,71	62,62	31,49	10,39	140,2	73,0	158,1
Слюсарно-зварювальний цех	209,82	190,94	12,25	4,04	222,1	195,0	295,5
Складальний цех	184,08	167,51	14,00	4,62	198,1	172,1	262,4
Електромонтажний цех	105,30	95,82	7,00	2,31	112,3	98,1	149,1
Конструкторське бюро	9,36	8,52	6,22	2,05	15,6	10,6	18,8
Відділ технічного контролю	7,80	7,10	6,22	2,05	14,0	9,2	16,7
Насосна станція	110,76	100,79	8,40	2,77	119,2	103,6	157,9
Автобокси	15,60	14,20	4,08	1,35	19,7	15,5	25,1
Склад готової продукції	14,82	13,49	14,00	4,62	28,8	18,1	34,0
Склад матеріалів	17,94	16,33	10,89	3,59	28,8	19,9	35,0
Разом	784,19	677,31	114,54	37,80	898,7	715,1	1148,5

2.4. Розрахунок картограми навантажень та визначення теоретичного центру навантажень

Згідно з методикою Додатка А.3, розраховано параметри картограми та встановлено центр електричних навантажень об'єкта. Зведені результати обчислювальних операцій містяться в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Результати розрахунку картограми навантажень

Назва	$x, \text{м}$	$y, \text{м}$	$P_{p\Sigma} \cdot x$	$P_{p\Sigma} \cdot y$	$r, \text{см}$	α , град.
Механообробний цех	127	148	17805,76	20750,01	7	81
Слюсарно-зварювальний цех	74	150	16432,97	33310,08	8	20
Складальний цех	50	153	9903,84	30305,75	8	25
Електромонтажний цех	152	80	17069,36	8983,87	6	22
Конструкторське бюро	192	15	2991,51	233,71	2	144
Відділ технічного контролю	177	15	2481,68	210,31	2	160
Насосна станція	18	76	2144,85	9056,01	6	25
Автобокси	109	10	2145,38	196,82	3	75
Склад готової продукції	38	17	1095,04	489,89	3	175
Склад матеріалів	88	77	2536,72	2219,63	3	136
Разом	-	-	74607,11	105756,10	-	-

Координати ЦЕН визначаємо за виразами (А.3.2)-(А.3.3):

$$X_A = \frac{74607,11}{898,7} = 83 \text{ м},$$

$$Y_A = \frac{105756,10}{898,7} = 118 \text{ м}.$$

2.5. Вибір кількості та потужності трансформаторів

Критично важливим етапом проєктування є вибір силових трансформаторів ТП паралельно з визначенням потужності низьковольтних батарей конденсаторів (НБК). Обчислення виконуються за алгоритмом, наведеним у Додатку А.4, а результати систематизовано в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Порівняння варіантів вибору потужності силових трансформаторів

Показник	Варіант I	Варіант II
$P_{p\Sigma}$, кВт	898,70	898,70
$Q_{p\Sigma}$, кВАр	715,10	715,10
$S_{p\Sigma}$, кВА	1148,49	1148,49
F , м ²	7776	7776
σ , кВА/м ²	0,15	0,15
Тип трансформатора	ТМ-1250	ТМ-1000
N_{min} , шт	1,05	1,3
m , шт	0	0
N_{ontm} , шт	2	2
$Q_{max\ T}$, кВАр	1501,61	1073,47
$Q_{НБК\ 1}$, кВАр	-786,51	-358,37
K_{p1}	—	—
K_{p2}	—	—
γ	—	—
$Q_{НБК\ 2}$, кВАр	—	—
$Q_{НБК}$, кВАр	—	—
Тип НБК	—	—
ΔP_x , кВт	1,6	1,55
ΔP_k , кВт	14,7	10,8
τ_m , год	1968,2	1968,2
ΔW , тис.кВт·год	40,24	41,17
C_e , тис.грн	338,05	345,87
K , тис.грн	1440,00	1388,00
$З$, тис.грн	518,05	519,37

Затрати І варіанту менші, отже ми приймаємо до встановлення два трансформатора типу ТМ-1250.

Перевіримо їх на перевантажувальну здатність з врахуванням відключення споживачів III категорії надійності сумарна потужність яких складає 129,6 кВА:

$$1,4 \cdot 1250 = 1750 > \frac{2 \cdot (1148,5 - 129,6)}{2} = 1018,9 \text{ кВА.}$$

Умова виконується. Приймаємо до встановлення трансформатор ТМ-1250/10.

2.6. Компенсація реактивної потужності

Визначення потужності конденсаторних установок (КУ) на стороні 10 кВ виконано за алгоритмом Додатка А.5. Згідно з джерелом [9], сумарна потужність КУ підприємства розраховується на основі балансу між максимальною реактивною потужністю споживачів та лімітами енергосистеми, встановленими постачальною організацією. Результати обчислень наведено в таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 – Результати розрахунку потужності ВБК

Показник	Одиниці вимірювання	Значення
Q_p	кВАр	715,1
$Q_{\text{етах}}$	кВАр	330
$Q_{\text{НБК}}$	кВАр	0
ΔQ_T	кВАр	38,1
$k_{\text{НС}}$	—	0,85
$Q_{\text{М1}}$	кВАр	607,84
$Q_{\text{К1}}$	кВАр	277,84
$Q_{\text{НСТ}}$	кВАр	753,20
$Q_{\text{ВБК}}$	кВАр	315,94

Компенсацію розрахункової реактивної потужності передбачено на стороні 0,4 кВ. Це рішення зумовлене тим, що використання високовольтних конденсаторних установок призвело б до недопустимої перекомпенсації в мережі. Приймаємо до встановлення на кожну шину 0,4 кВ ТП конденсаторні батареї УКРМ-(АКУ)-0,4-160-20 [8] (Slavgor).

2.7. Визначення електричних навантажень на вищих рівнях

Розрахунок електричних навантажень на вищих рівнях системи електропостачання (СЕР) виконано за ієрархічним методом. Методологічну основу обчислень становить алгоритм, наведений у Додатку А.6. За виразами (А.6.1, А.6.2) визначимо розрахункове навантаження на стороні високої напруги:

$$S_{p4} = \sqrt{(898,7 + 6,8)^2 + (715,1 + 38,1 - 320)^2} = 1003,8 \text{ кВА},$$

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

2.8. Проектування зовнішньої мережі живлення підприємства

Рациональна напруга за [9] визначається за виразом:

$$U = \sqrt{1,0038 \cdot (100 + 15 \cdot \sqrt{1,8})} = 10,98 \text{ кВ}.$$

Оскільки 10 кВ є найближчим стандартним номіналом, дану напругу обрано для зовнішнього електропостачання. Джерелом живлення слугує РПС (L = 1,8 км). Розрахункове значення струму післяаварійного режиму визначено за алгоритмом Додатка А.7.

					<i>ЛНТУ.971016.000 ПЗ</i>	Арк.
						18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I_{n\text{ ав}} = \frac{1003,8}{\sqrt{3} \cdot 10} = 58 \text{ A.}$$

Для зовнішньої схеми живлення вибираємо кабель марки – АПвЕгаПу-10 «кабель силовий з алюмінієвими СПЖ, ізоляцією зі зшитого поліетилену, поздовжньою та поперечною герметизацією екрану та посиленою зовнішньою оболонкою з поліетилену» [10].

Визначаємо розрахунковий струм в нормальному режимі за (А.7.5):

$$I_{\text{норм}} = \frac{1003,8}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 2} = 29 \text{ A.}$$

Результати вибору представлені в таблиці 2.8.

