

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 МАШИНОБУДІВНОГО
ЗАВОДУ ВСТАНОВЛЕНОЮ ПОТУЖНІСТЮ 2000 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 ЕЕЗ-41
Леонова Наталія Борисівна

(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

ЛЕОНОВА Н. Б. Електропостачання машинобудівного заводу встановленою потужністю 2000 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 машинобудівного заводу встановленою потужністю 2000 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 77 сторінок, 11 рисунків, 26 таблиць, 25 джерел літератури.

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

ANNOTATION

LEONOVA N. Power supply of a machine-building plant with an installed capacity of 2000 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 machine-building plant an installed capacity of 2000 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 77 pages, 11 figures, 26 tables, 25 sources of literature.

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

3MIST

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 металообробного цеху	13
2.3. Визначення сумарних навантажень	15
2.4. Розрахунок картограми навантажень та визначення теоретичного центру навантажень	15
2.5. Вибір кількості та потужності трансформаторів	16
2.6. Компенсація реактивної потужності	18
2.7. Визначення електричних навантажень на вищих рівнях	19
2.8. Проектування зовнішньої мережі живлення підприємства	19
2.9. Проектування внутрішньої розподільної мережі	21
2.10. Вибір схеми електропостачання металообробного цеху	23
2.11. Розрахунок струмів короткого замикання	24
2.11.1. Розрахунок струмів короткого замикання на стороні 10 кВ	24
2.11.2. Розрахунок струмів короткого замикання в мережі 0,4 кВ	26
2.12. Вибір обладнання	30
2.12.1. Вибір комірок	30
2.12.2. Вибір роз'єднувачів	30
2.12.3. Вибір вимикачів навантаження та запобіжників	31
2.12.4. Вибір автоматичних вимикачів	31
2.12.5. Вибір вимірювальної апаратури	32
РОЗДІЛ 3 РОЗРАХУНОК СЕП МОСТОВОГО КРАНУ	34
РОЗДІЛ 4 САПР	39
РОЗДІЛ 5 ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА	41
ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ	43
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	44
ДОДАТКИ	47

					<i>ЛНТУ.971097.000 ПЗ</i>							
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Електропостачання машинобудівного заводу встановленою потужністю 2000 кВт. Пояснювальна записка				Літ.	Арк.	Аркушів	
Розробив	Леонова Н.Б.								Д	6	77	
Перевірив	Денисовець Т.М.								ФАБЕ, гр. ЕЕз-41			
Н. контр.	Ващелюк Ю.І.											
Затвердив	Волинець В.І.											

ВСТУП

Ефективність машинобудівного виробництва, що базується на високоточних процесах металообробки, шліфування та термічної обробки, критично залежить від показників якості електроенергії та безперебійності живлення. Враховуючи високу чутливість верстатного парку та вимірювальних систем до просідань напруги, проєктування системи електропостачання (СЕП) вимагає впровадження рішень, що мінімізують ризики технологічних зупинок та виходу з ладу дорогого обладнання з ЧПК. Створення гнучкої та надійної енергосистеми є фундаментом для забезпечення точності обробки та зниження собівартості продукції.

Об'єктом проєктування є комплексна система електропостачання промислового підприємства машинобудівного профілю встановленою потужністю 2000 кВт.

Впровадження розроблених проєктних рішень дозволить інтегрувати сучасні енергетичні технології в структуру заводу, забезпечивши його сталий розвиток та енергетичну незалежність.

					<i>ЛНТУ.971097.000 ПЗ</i>	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1

КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ПРОЄКТУВАННЯ

На проєктованому підприємстві основний технологічний процес проходить у металообробному, складальному, зварювальному, заготовчому, ковальсько-пресовому та ливарному цехах. Також на території підприємства знаходяться управління, насосна станція та склади.

На рисунку 1.1 зображено генеральний план підприємства.

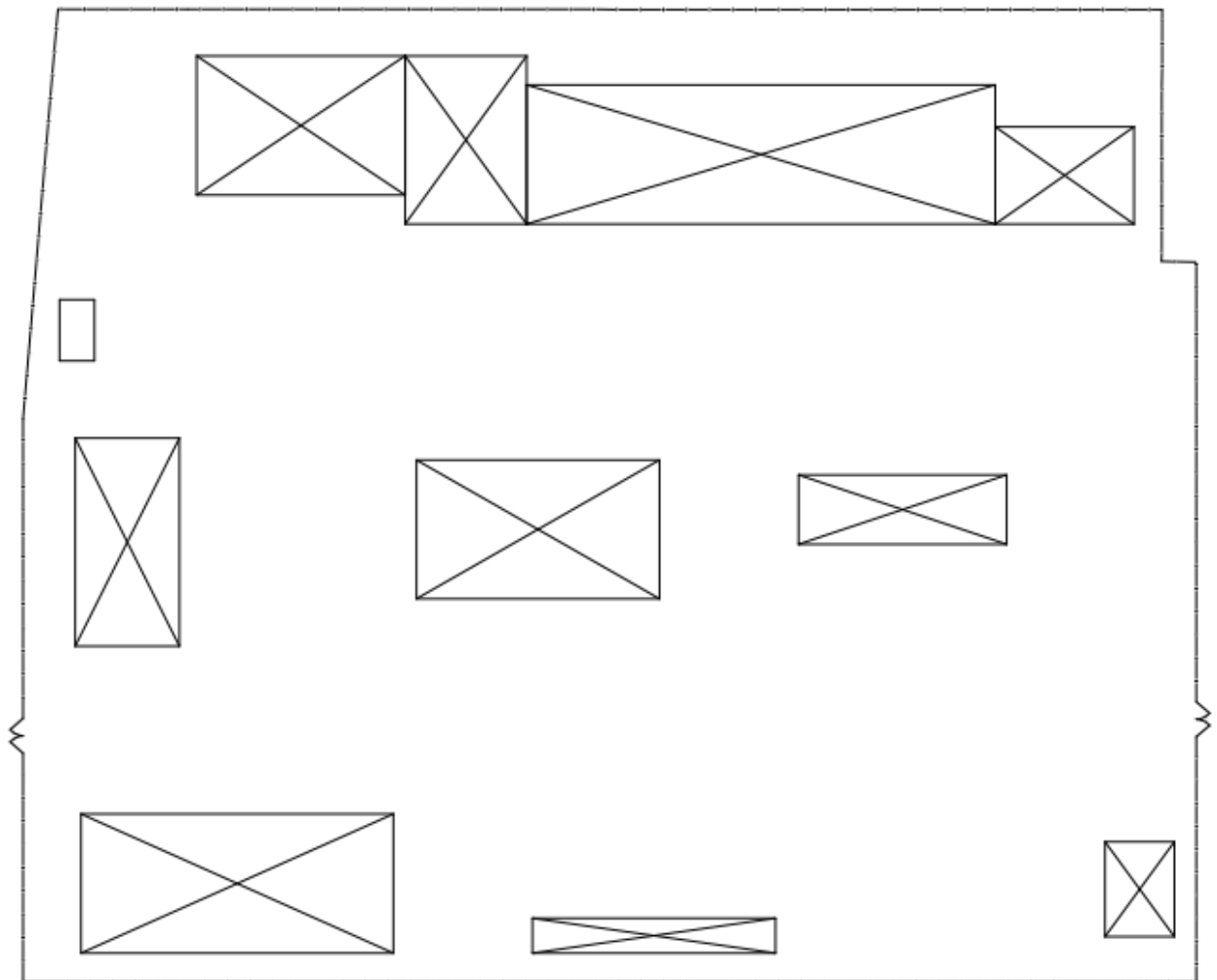


Рисунок 1.1 – Генеральний план проєктованого підприємства

					<i>ЛНТУ.971097.000 ПЗ</i>								
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Електропостачання машинобудівного заводу встановленою потужністю 2000 кВт. Пояснювальна записка				Літ.	Арк.	Аркушів		
Розробив	Леонова Н.Б.								д		8	3	
Перевірив	Денисовець Т.М.												
Н. контр.	Ващелюк Ю.І.								ФАБЕ, гр. ЕЕЗ-41				
Затвердив	Волинець В.І.												