Таблиця 2.8 – Результати вибору перерізу КЛ 10 кВ

F , мм^2	$I_{\text{доп}}$, A	$I'_{\text{доп}}$, A	r_0 , $\frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	x_0 , $\frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	$\Delta U_{\text{норм}}$, B	$\Delta U_{\text{норм}}$, $\%$	$\Delta U_{n\text{ ав}}$, $\%$	K_3	ΔP_H , кВт	ΔP_ϕ , кВт	C_e , тис. грн.	K , тис. грн.	3 , тис. грн.
35	119	113,526	0,894	0,095	53,86	0,54	1,08	0,26	62,22	4,06	67,12	2831,94	421,12
50	140	133,56	0,625	0,09	38,64	0,39	0,77	0,22	60,20	2,84	46,93	3007,85	422,91
70	171	163,134	0,447	0,086	28,54	0,29	0,57	0,18	64,24	2,03	33,56	3549,56	477,26
95	203	193,662	0,329	0,083	21,83	0,22	0,44	0,15	66,63	1,49	24,70	3680,69	484,79
120	232	221,328	0,261	0,081	17,95	0,18	0,36	0,13	69,04	1,19	19,60	4163,62	540,05

Отже, приймаємо кабель марки АПвЕгаПу-10-3×35 мм² (Південкабель) до встановлення.

2.9. Проектування внутрішньої розподільної мережі

Для електропостачання розподільних пунктів 0,4 кВ прийнято змішану схемну топологію: радіальну - для споживачів II категорії та магістральну для III категорії (рис. 2.1). Таке рішення оптимізує капітальні витрати без шкоди для надійності живлення пріоритетних об'єктів. Для внутрішньозаводської

					<i>ЛНТУ.971016.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

схеми живлення вибираємо кабель ВВГнг [11] (Південкабель) «кабель силовий з мідною струмонесучою жилою, з ізоляцією з ПВХ пластикату, із зовнішньою оболонкою з ПВХ пластикату зниженого горіння». Так як даний кабель не має броні, то він прокладається в траншеї в пластиковій трубі на глибині 0,7 м.

Електроприймачі цехів під'єднуються до розподільчих пунктів 0,4 кВ. Вибираємо до встановлення розподільні пункти ПР11м (EAST EXPRESS) [12] з ввідними автоматичними вимикачами ВА44-33 (ІЕК, КНР). Розрахункові струми будемо визначати з виразом (А.8.1).

У додатку А.8. показана методика вибору кабельних ліній 0,4 кВ. Результати розрахунків занесено в таблиці 2.9 і 2.10.

Таблиця 2.9 – Результати вибору розподільних пристроїв 0,4 кВ та захисної апаратури

Назва будівлі (цеху)	$S_{p\sum},$ 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 вимикача
Механообробний цех	158,1	114,23	ПР11м	480	32	2	1	РП6	ВА44-33
Слюсарно-зварювальний цех	295,5	213,51	ПР11м	480	17	2	1	РП3	ВА44-33
Складальний цех	262,4	189,60	ПР11м	480	14	2	1	РП1	ВА44-33
Електромонтажний цех	149,1	107,73	ПР11м	480	9	2	1	РП4	ВА44-33
Конструкторське бюро	18,8	27,17	ПР11м	480	5	1	1	РП10	ВА44-33
Відділ технічного контролю	16,7	24,13	ПР11м	480	4	1	1	РП9	ВА44-33
Насосна станція	157,9	114,09	ПР11м	480	8	2	1	РП2	ВА44-33
Автобокси	25,1	36,27	ПР11м	480	5	1	1	РП8	ВА44-33
Склад готової продукції	34,0	49,13	ПР11м	480	6	1	1	РП5	ВА44-33
Склад матеріалів	35,0	50,58	ПР11м	480	5	1	1	РП7	ВА44-33

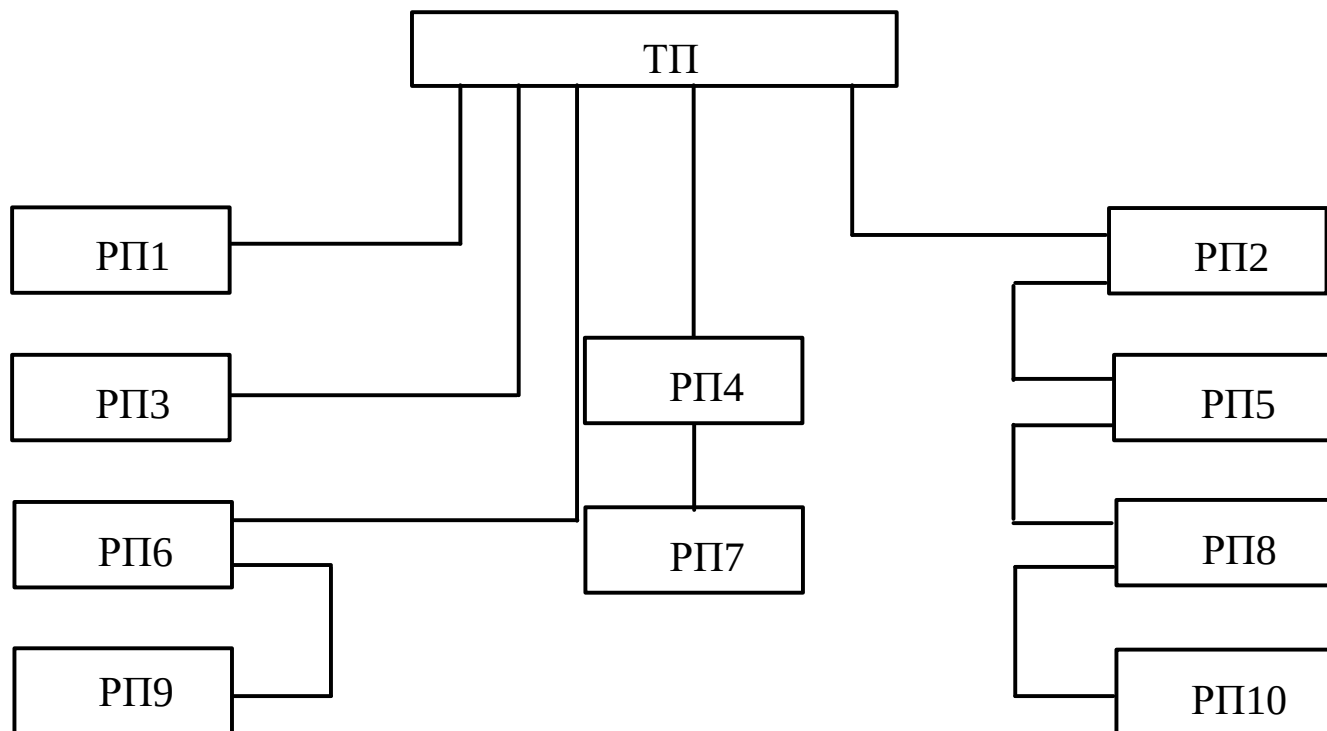


Рисунок 2.1 – Структурна схема внутрішньозаводської мережі

Таблиця 2.10 – Результати перевірки вибраних перерізів КЛ 0,4 кВ

Назва КЛ	n	$S_{p\Sigma},$ кВА	$I_p,$ А	Переріз кабелю ВВГнг	$l,$ км	$I_{доп},$ А	$F_e,$ мм ²	$I_{наб},$ А	$I'_{наб},$ А	$r_0,$ $\frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	$x_0,$ $\frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	$\Delta U_{норм},$ %	$\Delta U_{наб},$ %
ТП-РП1	2	262,4	189,60	4x240	0,053	435	61	379,19	382,98	0,077	0,077	0,47	0,95
ТП-РП3	2	295,5	213,51	4x240	0,082	435	69	427,02	431,29	0,077	0,077	0,82	1,65
ТП-РП6	2	174,8	126,30	4x95	0,13	259	41	252,60	255,13	0,195	0,081	1,45	2,93
ТП-РП4	2	181,4	131,07	4x120	0,182	294	42	262,14	264,76	0,154	0,08	1,77	3,57
ТП-РП2	2	235,8	170,38	4x185	0,065	376	55	340,75	344,16	0,1	0,078	0,61	1,23
РП6-РП9	1	16,7	24,13	4x10	0,071	73	8	24,13	24,37	1,84	0,099	1,13	1,15
РП4-РП7	1	35	50,58	4x16	0,047	94	16	50,58	51,08	1,16	0,095	1,01	1,02
РП2-РП5	1	77,9	112,57	4x50	0,066	173	36	112,57	113,70	0,37	0,085	1,12	1,13
РП5-РП8	1	43,9	63,44	4x25	0,08	123	20	63,44	64,07	0,74	0,091	1,42	1,43
РП8-РП10	1	18,8	27,17	4x10	0,082	73	9	27,17	27,44	1,84	0,099	1,48	1,49

Обрані перерізи кабелів марки ВВГнг-1 відповідають вимогам щодо допустимих втрат напруги. На основі проведених розрахунків дані перерізи прийняті до впровадження.