У даному проєкті особлива увага буде приділятися розрахунку електричних навантажень металообробного цеху, де встановлено токарні, фрезерні, листозгинальні верстати, кран-балка, зварювальна та вентиляційна установка.

Задані параметри для проєктування: площа підприємства - 21000 м²; площа цехів - 7776 м²; встановлена потужність підприємства - 2000 кВт; відстань до джерела живлення - 1,7 км; джерелом живлення - шини 10 кВ районної підстанції; потужність струму КЗ на шинах джерела живлення дорівнює 72 МВА; кількість робочих змін - дві зміни; кількість годин роботи обладнання в рік - 4000 год; кількість годин роботи обладнання при максимальному навантаженні - 3700 год; $Q_{\text{max}}=600$ кВАр; вартість 1 кВтгод – 8,4 грн/кВтгод.

Встановлена потужність 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
Металообробний цех	273	1950
Зварювальний цех	308	760
Заготовчий цех	296	886
Ливарний цех	323	438
Ковальсько-пресовий цех	350	290
Управління	12	290
Насосна станція	160	650
Складальний цех	230	254
Склад готової продукції	25	1300
Склад матеріалів	23	1010
Разом	2000	7828

Більшість енергоспоживачів підприємства (97%), зокрема виробничі потужності та насосна станція, належать до II категорії надійності електропостачання. Решта 3%, що охоплюють допоміжні будівлі, відносяться до III категорії. Параметри обладнання металообробного цеху представлені в таблиці 1.2.

					<i>ЛНТУ.971097.000 ПЗ</i>	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.2 – Параметри обладнання металообробного цеху

Назва обладнання	Номінальна потужність P_H , кВт	Кіль- кість, шт	$tg\varphi$	Коеф. викор., $K_{вик}$
Верстат токарний	10	10	1,33	0,15
Фрезерний верстат	14,7	6	1,33	0,14
Листозгинальний верстат	8	6	1,33	0,14
Кран-балка	22,5	1	0,94	0,06
Установка контактної зварювання	6,5	4	1,51	0,35
Вентиляційна установка	0,4	4	0,75	0,65

					ЛНТУ.971097.000 ПЗ						
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Електропостачання машинобудівного заводу встановленою потужністю 2000 кВт. Пояснювальна записка			Літ.	Арк.	Аркушів	
Розробив	Леорова Н.Б.							д	11	23	
Перевірів	Денисовець Т.М.										
Н. контр.	Ващелюк Ю.І.										
Затвердив	Волинець В.І.				ФАБЕ, гр. ЕЕз-41						

Таблиця 2.2 – Визначення розрахункових навантажень підприємства

Назва цеху	Встановлена потужність $P_{вст}, кВт$	Розрахункові навантаження		
		$P_p, кВт$	$Q_p, кВАр$	$S_p, кВА$
Металообробний цех	273	122,01	68,66	140,00
Зварювальний цех	308	240,24	218,62	324,82
Заготовчий цех	296	230,88	210,10	312,17
Ливарний цех	323	251,94	229,27	340,64
Ковальсько-пресовий цех	350	273,00	248,43	369,12
Управління	12	9,36	8,52	12,66
Насосна станція	160	124,80	113,57	168,74
Складальний цех	230	179,40	163,25	242,56
Склад готової продукції	25	19,50	17,75	26,37
Склад матеріалів	23	17,94	16,33	24,26
Разом	2000	1469,07	1294,48	1958,02

2.2. Розрахунок освітлювальних навантажень

2.2.1. Розрахунок освітлювальних навантажень підприємства

Розрахунок електричних навантажень мережі освітлення виконано методом питомої густини навантаження на одиницю площі, згідно з алгоритмом, наведеним у додатку А.2. Даний метод дозволяє визначити встановлену потужність освітлювальної установки на основі нормативних показників питомої густини для відповідного типу приміщень та обраних джерел світла [3, 4].

Відповідно до сучасних вимог енергоефективності, проектом передбачено використання світлодіодних світильників (LED), що мають високу світлову віддачу та тривалий термін експлуатації. Розрахункова потужність освітлення визначається як добуток питомої потужності на загальну площу цеху з урахуванням коефіцієнта попиту. Підсумкові результати обчислень,

					ЛНТУ.971097.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

включаючи встановлену та розрахункову потужність, 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
Металообробний цех	150	1950	9	16	31,2	LED	1,2	0,9	0,33	33,70	11,12
Зварювальний цех	150	760	9	15	11,4	LED	1,2	0,9	0,33	12,31	4,06
Заготовчий цех	150	886	9	14	12,404	LED	1,2	0,9	0,33	13,40	4,42
Ливарний цех	150	438	9	15	6,57	LED	1,2	0,9	0,33	7,10	2,34
Ковальсько-пресовий цех	150	290	9	15	4,35	LED	1,2	0,9	0,33	4,70	1,55
Управління	250	290	4	20	5,8	LED	1,2	0,9	0,33	6,26	2,07
Насосна станція	75	650	6	12	7,8	LED	1,2	0,9	0,33	8,42	2,78
Складальний цех	150	254	9	16	4,064	LED	1,2	0,9	0,33	4,39	1,45
Склад готової продукції	75	1300	12	10	13	LED	1,2	0,9	0,33	14,04	4,63
Склад матеріалів	75	1010	12	10	10,1	LED	1,2	0,9	0,33	10,91	3,60
Разом	-	7828	-	-	106,688	-	-	-	-	115,22	38,02

2.2.2. Розрахунок освітлювальної мережі металообробного цеху

У межах даного проєкту виконується детальний розрахунок системи електричного освітлення металообробного цеху загальною площею 1950 м². Вихідне значення питомої потужності становить 16 Вт/м². Виходячи з техніко-економічних міркувань, здійснено перерахунок цього показника для застосування сучасних світлодіодних ламп згідно з таблицею відповідності:

$$P_{нумLED} = \frac{P_{нумIP}}{6,66} = \frac{16}{6,66} = 2,4 \text{ Вт/м}^2.$$

Згідно плану ми намічаємо собі 60 світильників. Підставляємо відомі значення у вираз та знайдемо потужність лампи:

$$P_{св} = \frac{1950 \cdot 2,4}{60} = 78 \text{ Вт.}$$

Вибираємо світильник Granit IP65 0-10V 13000lm 865 WB [5] (Ledmark) потужністю 80 Вт. Світильник Granit – «це потужний світлодіодний промисловий світильник з високим світловим потоком та розширеним кутом розсіювання. Призначений для освітлення великих виробничих приміщень, складів, логістичних центрів, ангарів та об'єктів із високими стелями. Завдяки широкому світлорозподілу (WB – Wide Beam) забезпечує рівномірне освітлення великих площ. Підтримує управління за протоколом 0-10 В, дозволяючи налаштовувати рівень освітленості та знижувати енергоспоживання» [5].

Перерахуємо кількість світильників з врахуванням потужності вибраного світильника:

$$N_{св} = \frac{1950 \cdot 2,4}{80} = 58,5 \text{ шт.}$$

Отже, приймаємо до встановлення в якості робочого освітлення 59 світильників.

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 $I_{mp \cdot доп} = 34 \text{ А}$ (Одескабель).

					<i>ЛНТУ.971097.000 ПЗ</i>	Арк.
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.3. Визначення сумарних навантажень

Визначимо повне сумарне навантаження підприємства користуючись [6].
У таблиці 2.4 показані 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
Металообробний цех	122,01	68,66	33,70	11,12	155,7	79,8	175,0
Зварювальний цех	240,24	218,62	12,31	4,06	252,6	222,7	336,7
Заготовчий цех	230,88	210,10	13,40	4,42	244,3	214,5	325,1
Ливарний цех	251,94	229,27	7,10	2,34	259,0	231,6	347,5
Ковальсько-пресовий цех	273,00	248,43	4,70	1,55	277,7	250,0	373,6
Управління	9,36	8,52	6,26	2,07	15,6	10,6	18,9
Насосна станція	124,80	113,57	8,42	2,78	133,2	116,3	176,9
Складальний цех	179,40	163,25	4,39	1,45	183,8	164,7	246,8
Склад готової продукції	19,50	17,75	14,04	4,63	33,5	22,4	40,3
Склад матеріалів	17,94	16,33	10,91	3,60	28,8	19,9	35,1
Разом	1469,07	1294,48	115,22	38,02	1584,3	1332,5	2070,2

2.4. Розрахунок картограми навантажень та визначення теоретичного центру навантажень

Відповідно до додатка А.3 проведено графоаналітичний розрахунок картограми навантажень. Визначення центру зосередження активної потужності є критично важливим кроком для раціональної побудови схеми електропостачання, оскільки наближення джерела живлення до ЦЕН забезпечує найвищий рівень економічної та технічної ефективності мережі.

Усі результати розрахунків зведемо в таблицю 2.5.

Таблиця 2.5 – Результати розрахунку картограми навантажень

Назва	$x,$ $м$	$y,$ $м$	$P_{p\Sigma} \cdot x$	$P_{p\Sigma} \cdot y$	$r,$ $см$	α , град.
Металообробний цех	124	144	19307,54	22421,66	7	78
Зварювальний цех	78	145	19699,06	36620,04	9	18
Заготовчий цех	50	147	12213,82	35908,62	9	20
Ливарний цех	152	78	39373,41	20204,78	9	10
Ковальсько-пресовий цех	192	14	53318,02	3887,77	9	6
Управління	178	137	2781,07	2140,49	2	144
Насосна станція	18	76	2398,03	10125,02	7	23
Складальний цех	108	8	19849,22	1470,31	8	9
Склад готової продукції	37	17	1240,98	570,18	3	151
Склад матеріалів	89	78	2567,47	2250,14	3	136
Разом	-	-	172748,62	135599,02	-	-

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

$$X_{Акт} = \frac{172748,62}{1584,3} = 108 м,$$

$$Y_{Акт} = \frac{135599,02}{1584,3} = 85 м.$$

2.5. Вибір кількості та потужності трансформаторів

Комплексний вибір силових трансформаторів підстанції (ТП) спільно з розрахунком потужності низьковольтних конденсаторних батарей (НКБ) є ключовим етапом оптимізації системи електропостачання. Відповідно до методики, викладеної в додатку А.4, даний розрахунок спрямований на мінімізацію втрат потужності та забезпечення раціонального завантаження трансформаторів у нормальному та післяаварійному режимах. Визначення

					<i>ЛНТУ.971097.000 ПЗ</i>	Арк.
						16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

оптимальної потужності компенсації реактивної енергії дозволяє обрати трансформатори меншої номінальної потужності, що знижує капітальні витрати на обладнання. Результати розрахунків зведемо в таблицю 2.6.

Таблиця 2.6 – Порівняння варіантів вибору потужності силових трансформаторів

Показник	Варіант I	Варіант II
$P_{p\Sigma}$, кВт	1584,30	1584,30
$Q_{p\Sigma}$, кВАр	1332,50	1332,50
$S_{p\Sigma}$, кВА	2070,16	2070,16
F , м ²	7828	7828
σ , кВА/м ²	0,26	0,26
Тип трансформатора	ТМ-1250	ТМ-1600
N_{min} , шт	1,8	1,4
m , шт	0	0
N_{ontm} , шт	2	2
$Q_{max T}$, кВАр	743,30	1583,54
$Q_{НБК 1}$, кВАр	589,20	-251,04
K_{p1}	12	–
K_{p2}	17	–
γ	0,55	–
$Q_{НБК 2}$, кВАр	-631,70	-75,50
$Q_{НБК}$, кВАр	589,20	–
Тип НБК	2хУКРМ-0,4-300-20	–
ΔP_x , кВт	1,6	2,1
ΔP_k , кВт	14,7	17,5
τ_m , год	2137,8	2137,8
ΔW , тис.кВт·год	71,13	68,11
C_e , тис.грн	597,47	572,09
K , тис.грн	1596,00	1500,00
Z , тис.грн	796,97	759,59

Затрати другого варіанту менші, отже ми приймаємо до встановлення два трансформатора типу ТМ-1600/10. Перевіримо їх на перевантажувальну

					<i>ЛНТУ.971097.000 ПЗ</i>	Арк.
						17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

здатність з врахуванням відключення споживачів III категорії надійності сумарна потужність яких складає 94,3 кВА:

$$1,4 \cdot 1600 = 2240 > \frac{2 \cdot (2070,2 - 94,3)}{2} = 1975,9 \text{ кВА.}$$

Умова виконується, отже, приймаємо до встановлення в якості силового трансформатор марки ТМ-1600/10 (УкрЕлком).