2.10. Вибір схеми електропостачання механообробного цеху

Оскільки електроприймачі механообробного цеху належать до II категорії надійності, для їх живлення від РП-0,4 кВ прийнято радіальну схему. Як розподільне устаткування використано пункт серії ПП11м (EAST EXPRESS), обґрунтування вибору якого наведено у п. 2.9. Розрахункове навантаження механообробного цеху становить $S_p=174,8$ кВА (з врахуванням потужності ВТК).

Визначимо струм нормального режиму:

$$I_p = \frac{174,8}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 2} = 126,3 \text{ А.}$$

Згідно п. 2.9 даного проєкту, вибрано кабель марки ВВГнг-4х95 з допустимим струмом $I_{дон}=259$ А (від даного РП ще живиться ВТК).

Вибір перерізу кабельних ліній здійснено за виразом (А.8.1) з урахуванням розрахункового струму та коефіцієнта потужності. Отримані дані зведені у таблиці 2.11. Передбачено відкритий спосіб прокладання кабелів на лотках.

Таблиця 2.11 – Результати вибору перерізів КЛ 0,4 кВ механообробного цеху

Назва обладнання	Номінальна потужність P_H , кВт	Кількість, шт	$\cos \varphi$	I_p , А	Переріз кабелю ВВГнг	$I_{дон}$, А
Верстат токарний	10	10	0,6	24,08	5х4	33
Верстат радіально-свердлильний	9,23	6	0,6	22,23	5х4	33
Верстат фрезерний	8	6	0,6	19,27	5х4	33
Кран-балка	5,5	2	0,45	17,66	5х4	33
Установка зварювальна	6,5	4	0,55	17,08	5х4	33
Вентиляційна установка	1,5	4	0,8	2,71	5х4	33

Так як усі 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

Вихідні дані: $S_{\bar{o}}=100$ МВА; $U_{\bar{o}} = U_{cp} = 10,5$ кВ.; $S_{K3} = 62$ МВА.

Опір системи:

$$\dot{X}_{C*} = \frac{100}{62} = 1,61.$$

На рисунках 2.2 та 2.3 зображена розрахункова та схема заміщення.

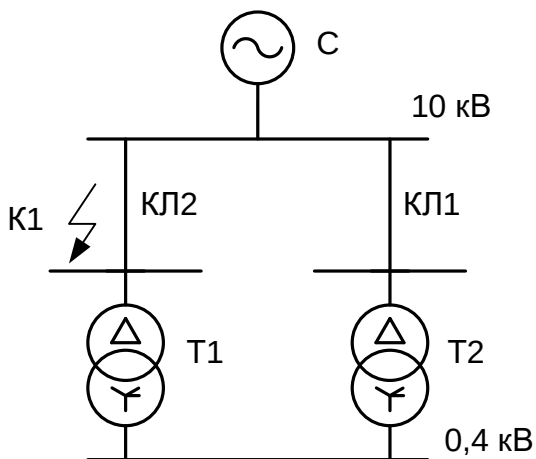


Рисунок 2.2 – Розрахункова схема

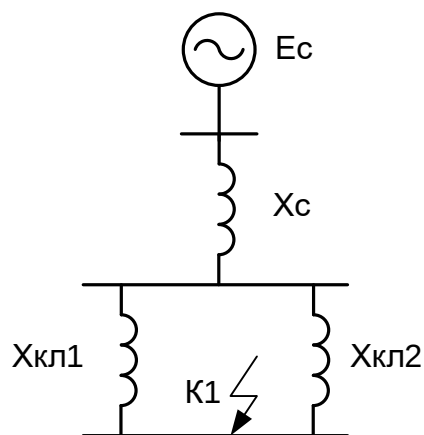


Рисунок 2.3 – Схема заміщення

Опір кабельної лінії:

$$x_{KL1*} = 1,8 \cdot 0,095 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,155.$$

Опір паралельних ліній за формулою (рис. 2.4):

$$x_{KЛ12*} = \frac{0,155}{2} = 0,077.$$

Результуючий опір (рис. 2.5):

$$x_{рез*} = 1,61 + 0,077 = 1,69.$$

Схема набуває вигляду, зображеного на рисунку 2.5.

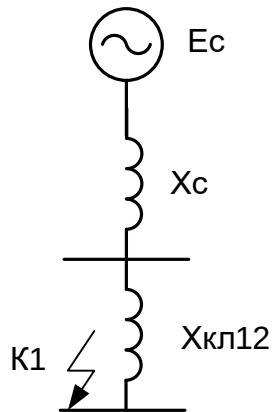


Рисунок 2.4 – Перетворення
схеми заміщення

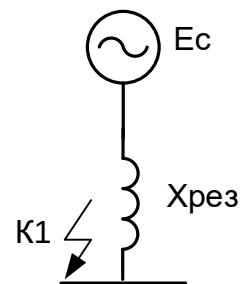


Рисунок 2.5 – Результуючий опір

Струм КЗ в точці К1 становить:

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

$$I_{no} = \frac{5,5}{1,69} = 3,25 \text{ кА}.$$

$$i_y = \sqrt{2} \cdot 1,3 \cdot 3,25 = 5,11 \text{ кА}.$$

Визначимо мінімальний переріз кабелю, який буде стійким до термічної дії струмів короткого замикання:

					ЛНТУ.971016.000 ПЗ	Арк.
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$F_{\min} = \frac{3250}{65} \cdot \sqrt{0,25} = 25 \text{ мм}^2.$$

Остаточно приймаємо до встановлення кабель марки АПвЕгаПу-10-3×35, оскільки його переріз перевищує мінімально допустиме значення (25 мм²), визначене розрахунком. Розрахуємо також тепловий імпульс струму короткого замикання:

$$B_K = 3,25^2 \cdot 0,25 = 2,64 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

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

Розраховувати струми КЗ на стороні низької напруги будемо відповідно до методики, яка наведена в додатку А.10.

Вихідні дані: $U_{\phi} = 0,4 \text{ кВ}$; $I_{KB} = 3,25 \text{ кА}$; $U_{CBH} = 10,5 \text{ кВ}$; $S_T = 1250 \text{ кВА}$, $\Delta P_K = 14,7 \text{ кВт}$, $u_K = 5,5\%$; $i_{xx} = 0,85\%$.

Параметри вибраної лінії подано в таблиці 2.12.

Реактивний опір системи:

$$x_c = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 3,25} = 1,87 \text{ Ом}.$$

Активний опір системи:

$$r_c = r_o \cdot l = 0,894 \cdot 1,8 = 1,609 \text{ Ом}.$$

Опір системи, який приведений до нижчої напруги:

- реактивний:

					<i>ЛНТУ.971016.000 ПЗ</i>	Арк.
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$x_c^o = 1,87 \cdot \left(\frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 2,71 \text{ мОм};$$

- активний:

$$r_c^o = 1,609 \cdot \left(\frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 2,33 \text{ мОм}.$$

На рисунках 2.6 та 2.7 показано розрахункову схему ТП та схему заміщення КЗ кола:

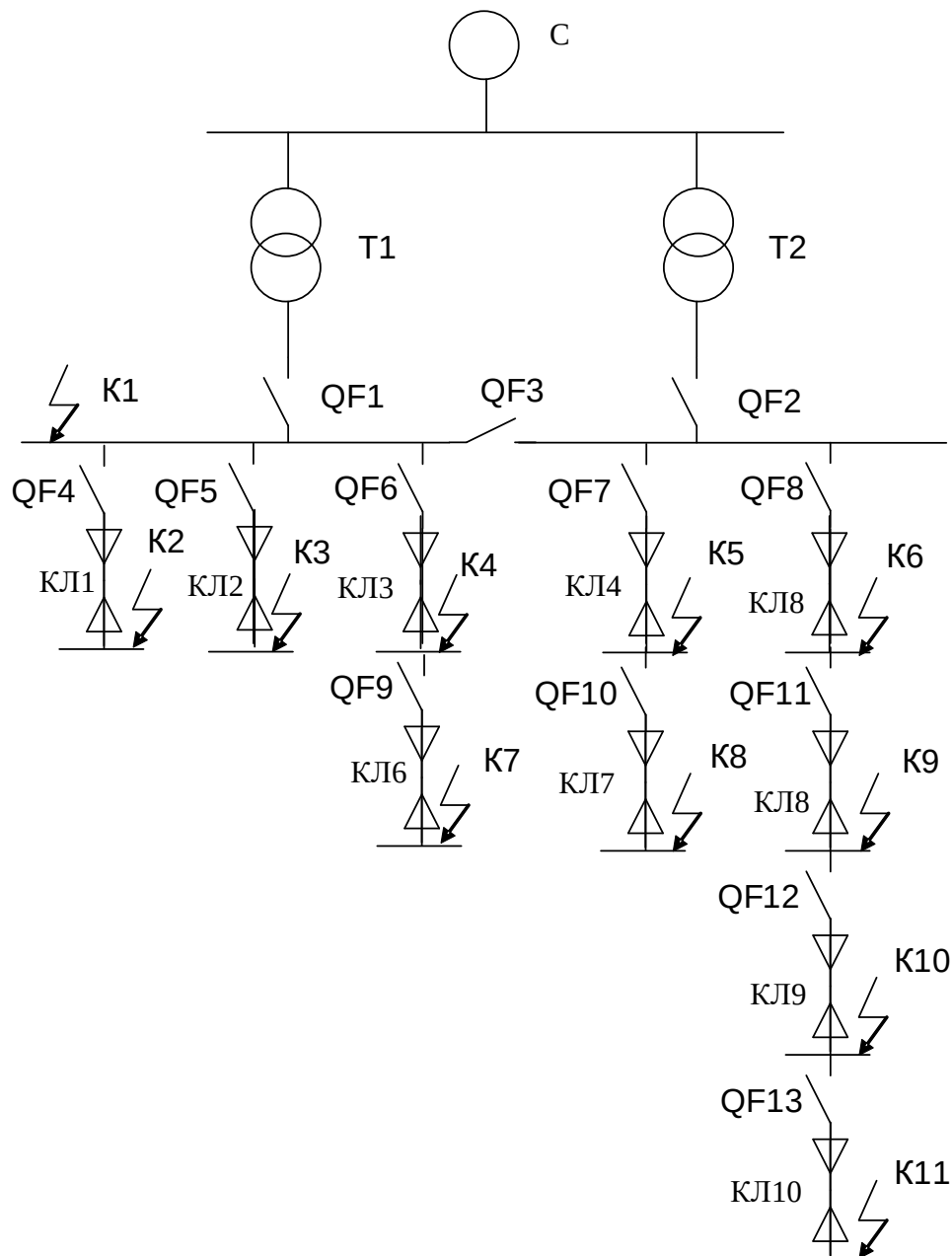


Рисунок 2.6 – Розрахункова схема КЗ кола

Опори трансформатора:

– активний:

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

– реактивний:

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

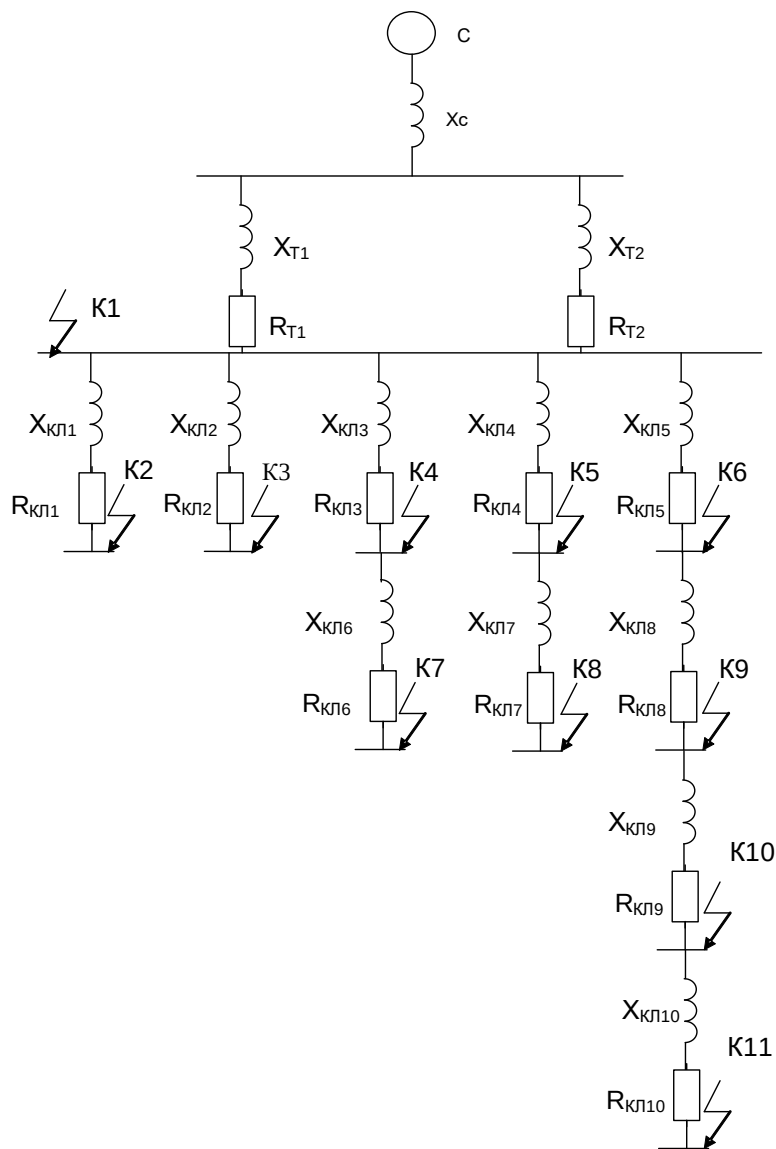


Рисунок 2.7 – Схема заміщення КЗ кола

Результуючі опори до точки К1:

– реактивний:

$$x_{рез1}^o = 2,71 + 0,007 = 2,717 \text{ мОм};$$

– активний:

$$r_{рез1}^o = 2,33 + 1,5 + 15 = 18,83 \text{ мОм}.$$

У таблиці 2.12 показано розрахунок опорів ліній.

Таблиця 2.12 - Результати розрахунку опорів ліній

Назва КЛ	l , км	r_o , Ом/км	r , Ом	x_o , Ом/км	x , Ом
КЛ1	0,053	0,077	4,081	0,077	4,081
КЛ2	0,082	0,077	6,314	0,077	6,314
КЛ3	0,13	0,195	25,35	0,081	10,53
КЛ4	0,182	0,154	28,028	0,08	14,56
КЛ5	0,065	0,1	6,5	0,078	5,07
КЛ6	0,071	1,84	130,64	0,099	7,029
КЛ7	0,047	1,16	54,52	0,095	4,465
КЛ8	0,066	0,37	24,42	0,085	5,61
КЛ9	0,08	0,74	59,2	0,091	7,28
КЛ10	0,082	1,84	150,88	0,099	8,118

Перевіримо вибрані перерізи кабельних ліній на термічну стійкість до струмів КЗ згідно виразу (А.9.7).

Результати перевірки показано в таблиці 2.13.