2.6. Компенсація реактивної потужності

Визначення необхідної потужності високовольтних конденсаторних установок (КУ) на стороні 10 кВ виконується відповідно до алгоритму, наведеного в додатку А.5. Загальна потужність засобів компенсації, що підлягають встановленню на підприємстві, розраховується як різниця між максимальним реактивним навантаженням об'єкта та величиною реактивної потужності, яку енергосистема може передати споживачу згідно з технічними умовами. Такий підхід дозволяє підтримувати заданий енергопостачальною організацією оптимальний коефіцієнт потужності та мінімізувати перетоки реактивної енергії через трансформатори зв'язку з системою [9]. Усі результати розрахунку представлені в таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 – Результати розрахунку потужності ВБК

Показник	Одиниці вимірювання	Значення
Q_p	кВАр	1332,5
$Q_{\text{етах}}$	кВАр	600
$Q_{\text{НБК}}$	кВАр	0
ΔQ_T	кВАр	49,12
$k_{\text{НС}}$	–	0,85
Q_{M1}	кВАр	1132,63
Q_{K1}	кВАр	532,63
$Q_{\text{НСТ}}$	кВАр	1381,62
$Q_{\text{ВБК}}$	кВАр	581,75

Враховуючи ризик виникнення значної перекомпенсації при використанні високовольтного обладнання, прийнято рішення щодо компенсації реактивної потужності на стороні низької напруги (0,4 кВ). Такий підхід забезпечує більш точне регулювання параметрів мережі безпосередньо у вузлах споживання. Відповідно до розрахунків, потужність низьковольтних конденсаторних установок має становити 581,75 кВАр. Приймаємо до встановлення на кожну шину 0,4 кВ конденсаторні батареї АКУ-0,4-320-20У3 [8] (Lekkont).

2.7. Визначення електричних навантажень на вищих рівнях

Розрахунок електричних навантажень на вищих ступенях системи електропостачання (СЕП) виконується згідно з методикою, наведеною в додатку А.6. В основу обчислень покладено ієрархічний метод, що дозволяє послідовно визначити енергетичні показники на кожному рівні трансформації. За формулами (А.6.1) та (А.6.2) визначено розрахункові параметри навантаження на стороні високої напруги:

$$S_{P4} = \sqrt{(1584,3 + 8,49)^2 + (1332,5 + 49,12 - 620)^2} = 1765,5 \text{ кВА},$$

$$\Delta P_{T1600} = 2 \cdot 2,1 + \frac{1}{2} \cdot 0,7^2 \cdot 17,5 = 8,49 \text{ кВт}.$$

2.8. Проектування зовнішньої мережі живлення підприємства

Раціональна напруга:

$$U = \sqrt{1,7655 \cdot (100 + 15 \cdot \sqrt{1,7})} = 14,5 \text{ кВ}.$$

Згідно з технічними умовами [9], джерелом живлення заводу визначено шини 10 кВ районної трансформаторної підстанції (РПС). Враховуючи

					<i>ЛНТУ.971097.000 ПЗ</i>	Арк.
						19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

відносно невелику відстань до джерела енергії (1,7 км), дана напруга забезпечує мінімальні втрати потужності в лінії та є оптимальною для живлення цехових РП.

Визначимо струм післяаварійного режиму (за додатком А.7):

$$I_{n\text{ ав}} = \frac{1765,5}{\sqrt{3} \cdot 10} = 102,05 \text{ А.}$$

Вибираємо кабель для живлячої лінії. Попередньо приймаємо до влаштування 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):

$$I_{\text{норм}} = \frac{1765,5}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 2} = 51,02 \text{ А.}$$

Результати вибору зведемо в таблицю 2.8.

Таблиця 2.8 – Результати вибору перерізу КЛ 10 кВ

F , мм ²	$I_{\text{доп}}$, А	$I'_{\text{доп}}$, А	r_0 , $\frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	x_0 , $\frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	$\Delta U_{\text{норм}}$, В	$\Delta U_{\text{норм}}$, %	$\Delta U_{n\text{ ав}}$, %	K_3	$\Delta P_{\text{н}}$, кВт	$\Delta P_{\text{д}}$, кВт	C_e , тис. грн.	K , тис. грн.	3 , тис. грн.
35	119	113,526	0,894	0,095	43,60	0,44	0,87	0,45	58,76	11,87	213,13	2674,61	547,45
50	140	133,56	0,625	0,09	31,28	0,31	0,63	0,38	56,86	8,30	149,00	2840,75	504,09
70	171	163,134	0,447	0,086	23,11	0,23	0,46	0,31	60,67	5,93	106,56	3352,37	525,61
95	203	193,662	0,329	0,083	17,67	0,18	0,35	0,26	62,93	4,37	78,43	3476,21	512,96
120	232	221,328	0,261	0,081	14,53	0,15	0,29	0,23	65,21	3,46	62,22	3932,3	553,76

Отже, приймаємо найдешевший кабель марки АПвЕгаПу-10-3×50 мм² (Південкабель) до встановлення.

2.9. Проектування внутрішньої розподільної мережі

Для електропостачання розподільних пунктів напругою 0,4 кВ прийнято змішану (радіально-магістральну) схему (рис. 2.1). Вона передбачає індивідуальне радіальне живлення для споживачів II категорії надійності та групове магістральне підключення для об'єктів III категорії. Для внутрішньозаводської схеми живлення вибираємо кабель ВББШв [11] (Південкабель) «кабелі силові з мідними СПЖ, із ізоляцією з ПВХ пластикату, броньовані сталевими оцинкованими стрічками, із захисним шлангом з ПВХ пластикату».

Електроприймачі цехів під'єднуються до розподільчих пунктів 0,4 кВ. Вибираємо до встановлення розподільні пункти ПР11 (Лекконт) [12] з ввідними автоматичними вимикачами ВА52-39 (Energy Group). 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 розподільчих пристроїв 0,4 кВ та захисної апаратури

Назва цеху	$S_{p\Sigma},$ 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 вимикача
Металообробний цех	156,0	112,71	ПР11	630	31	2	1	РП3	ВА52-39
Зварювальний цех	335,9	242,71	ПР11	630	17	2	1	РП6	ВА52-39
Заготовчий цех	325,1	234,90	ПР11	630	14	2	1	РП9	ВА52-39
Ливарний цех	346,1	250,08	ПР11	630	9	2	1	РП7	ВА52-39
Ковальсько-пресовий цех	374,5	270,63	ПР11	630	5	2	1	РП2	ВА52-39
Управління	18,9	27,27	ПР11	630	4	1	1	РП1	ВА52-39
Насосна станція	175,5	126,82	ПР11	630	8	2	1	РП4	ВА52-39
Складальний цех	246,3	177,93	ПР11	630	5	2	1	РП5	ВА52-39
Склад готової продукції	40,3	58,27	ПР11	630	6	1	1	РП8	ВА52-39
Склад матеріалів	35,1	50,66	ПР11	630	5	1	1	РП10	ВА52-39