Таблиця 2.13 – Результати перевірки вибраних перерізів КЛ

Точка КЗ	$x_{рез}$, мОм	$r_{доп}$, мОм	$r_{рез}$, мОм	$z_{рез}$, мОм	I_k , кА	k_y	i_y , кА	F_{min} , мм ²	F_{np} , мм ²
К1	2,717	15	18,83	19,03	12,15	1,3	22,28	–	–
К2	6,798	20	42,911	43,45	5,32	1,05	7,88	23	240
К3	9,031	20	45,144	46,04	5,02	1,05	7,44	22	240
К4	13,247	20	64,18	65,53	3,53	1,05	5,22	15	95
К5	17,277	20	66,858	69,05	3,35	1,05	4,96	15	120
К6	7,787	20	45,33	45,99	5,03	1,05	7,44	22	185
К7	16,06	25	219,82	220,41	1,05	1,05	1,55	5	10
К8	17,712	25	146,378	147,45	1,57	1,05	2,32	7	16
К9	22,887	25	94,75	97,48	2,37	1,05	3,51	10	50
К10	30,167	30	183,95	186,41	1,24	1,05	1,84	5	25
К11	38,285	35	369,83	371,81	0,62	1,05	0,92	3	10

Оскільки, усі перерізи кабелів пройшли перевірку на термічну дію струмів КЗ успішно, то приймаємо їх до влаштування.

2.12. Вибір обладнання

2.12.1. Вибір комірок

На стороні 10 кВ проектованої ТП-10/0,4 кВ передбачено встановлення камер збірних однобічного обслуговування серії КСО-399 (EAST EXPRESS) [16]. Вибір та перевірку обладнання виконано згідно з методикою додатка А (вирази А.11.1–А.11.5). Результати перевірки зведемо в таблицю 2.14.

Таблиця 2.14 – Вибір комірок КСО

Каталожні дані	Розрахункові дані
$U_{\text{ном.крп}}=10 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}}=10 \text{ кВ}$
$I_{\text{ном.крп}}=630 \text{ А}$	$I_{\text{р.мах}}=58 \text{ А}$
$I_{\text{ном.відкл.крп}}=20 \text{ кА}$	$I_{\text{к.мах}}=3,25 \text{ кА}$
$i_{\text{ном,дин.крп}}=51 \text{ кА}$	$i_{\text{у.мах}}=5,11 \text{ кА}$
$B_{\text{т}}=20^2 \cdot 1=400 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_{\text{к}}=3,25^2 \cdot 0,25= 2,64 \text{ кА}^2\text{с}$

Оскільки умови перевірок виконуються, то приймаємо остаточно комірки типу КСО-399 до встановлення.

2.12.2. Вибір роз'єднувачів

У комірках КСО399 встановлюємо роз'єднувачі з заземлюючими ножами РР3-10 [17] (EAST EXPRESS).

Результати перевірки зведемо в таблицю 2.15.

					<i>ЛНТУ.971016.000 ПЗ</i>	Арк.
						29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.15 – Вибір роз'єднувачів 10 кВ

Розрахункові дані	Каталожні дані
$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
$I_{норм} = 29 \text{ А}$ $I_{макс} = 58 \text{ А}$	$I_{ном} = 630 \text{ А}$
$i_y = 5,11 \text{ кА}$	$i_{гр наскр} = 51 \text{ кА}$
$B_k = 3,25^2 \cdot 0,25 = 2,64 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_m = 20^2 \cdot 1 = 400 \text{ кА}^2\text{с}$

Так як умови виконуються, то остаточно приймаємо роз'єднувачі типу РРЗ-10-630УЗ.

2.12.3. Вибір вимикачів навантаження та запобіжників

У комірках 10 кВ КСО-399 встановлюються також вимикачі навантаження без запобіжника та з запобіжником. Приймаємо до встановлення вимикачі навантаження типу ВНПР-10 з пружинним приводом [18].

Результати перевірки вимикачів навантаження показано в таблиці 2.16.

Таблиця 2.16 – Вибір вимикачів навантаження 10 кВ

Розрахункові дані	Каталожні дані
$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
$I_{норм} = 29 \text{ А}$ $I_{макс} = 58 \text{ А}$	$I_{ном} = 630 \text{ А}$
$i_y = 5,11 \text{ кА}$	$i_{гр наскр} = 25 \text{ кА}$
$I_{но} = 3,28 \text{ кА}$	$I_{гр наскр} = 10 \text{ кА}$
$B_k = 3,28^2 \cdot 0,25 = 2,64 \text{ кА}^2\text{с}$	$I_m^2 t_m = 25^2 \cdot 1 = 625 \text{ кА}^2\text{с}$
$I_{макс} = 58 \text{ А}$	$I_{ном.з} = 80 \text{ А}$
$I_{макс} = 58 \text{ А}$	$I_{вимк з} = 630 \text{ кА}$
$S'' = 62 \text{ МВА}$	$S_{.вимк з} = 200 \text{ МВА}$

Приймаємо остаточно вимикач навантаження з запобіжником ВНПР-10-ОЗ-П-630УЗ та ВНПР-10-ОЗ-630УЗ без запобіжника.

2.12.4. Вибір автоматичних вимикачів

На стороні 0,4 кВ ТП встановлюємо комірки типу ЩО-03 (EAST EXPRESS) [19], де встановлено на вводі та між секціями автоматичні вимикачі серії ВА2004N [20] (АСКОУкрем), які перевіряємо за умовами, як наведено в додатку А.12.

Вибір та перевірку зведемо в таблицю 2.17.

Таблиця 2.17 – Вибір автоматичних вимикачів

Назва вимикача	Тип вимикача ВА2004N	Каталожні дані			Розрахункові дані		
		$U_{ном.АВ},$ кВ	$I_{ном.розщ},$ А	$I_{гр.вимк},$ кА	$U_{ном},$ кВ	$I_p,$ А	$I_K,$ кА
QF1	ВА2004N/800	0,4	800	50	0,4	790	12,15
QF2	ВА2004N/800	0,4	800	50	0,4	790	12,15
QF3	ВА2004N/250	0,4	250	35	0,4	189,60	5,32
QF4	ВА2004N/250	0,4	350	35	0,4	213,51	5,02
QF5	ВА2004N/250	0,4	250	35	0,4	126,30	3,53
QF6	ВА2004N/250	0,4	250	35	0,4	131,07	3,35
QF7	ВА2004N/250	0,4	250	35	0,4	170,38	5,03
QF8	ВА2004N/800	0,4	800	50	0,4	790	12,15
QF9	ВА2004N/250	0,4	250	35	0,4	189,60	5,32
QF10	ВА2004N/250	0,4	350	35	0,4	213,51	5,02
QF11	ВА2004N/250	0,4	250	35	0,4	126,30	3,53
QF12	ВА2004N/250	0,4	250	35	0,4	131,07	3,35
QF13	ВА2004N/250	0,4	250	35	0,4	170,38	5,03

Отже, приймаємо до встановлення вибрані вимикачі.

2.12.5. Вибір вимірювальної апаратури

Для розрахункового обліку електричної енергії на вводах 0,4кВ встановлюємо трифазний електронний лічильник Hager TE370 [21].

					<i>ЛНТУ.971016.000 ПЗ</i>	Арк.
						31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Лічильники електроенергії під'єднуються до кіл через трансформатор струму типу ТШ-0,66А-1 [22] (Мегомметр). Перевіримо їх за методикою, яка подана в додатку А.13. Результати перевірки зведемо в таблицю 2.18.

Таблиця 2.18 – Вибір вимірювальної апаратури

Каталожні дані	Розрахункові дані
$I_{ном\text{ITC}}=800 \text{ А}$ $U_{ном\text{ТС}}=0,72 \text{ кВ}$ $i_{ном\text{ дин}}=51 \text{ кА}$ $B_m = I_m^2 t_m = 100 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$ $s_{2ном} = 5 \text{ ВА}$	$I_{p\text{ max}} = 790 \text{ А}$ $U_{ном} = 0,4 \text{ кВ}$ $i_{y\text{ max}} = 22,28 \text{ кА}$ $B_k = I_{k\text{ max}}^2 t_n = 12,15^2 \cdot 0,25 = 36,9 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$ $s_{2p} = 0,286 \text{ ВА}$

Розрахунок номінального навантаження трансформатора струму подано в таблиці 2.19.