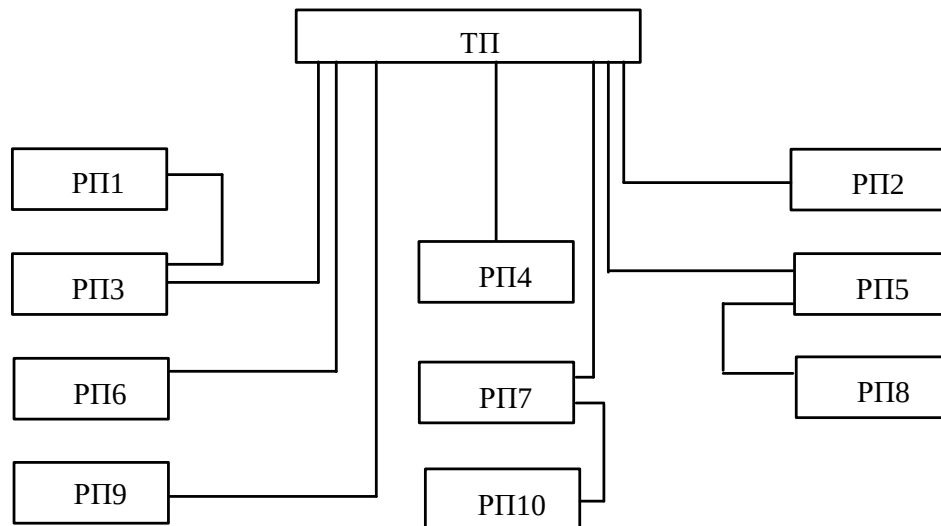


Рисунок 2.1 – Структурна схема внутрішньозаводської мережі

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

Назва КЛ	n	$S_{p\sum},$ кВА	$I_p,$ А	Переріз кабелю ВБбШв	$l,$ км	$I_{don},$ А	$F_e,$ мм ²	$I_{нав},$ А	$I'_{наб},$ А	$r_0,$ $\frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	$x_0,$ $\frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	$\Delta U_{норм},$ %	$\Delta U_{нав},$ %
ТП-РП2	2	374,5	270,59	4x240	0,112	405	108	378,83	380,72	0,077	0,077	1,41	1,99
ТП-РП3	2	174,9	126,37	4x95	0,076	259	51	252,75	254,01	0,195	0,081	0,85	1,71
ТП-РП4	2	175,5	126,81	4x95	0,182	259	51	253,61	254,88	0,195	0,081	2,04	4,10
ТП-РП5	2	286,6	207,08	4x150	0,185	332	83	310,62	312,17	0,124	0,079	2,43	3,66
ТП-РП6	2	335,9	242,70	4x185	0,13	376	97	364,05	365,87	0,1	0,078	1,73	2,61
ТП-РП7	2	382,1	276,08	4x240	0,059	405	110	386,52	388,45	0,077	0,077	0,76	1,07
ТП-РП9	2	325,1	234,90	4x185	0,165	376	94	352,35	354,11	0,1	0,078	2,13	3,20
РП3-РП1	1	18,9	27,31	4x16	0,053	94	11	27,31	27,45	1,16	0,095	0,62	0,62
РП7-РП10	1	35,1	50,72	4x25	0,071	123	20	50,72	50,98	0,74	0,091	1,01	1,01
РП5-РП8	1	40,3	58,24	4x25	0,058	123	23	58,24	58,53	0,74	0,091	0,94	0,95

Усі вибрані перерізи у межах допустимих значень за втратою напруги.
Приймаємо вибрані перерізи кабелю ВБбШв -1.

2.10. Вибір схеми електропостачання металообробного цеху

Для забезпечення безперебійної роботи обладнання металообробного цеху (II категорія надійності) обрано радіальну конфігурацію мережі. Розподіл електроенергії здійснюється через пункт ПР11 виробництва «Лекконт», обґрунтування вибору якого наведено у розділі 2.9. Розрахункове навантаження металообробного цеху становить $S_p=174,9$ кВА (з врахуванням потужності Управління).

Визначимо струм нормального режиму:

$$I_p = \frac{174,9}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 2} = 126,37 \text{ А.}$$

Згідно п. 2.9 даного проєкту, вибрано кабель марки ВБбШв-4х95-1 з допустимим струмом $I_{дон}=259$ А (від даного РП ще живиться Управління).

Переріз кабельної лінії вибираєм за виразом (А.8.1) за розрахунковим струмом та коефіцієнтом потужності. Усі результати вибору заносим у таблицю 2.11. Кабель прокладається на лотках.

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

Назва обладнання	Номінальна потужність P_H , кВт	Кількість, шт	$\cos \varphi$	I_p , А	Переріз кабелю ВВГнгд	$I_{дон}$, А
Верстат токарний	10	10	0,6	24,08	5х4	43
Фрезерний верстат	9,23	6	0,6	22,23	5х4	43
Листозгинальний верстат	8	6	0,6	19,27	5х4	43
Кран-балка	22,5	1	0,73	44,5	5х6	54
Установка контактної зварювання	6,5	4	0,55	17,08	5х4	43
Вентиляційна установка	1,5	4	0,8	2,71	5х4	43

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

$S_{\delta}=100 \text{ МВА}; U_{\delta}=U_{cp}=10,5 \text{ кВ}; S_{K3}=72 \text{ МВА}.$

Опір системи:

$$\dot{X}_{C^{*}} = \frac{100}{72} = 1,39.$$

На рисунках 2.2 та 2.3 зображена розрахункова та схема заміщення.

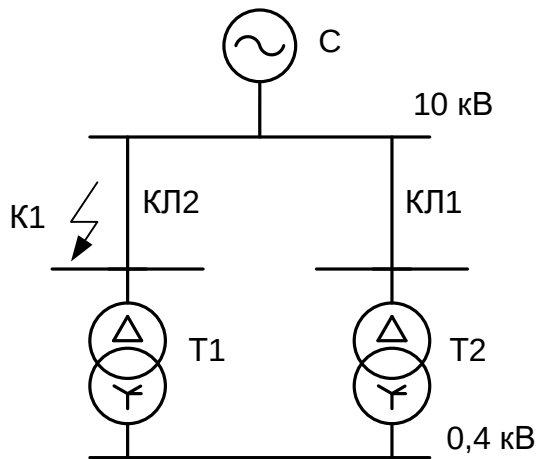


Рисунок 2.2 – Розрахункова схема

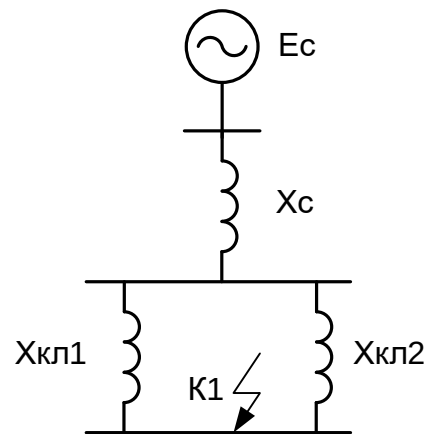


Рисунок 2.3 – Схема заміщення

Опір кабельної лінії:

$$x_{KL1^{*}} = 1,7 \cdot 0,09 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,139.$$

Опір паралельних ліній за формулою (рис. 2.4):

$$x_{KL12^{*}} = \frac{0,139}{2} = 0,069.$$

Результуючий опір (рис. 2.5):

$$x_{рез*} = 1,39 + 0,069 = 1,459.$$

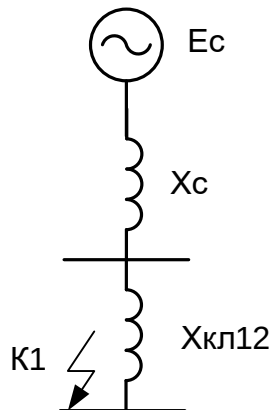


Рисунок 2.4 – Перетворення
схеми заміщення

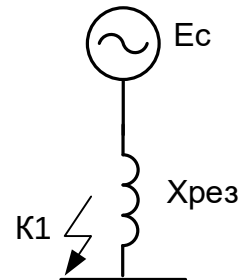


Рисунок 2.5 – Результуючий опір

Струм КЗ в точці К1 становить:

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

$$I_{no} = \frac{5,5}{1,459} = 3,77 \text{ кА}.$$

$$i_y = \sqrt{2} \cdot 1,3 \cdot 3,77 = 5,93 \text{ кА}.$$

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

$$F_{\min} = \frac{3770}{65} \cdot \sqrt{0,25} = 29 \text{ мм}^2.$$

					ЛНТУ.971097.000 ПЗ	Арк.
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На основі проведених розрахунків до встановлення остаточно прийнято кабель марки АПвЕгаПу-10-3×50. Вибір даного перерізу (50 мм²) є правомірним, оскільки він перевищує мінімально допустиме значення за умовою термічної стійкості (29 мм²), що забезпечує необхідний запас надійності при виникненні струмів короткого замикання. Розрахуємо також тепловий імпульс струму короткого замикання:

$$B_K = 3,77^2 \cdot 0,25 = 3,59 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

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

$U_o = 0,4 \text{ кВ}; I_{KB} = 3,77 \text{ кА}; U_{CBH} = 10,5 \text{ кВ}; S_T = 1600 \text{ кВА}, \Delta P_K = 17,5 \text{ кВт},$
 $u_K = 6\%; i_{xx} = 0,8\%.$

Параметри вибраної лінії подано в таблиці 2.12.

Реактивний опір системи:

$$x_c = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 3,77} = 1,61 \text{ Ом}.$$

Активний опір системи:

$$r_c = r_o \cdot l = 0,625 \cdot 1,7 = 1,06 \text{ Ом}.$$

Опір системи, який приведений до нижчої напруги:

- реактивний:

$$x_c^o = 1,61 \cdot \left(\frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 2,34 \text{ мОм};$$

- активний:

					<i>ЛНТУ.971097.000 ПЗ</i>	Арк.
						26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$r_c^o = 1,06 \cdot \left(\frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 1,54 \text{ мОм.}$$

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

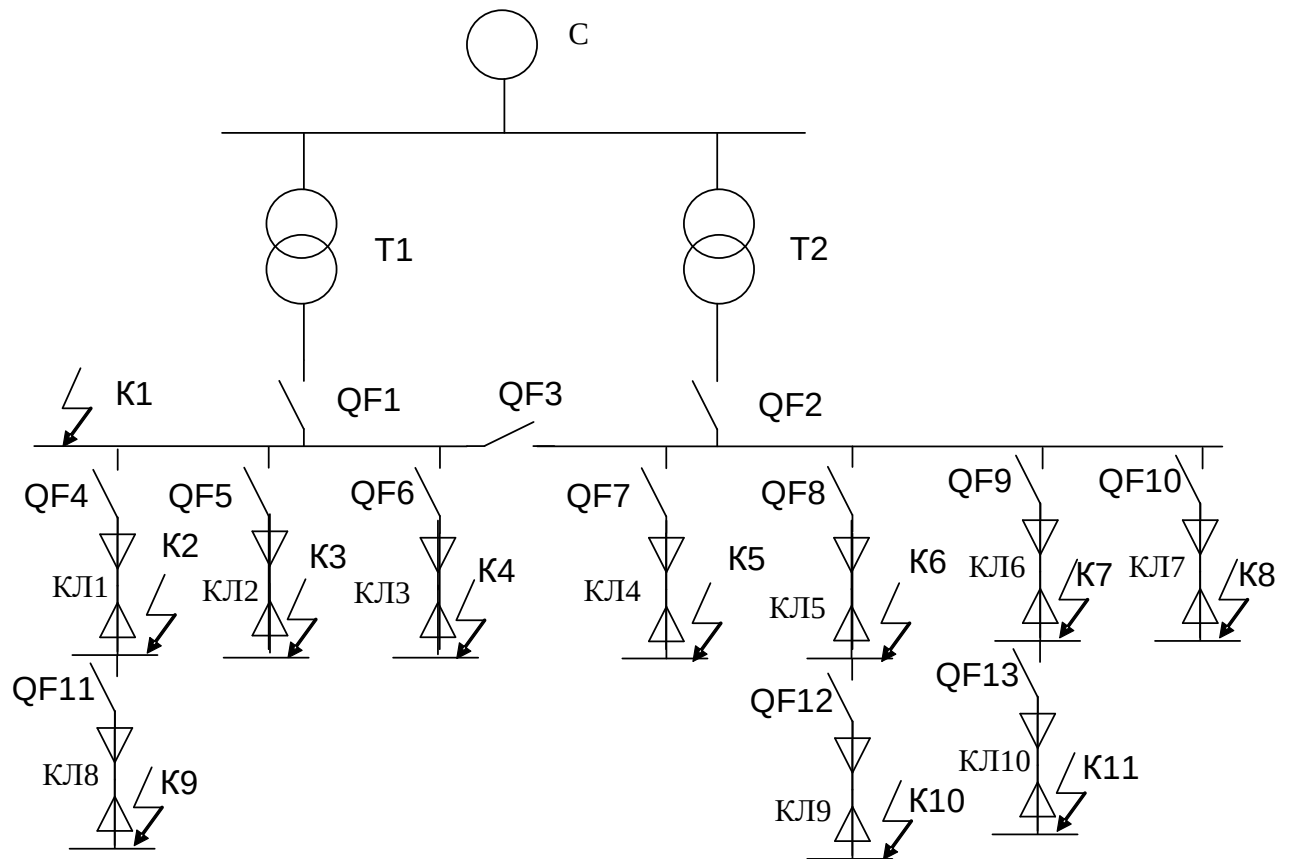


Рисунок 2.6 – Розрахункова схема КЗ кола

Опори трансформатора:

– активний:

$$r_T = \frac{17,5 \cdot 10^{-3} \cdot 0,4^2}{1,6^2} = 1,093 \text{ мОм;}$$

– реактивний:

$$x_T = \frac{6}{100} \cdot \frac{0,4^2}{1600} = 0,006 \text{ мОм.}$$

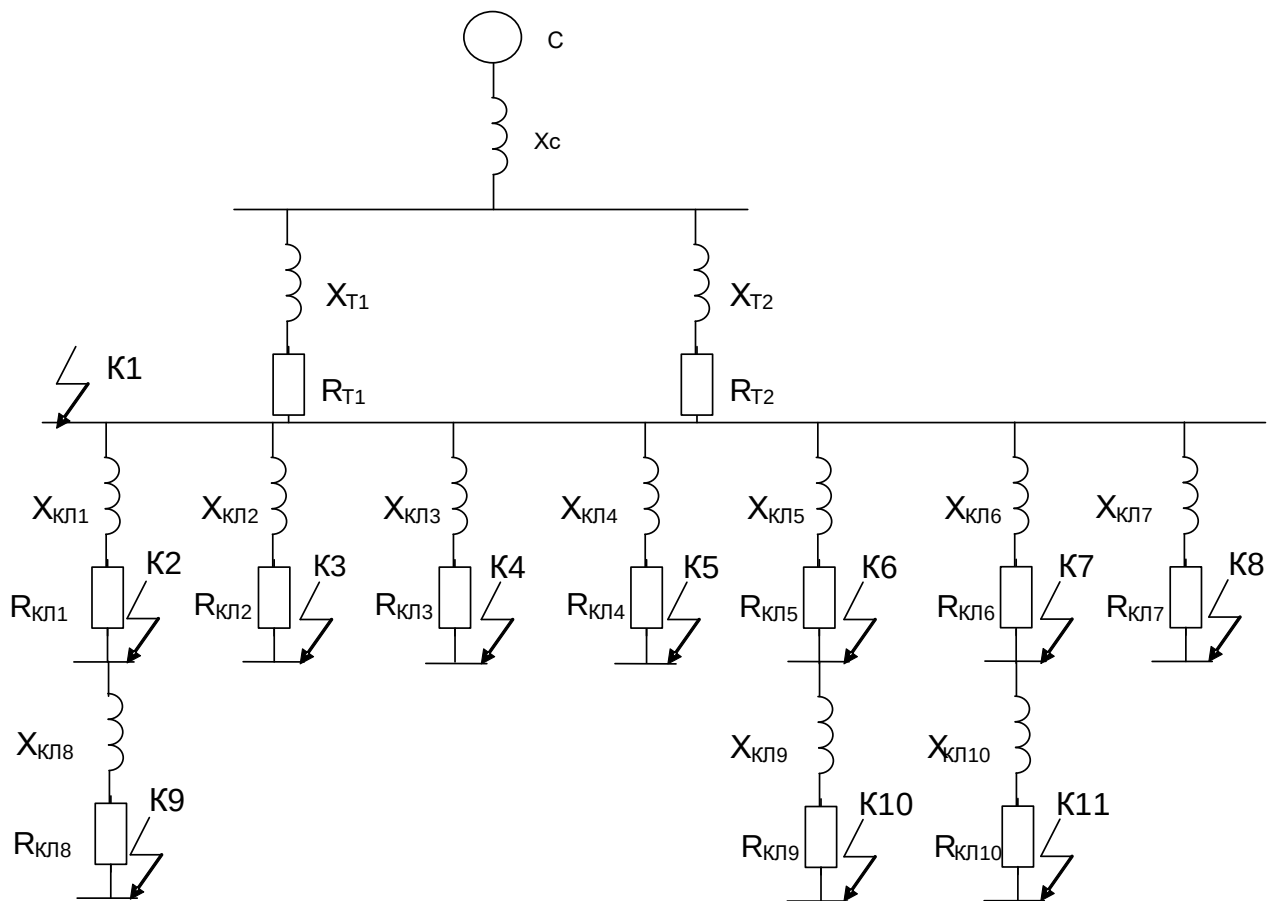


Рисунок 2.7 – Схема заміщення КЗ кола

Результуючі опори до точки К1:

– реактивний:

$$x_{рез1}^o = 2,34 + 0,006 = 2,346 \text{ мОм};$$

– активний:

$$r_{рез1}^o = 1,54 + 1,093 + 15 = 17,633 \text{ мОм}.$$

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	χ_o , Ом/км	χ , Ом
КЛ1	0,076	0,195	14,82	0,081	6,156
КЛ2	0,13	0,1	13	0,078	10,140
КЛ3	0,165	0,1	16,5	0,078	12,870
КЛ4	0,182	0,195	35,49	0,081	14,742
КЛ5	0,059	0,077	4,543	0,077	4,543
КЛ6	0,185	0,124	22,94	0,079	14,615
КЛ7	0,112	0,077	8,624	0,077	8,624
КЛ8	0,053	1,16	61,48	0,095	5,035
КЛ9	0,071	0,74	52,54	0,091	6,461
КЛ10	0,058	0,74	42,92	0,091	5,278

Обрані перерізи кабельних ліній перевірено на термічну стійкість до струмів короткого замикання відповідно до методики, викладеної у виразі (А.9.7). Підсумкові дані перевірки систематизовано та наведено в таблиці 2.13.

Таблиця 2.13 – Результати перевірки вибраних перерізів КЛ

Точка КЗ	$\chi_{рез}$, 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
K1	2,346	15	17,633	17,788	13,00	1,3	23,83	—	—
K2	8,502	20	52,453	53,138	4,35	1,05	6,44	19	95
K3	12,486	20	50,633	52,150	4,43	1,05	6,56	19	185
K4	15,216	20	54,133	56,231	4,11	1,05	6,09	18	185
K5	17,088	20	73,123	75,093	3,08	1,05	4,56	14	95
K6	6,889	20	42,176	42,735	5,41	1,05	8,01	24	240
K7	16,961	20	60,573	62,903	3,68	1,05	5,44	16	150
K8	10,970	20	46,257	47,540	4,86	1,05	7,20	21	240
K9	13,537	25	138,933	139,591	1,66	1,05	2,45	7	16
K10	18,947	25	128,173	129,566	1,78	1,05	2,64	8	25
K11	20,494	25	122,053	123,762	1,87	1,05	2,77	8	25

Так як вибрані перерізи кабелів більші за мінімальні, то приймаємо їх остаточно.

2.12. Вибір обладнання

2.12.1. Вибір комірок

Розподільчий пристрій високої напруги ТП-10/0,4 кВ реалізовано на базі комірок КСО-399 [16] (EAST EXPRESS). Параметри електричних апаратів, встановлених у камерах, перевірено на розрахункові умови експлуатації за формулами (А.11.1)-(А.11.5) відповідно до вимог додатка А.11. Результати перевірки зведемо в таблицю 2.14.

Таблиця 2.14 – Вибір комірок КСО

Каталожні дані	Розрахункові дані
$U_{\text{ном.крп}}=10 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}}=10 \text{ кВ}$
$I_{\text{ном.крп}}=630 \text{ А}$	$I_{\text{р.мах}}=102,05 \text{ А}$
$I_{\text{ном.відкл.крп}}=20 \text{ кА}$	$I_{\text{к.мах}}=3,77 \text{ кА}$
$i_{\text{ном.дин.крп}}=51 \text{ кА}$	$i_{\text{у.мах}}=5,93 \text{ кА}$
$B_{\text{т}}=20^2 \cdot 1=400 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_{\text{к}}=3,77^2 \cdot 0,25= 3,55 \text{ кА}^2\text{с}$

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

2.12.2. Вибір роз'єднувачів

В комірках КСО399 встановлюємо роз'єднувачі з заземлюючими ножами РР3-10 [17] (EAST EXPRESS). Результати перевірки зведемо в таблицю 2.15.

Таблиця 2.15 – Вибір роз'єднувачів 10 кВ

Розрахункові дані	Каталожні дані
$U_{\text{уст}}=10 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}}=10 \text{ кВ}$
$I_{\text{ном}}=51,02 \text{ А}$ $I_{\text{макс}}=102,05 \text{ А}$	$I_{\text{ном}}=630 \text{ А}$
$i_{\text{у}}=5,93 \text{ кА}$	$i_{\text{гр наскр}}=51 \text{ кА}$
$B_{\text{к}}=3,77^2 \cdot 0,25=3,55 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_{\text{м}}=20^2 \cdot 1=400 \text{ кА}^2\text{с}$

Так як умови виконуються. Приймаємо остаточно роз'єднувачі типу РРЗ-10-630УЗ.