Таблиця 2.19 – Вибір лічильника електроенергії

Назва приладу	Тип приладу	Навантаження, ВА
Електронний лічильник	Hager TE370	5
Всього	—	5

У лінійних комірках 0,4 кВ для контролю рівня струму встановлюються амперметри типу ЦА0204 [23] (Мегомметр), вибираємо трансформатори струму типу Т-0,66. Результати перевірки зведемо в таблицю 2.20.

Таблиця 2.20 – Вибір трансформатора струму

Каталожні дані	Розрахункові дані
$I_{ном\text{ITC}}=300 \text{ А}$ $U_{ном\text{ТС}}=0,72 \text{ кВ}$ $i_{ном\text{ дин}}= 51\text{кА}$ $B_m = I_m^2 t_m = 100 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$ $s_{2ном} = 5 \text{ ВА}$	$I_{p\text{ max}} = 213,51 \text{ А}$ $U_{ном} = 0,4 \text{ кВ}$ $i_{y\text{ max}} = 7,88 \text{ кА}$ $B_k = I_{k\text{ max}}^2 t_n = 5,32^2 \cdot 0,25 = 7,1 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$ $s_{2p} = 0,6 \text{ ВА}$

Отже, приймаємо до встановлення вибрані трансформатори струму.

РОЗДІЛ 3

РОЗРАХУНОК СЕП ВЕНТИЛЯЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ

Розрахунок СЕП вентиляційної установки, яка встановлена в механообробному цеху, будемо проводити за методикою додатку Б.

Вибір вентилятора та електродвигуна:

$$L_3 = 1,7 \cdot 6 \cdot 1950 = 19890 \text{ м}^3/\text{год},$$

Встановлюємо 4 однакових вентилятори. Продуктивність повітря одного вентилятора:

$$L_1 = \frac{19890}{4} = 4972 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Обираємо вентилятор центробіжний типу ВЦ14-46 №4 з діаметром робочого колеса 400 мм, повний тиск, що створюється вентилятором $H=620$ Па, ККД=70%, продуктивність 5700 м³/год [24].

$$N = 1,05 \cdot \frac{5700 \cdot 620 \cdot 10^3}{3600 \cdot 102 \cdot 0,7} = 1,47 \text{ кВт}.$$

Вентилятор комплектується асинхронним двигуном типу АІР90L6 [25] (Системакс) з такими параметрами: номінальна потужність $P_n=1,5$ кВт, коефіцієнт потужності $\cos\varphi=0,75$, частота обертання $n=1000$ об/хв, номінальний струм 4 А.

$$I_p = \frac{1,5}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 2,17 \text{ А}.$$

					<i>ЛНТУ.971016.000 ПЗ</i>			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		Козакевич Б.П.			Електропостачання заводу харчового устаткування встановленою потужністю 1100 кВт. Пояснювальна записка	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірив		Денисовець Т.М.				д	33	4
Н. контр.		Ващелюк Ю.І.				ФАБЕ, гр. ЕЕ-41		
Затвердив		Волинець В.І.						

Вибираємо кабель з мідними жилами ВВГнг-5х4 з тривало допустимим струмом $I_{mp.don}=33$ А. Розрахуємо параметри кабелів, що живлять вентилятори (таблиця 3.1).

Таблиця 3.1 – Перевірка мережі живлення вентиляторів

Лінія	S_p , кВА	I_p , А	$I_{mp.don}$, А	F , мм ²	L , м	R_0 , Ом·м	X_0 , Ом·м	ΔU , В	ΔU , %
СЦ-В1	1,5	2,17	31	4	0,0217	4,63	0,102	0,31	0,08
СЦ-В2	1,5	2,17	31	4	0,0337	4,63	0,102	0,48	0,12
СЦ-В3	1,5	2,17	31	4	0,0651	4,63	0,102	0,92	0,23
СЦ-В4	1,5	2,17	31	4	0,0771	4,63	0,102	1,09	0,27

Перевірка виконується.

Визначаємо струм трифазного КЗ на силовому щиті ВУ:

$$I_k^{(3)} = \frac{1,05 \cdot 0,4}{\sqrt{3} \cdot 0,1} = 2,42 \text{ кА.}$$

$$i_{y\partial} = \sqrt{2} \cdot 2,42 \cdot 1,4 = 4,099 \text{ кА.}$$

У таблиці 3.2 зображені результати розрахунку струмів КЗ.

Таблиця 3.2 – Результати розрахунків струмів КЗ

Місце виникнення КЗ	$I_k^{(3)}$, кА	i_y , кА	$I_k^{(1)}$, кА
В1	2,416	4,092	1,373
В2	1,556	2,635	0,884
В3	0,805	1,364	0,458
В4	0,680	1,152	0,386

Встановимо автоматичні вимикачі типу ВА44-33 та виконаємо перевірку на чутливість спрацювання захисту.

$$I_{\pi} = 5 \cdot 2,17 = 10,85 \text{ A.}$$

Приймаємо автоматичний вимикач ВА44-33 з такими параметрами:
 $I_{розч.ном} = 40 \text{ A}$; $I_{ном.вимк} = 25 \text{ кА}$; $I_{с.в} = 80 \text{ A}$.

$$I_{розч.ном} = 40 \text{ A} > k_{від}^{III} \cdot I_p = 1,1 \cdot 2,17 = 2,39 \text{ A.}$$

$$I_{ном.вимк} = 25 \text{ кА} > I_{к\max}^{(3)} = 2,416 \text{ кА},$$

$$I_{с.в} = 80 > k_{від}^I \cdot I_n = 1,5 \cdot 10,85 = 16,275 \text{ A.}$$

Умови перевірки виконуються.

Перевіримо на чутливість захист:

$$I_{розч.ном} = 40 \text{ A} < \frac{I_{к,min}^{(1)}}{3} = \frac{0,386}{3} = 0,129 \text{ кА.}$$

Чутливість забезпечується.

Перевірка на селективність:

$$I_{с.в1} = 80 \text{ A} > (1,3 \dots 1,5) \cdot I_{с.в2} = 1,3 \cdot 16,275 = 21,16 \text{ A.}$$

Селективність захисту забезпечується.

Схема керування вентиляційною установкою зображена на рисунку 3.1.

					<i>ЛНТУ.971016.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

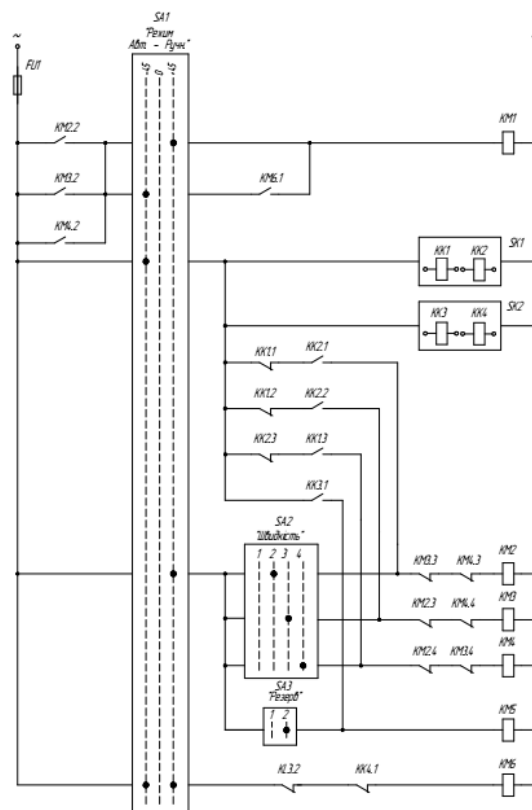


Схема передбачає два режими керування вентиляторами, що задаються перемикачем SA1: ручний (положення $+45^\circ$) та автоматичний (-45°). Базове навантаження забезпечують постійно активні агрегати M1 та M2, тоді як резервна група (M3, M4) вводиться в роботу перемикачем SA3. Продуктивність системи регулюється чотирипозиційним перемикачем швидкості SA2.

РОЗДІЛ 4

САПР

У другому розділі кваліфікаційного проекту визначався центр активних навантажень заводу харчового устаткування. Усі розрахунки проводились у програмі *PTC Mathcad*. На рисунках 4.1-4.3 зображено програму розрахунку в математичному середовищі.

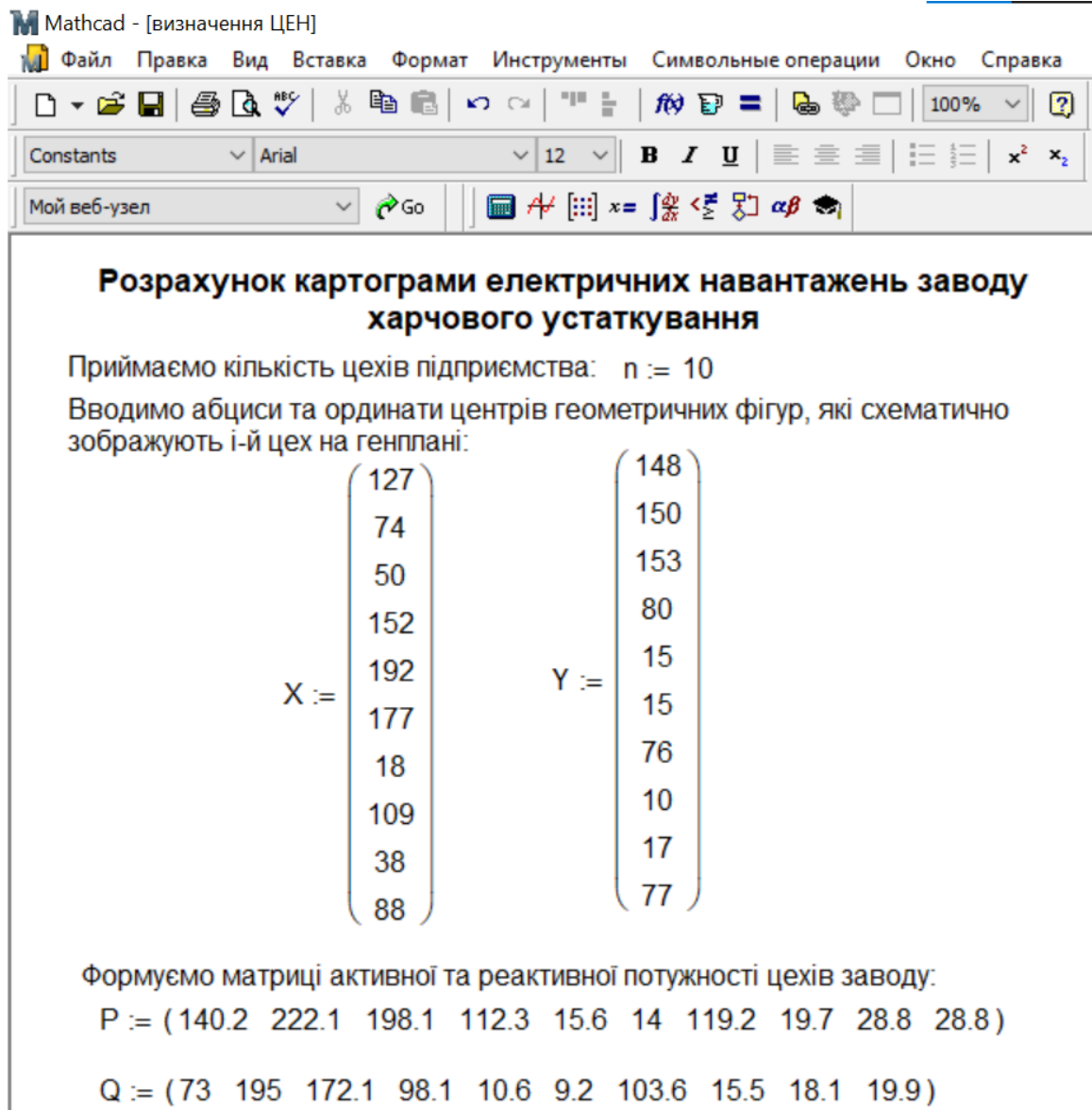


Рисунок 4.1 – Програма розрахунку ЦЕН заводу харчового устаткування

					<i>ЛНТУ.971016.000 ПЗ</i>			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		Козакевич Б.П.			Електропостачання заводу харчового устаткування встановленою потужністю 1100 кВт. Пояснювальна записка	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірив		Денисовець Т.М.				Д	37	2
						ФАБЕ, гр. ЕЕ-41		
Н. контр.		Ващелюк Ю.І.						
Затвердив		Волинець В.І.						

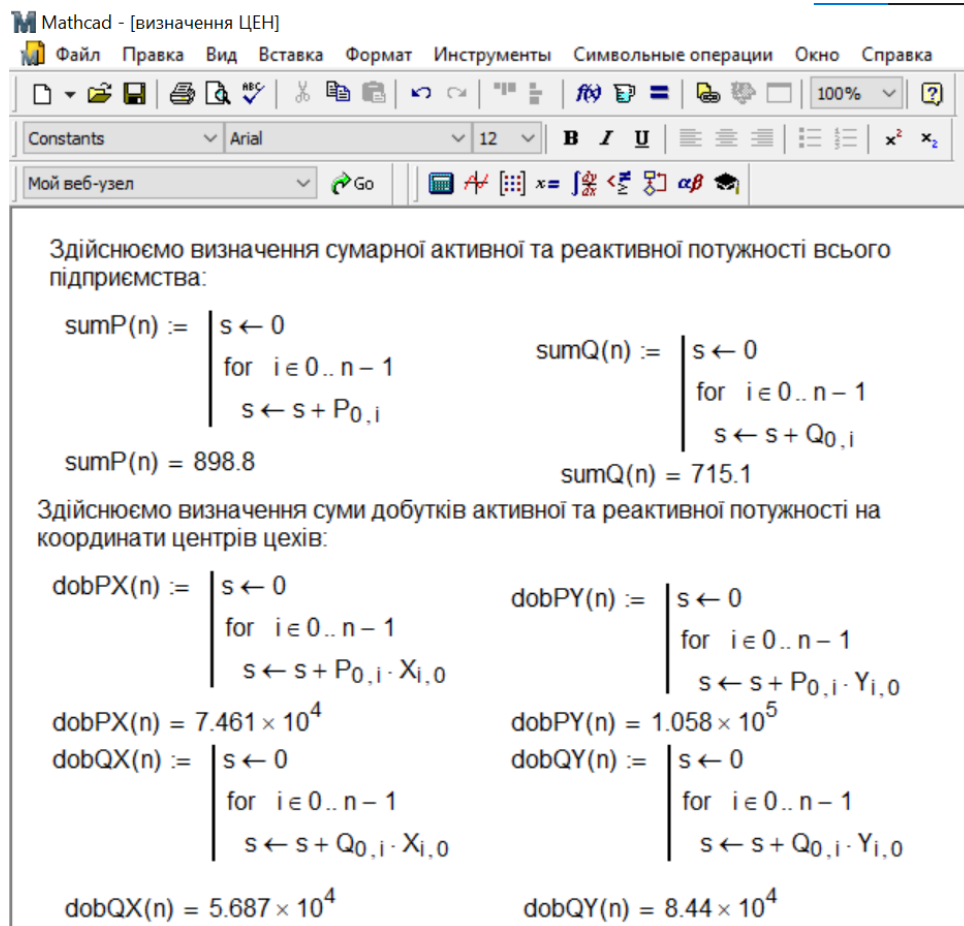


Рисунок 4.2 - Програма розрахунку ЦЕН заводу харчового устаткування
(продовження)

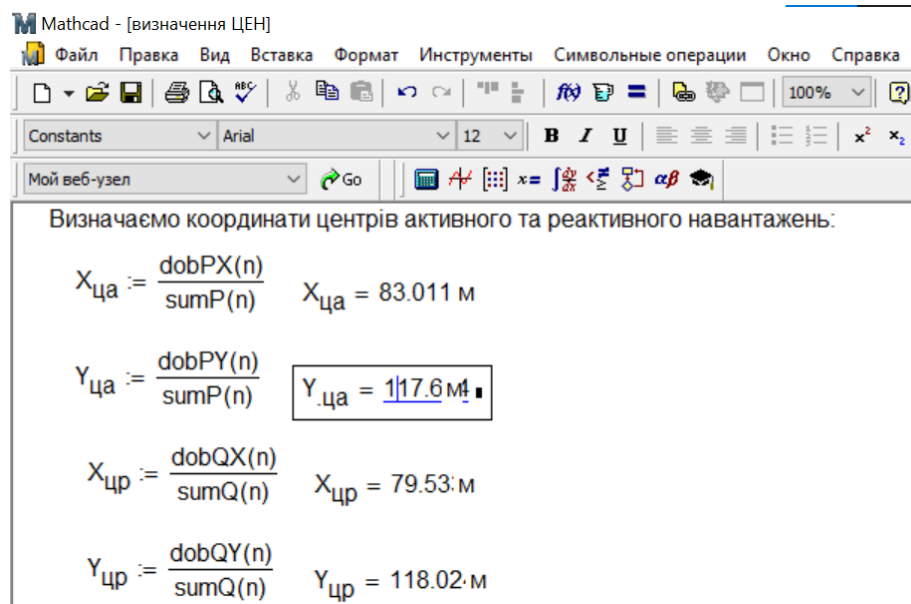


Рисунок 4.3 - Програма розрахунку ЦЕН заводу харчового устаткування
(продовження)

РОЗДІЛ 5

ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА

Розрахунок контуру заземлення ЗТП-10/0,4 кВ

Розрахунок контуру захисного заземлення ЗТП, проведемо відповідно до додатку В. Вхідні параметри задані в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Вхідні параметри розрахунку

<u>Вхідні параметри</u>	
Назва	Значення
Спосіб розташування вертикальних заземлювачів	в ряд
Розміри цеху, м	6x10
Матеріал та форма заземлювачів	сталь, труба
Розмір заземлювачів:	
- довжина, м	2,5
- зовнішній діаметр, м	0,08
Ширина шини, м	0,08
Вид ґрунту	суглинок
Глибина залягання заземлюючого пристрою, м	0,8

Результати розрахунку згідно вимог додатку В та [26] зведені в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Результати розрахунку захисного заземлення

Параметр, од.вим.	Отримане значення
1	2
Питомий опір ґрунту, Ом·м	40
Кліматичний коефіцієнт φ_2 [26, т.5.2]	1,4
Розрахунковий питомий опір ρ_p , Ом·м	56
Відстань від поверхні землі до середини заземлювача t , м	2,05
Опір розтіканню струму однієї вертикальної труби $R_{од}$, Ом	15,87

					<i>ЛНТУ.971016.000 ПЗ</i>			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив	Козакевич Б.П.				Електропостачання заводу харчового устаткування встановленою потужністю 1100 кВт. Пояснювальна записка	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірив	Денисовець Т.М.					Д	39	2
Н. контр.	Ващелюк Ю.І.					ФАБЕ, гр. ЕЕ-41		
Затвердив	Волинець В.І.							

Продовження таблиці 5.2

Орієнтовна відстань між трубами a , м	8
Кількість заземлювачів n' , шт.	4
Коефіцієнт використання стержньових заземлювачів η [26, т.5.3]	0,92
Необхідна кількість заземлювачів з врахуванням коефіцієнта використання n , шт.	4
Коефіцієнт використання для шин $\eta_{ш}$ [26, т.5.4]	0,91
Опір розтіканню струму з'єднувальної шини $R_{ш}$, Ом	20,67
Опір заземлюючого пристрою без врахування опору шини $R_{ст}$, Ом	4,73
Загальний опір заземлюючого пристрою R , Ом	3,85

Спроектована система заземлення ЗТП відповідає державним нормам, оскільки її загальний опір не виходить за межі 4 Ом. Ухвалена до впровадження конструкція базується на використанні чотирьох електродів, встановлених у ряд.

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

Для забезпечення необхідного рівня надійності електропостачання споживачів підприємства впроваджено змішану схему живлення розподільних пунктів РП-0,4 кВ. Відповідно до вимог II категорії надійності, запроєктовано двотрансформаторну підстанцію з силовими трансформаторами ТМ-1250/10, параметри яких верифіковано розрахунком на допустиму перевантажувальну здатність. Зовнішнє живлення об'єкта реалізовано кабельною лінією АПвЕгаПу-10 перерізом 35 мм², прокладеною траншейним способом. З метою підтримки нормативних показників якості електроенергії на шинах 0,4 кВ встановлено низьковольтні конденсаторні батареї сумарною потужністю 320 кВАр. Усе обране комутаційно-захисне обладнання перевірено на відповідність параметрам експлуатації як у номінальному, так і в післяаварійному режимах роботи мережі.

В індивідуальному розділі проєкту розраховано систему електропостачання вентиляторної установки ВЦ14-46 №4 механообробного цеху та обґрунтовано вибір електродвигуна марки АІР90L6 потужністю 1,5 кВт.

За допомогою математичного середовища Mathcad у розділі «САПР» проведено аналітичне визначення координат центру електричних навантажень підприємства.

Питання електробезпеки опрацьовано в розділі «Електробезпека», де розраховано контур захисного заземлення ЗТП: запроєктована конструкція на основі чотирьох лінійних електродів забезпечує загальний опір у межах нормативних 4 Ом, що повністю відповідає вимогам ПУЕ.

					<i>ЛНТУ.971016.000 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://horozua.com/cvetilnik-promishlennij-vlagozashhishhennij-podvesnoj-pyramid-100/>
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://slavgorenergo.com.ua/ua/p1397782839-avtomaticheskije-kondensatornye-ustanovki.html>
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. Калужний, А. О. Карюк, І. Є. Щербак; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2016. 124 с.

					<i>ЛНТУ.971016.000 ПЗ</i>	Арк.
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

10. Кабелі силові 10 кВ з XLPE. 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/index.php?CAT=18&MRI=180117&UN=1>

12. Пункт розподільний 0,4 кВ. URL: <https://eastexpress.com.ua/products/punkty-raspredelitelnye-serii-pr11/>

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 КСО-399. URL: <https://eastexpress.com.ua/products/kamery-kso-serii-399-shinnye-mosty-shmr-shm/>

17. Роз'єднувач РРЗ-10. URL: https://eastexpress.com.ua/wp-content/uploads/2021/07/east_express_2012_komplektnye_electroustroystva.pdf

18. Вимикач навантаження ВНПР. URL: https://eastexpress.com.ua/wp-content/uploads/2021/07/east_express_2012_komplektnye_electroustroystva.pdf

19. Розподільчі комірки ЩО-03. URL: https://eastexpress.com.ua/wp-content/uploads/2021/07/east_express_2012_komplektnye_electroustroystva.pdf

20. Автоматичні вимикачі ВА2004N. URL: https://www.acko.ua/e-store/xml_catalog/silovi_avtomatichni_vimikachi_serii_ukrem_va_2004n/

21. Лічильник електроенергії Hager. URL: <https://axiomplus.com.ua/ua/elektricheskie-schetchiki/product-95827/>

22. Трансформатори струму ТШ-0,66-1, Т-0,66. URL:

<https://www.megommetr.com/index.php/transformatory-toka>

					<i>ЛНТУ.971016.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

23. Амперметр електронний трифазний ЦА0204. URL:

https://www.megommetr.com/index.php/ua/ampermetry/product/99-ampermetr-tsa0204/category_pathway-41

24. Вентилятор ВЦ 14-46. URL: <https://systemax.ua/ua/ventilyatory/centrobezhnye-radialnye-ventilyatory/vc-14-46/vc-14-46-4-isp1.html>

25. Електродвигун АІР. URL: <https://systemax.ua/ua/elektrodvigateli/trehfaznye-obshepromyshlennye-elektrodvigateli/air/air90l6--1-5-kvt-1000-ob-min-.html>

26. Кухнюк О.М., Кусковець С.Л., Сурговський М.В., Прокопчук Н.М. Практикум з охорони праці. Навч. посібник. Рівне : НУВГП, 2010. 266 с.

					<i>ЛНТУ.971016.000 ПЗ</i>	Арк.
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		