2.12.3. Вибір вимикачів навантаження та запобіжників

В якості комутаційних апаратів у комірках 10 кВ застосовано вимикачі навантаження ВНПР-10, оснащені пружинними приводами. Проектом передбачено виконання з запобіжниками та без них, відповідно до схем головних ланцюгів КСО-399 [18]. Результати перевірки вимикачів навантаження показано в таблиці 2.16.

Таблиця 2.16 – Вибір вимикачів навантаження 10 кВ

Розрахункові дані	Каталожні дані
$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
$I_{норм} = 51,02 \text{ А}$ $I_{макс} = 102,05 \text{ А}$	$I_{ном} = 630 \text{ А}$
$i_y = 5,93 \text{ кА}$	$i_{гр наскр} = 25 \text{ кА}$
$I_{но} = 3,77 \text{ кА}$	$I_{гр наскр} = 10 \text{ кА}$
$B_k = 3,77^2 \cdot 0,25 = 3,55 \text{ кА}^2\text{с}$	$I_m^2 t_m = 25^2 \cdot 1 = 625 \text{ кА}^2\text{с}$
$I_{макс} = 102,05 \text{ А}$	$I_{ном.з} = 80 \text{ А}$
$I_{макс} = 102,05 \text{ А}$	$I_{вимк з} = 630 \text{ кА}$
$S'' = 72 \text{ МВА}$	$S_{вимк з} = 200 \text{ МВА}$

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

2.12.4. Вибір автоматичних вимикачів

Для розподілу електроенергії на стороні НН обрано камери типу ЩО-03 (EAST EXPRESS) [19]. В якості ввідних та секційних апаратів захисту застосовано автоматичні вимикачі серії CNC ВА виробництва «CNC» [20]. Розрахункову перевірку апаратів виконано згідно з методикою додатка А.12.

Вибір та перевірку зведемо в таблицю 2.17.

					<i>ЛНТУ.971097.000 ПЗ</i>	Арк.
						31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.17 – Вибір автоматичних вимикачів

Назва вимикача	Тип вимикача	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	CNC BA-78	0,4	1500	70	0,4	1484	13
QF2	CNC BA-78	0,4	1500	70	0,4	1484	13
QF3	CNC BA-74	0,4	300	50	0,4	270,59	4,35
QF4	CNC BA-74	0,4	300	50	0,4	126,37	4,43
QF5	CNC BA-74	0,4	300	50	0,4	126,81	4,11
QF6	CNC BA-74	0,4	300	50	0,4	207,08	3,08
QF7	CNC BA-74	0,4	300	50	0,4	242,70	5,41
QF8	CNC BA-74	0,4	300	50	0,4	276,08	3,68
QF9	CNC BA-74	0,4	300	50	0,4	234,90	4,86
QF10	CNC BA-78	0,4	1500	70	0,4	1484	13
QF11	CNC BA-74	0,4	300	50	0,4	270,59	4,35
QF12	CNC BA-74	0,4	300	50	0,4	126,37	4,43
QF13	CNC BA-74	0,4	300	50	0,4	126,81	4,11
QF14	CNC BA-74	0,4	300	50	0,4	207,08	3,08
QF15	CNC BA-74	0,4	300	50	0,4	242,70	5,41
QF16	CNC BA-74	0,4	300	50	0,4	276,08	3,68
QF17	CNC BA-74	0,4	300	50	0,4	234,90	4,86

Отже, приймаємо до встановлення вибрані вимикачі.

2.12.5. Вибір вимірювальної апаратури

Комерційний облік електроенергії на вводах 0,4 кВ реалізовано за допомогою трифазних електронних лічильників Hager TE370 [21]. Підключення приладів обліку до силових кіл передбачено через трансформатори струму типу ТШ-0,66-2 (Мегомметр) [22]. Розрахункову перевірку вимірювальних пристроїв виконано згідно з методикою додатка А.13, а її результати систематизовано у таблиці 2.13.

Таблиця 2.18 – Вибір вимірювальної апаратури

Каталожні дані	Розрахункові дані
$I_{номTC}=1500 \text{ А}$	$I_{p \max}= 1484 \text{ А}$
$U_{номTC}=0,72 \text{ кВ}$	$U_{ном}=0,4 \text{ кВ}$
$i_{ном \text{ дин}}=51 \text{ кА}$	$i_{y \max}=23,83 \text{ кА}$
$B_m = I_m^2 t_m = 100 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_k = I_{k \max}^2 t_n = 13^2 \cdot 0,25 = 42,2 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$
$s_{2ном} = 5 \text{ ВА}$	$s_{2p} = 0,286 \text{ ВА}$

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
$I_{номTC}=300 \text{ А}$	$I_{p \max}= 276,08 \text{ А}$
$U_{номTC}=0,72 \text{ кВ}$	$U_{ном}=0,4 \text{ кВ}$
$i_{ном \text{ дин}}= 51 \text{ кА}$	$i_{y \max}=8,01 \text{ кА}$
$B_m = I_m^2 t_m = 100 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_k = I_{k \max}^2 t_n = 5,41^2 \cdot 0,25 = 7,32 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$
$s_{2ном} = 5 \text{ ВА}$	$s_{2p} = 0,6 \text{ ВА}$

Отже, приймаємо до встановлення вибрані трансформатори струму.

РОЗДІЛ 3

РОЗРАХУНОК СЕП МОСТОВОГО КРАНУ

У металообробному цеху в якості підйомного устаткування використовується однобалковий мостовий кран. Розрахунок СЕП мостового крану будемо проводити за методикою, наведеною в додатку Б. Усі розрахунки проведемо для двигунів пересування моста, пересування візка та підйому вантажу. Вихідні дані до розрахунку наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Дані для розрахунку

Назва, позначення та одиниці вимірювання вихідних даних	Назва кранового механізму		
	Механізм пересування моста	Механізм пересування візка	Механізм підйому
Продуктивність крану $Q, \frac{m}{год}$	1100	1100	1100
Вантажопідйомність крану з врахуванням маси вантажозахватного пристрою $m, кг$	2100	2100	2100
Режим роботи	важкий	важкий	важкий
Швидкість руху $v, \frac{m}{с}$	0,14	0,14	0,34
Прискорення руху $a, \frac{m}{с^2}$	0,22	0,22	0,42
Маховий момент $GD, кг \cdot м^2$	2,5	2,4	2,2
Шлях руху	Довжина, $l=12 м$	Ширина, $b=6 м$	Висота підйому, $h=6 м$
ККД механізму	0,85	0,85	0,84
Число ввімкнень за годину Z	100	100	100

Проведемо вибір електродвигуна. Статичну потужність механізму підйому визначають за виразом:

$$P_{ст} = \frac{9,81 \cdot 2100 \cdot 0,34 \cdot 10^{-3}}{0,84} = 8,3 \text{ кВт.}$$

					<i>ЛНТУ.971097.000 ПЗ</i>			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив	Леоніова Н.Б.				Електропостачання машинобудівного заводу встановленою потужністю 2000 кВт. Пояснювальна записка	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірив	Денисовець Т.М.					Д	34	5
						ФАБЕ, гр. ЕЕЗ-41		
Н. контр.	Ващелюк Ю.І.							
Затвердив	Волинець В.І.							

$$P_{ном} = \frac{8,3}{1,1} = 7,5 \text{ кВт.}$$

Результати розрахунків статичної потужності та необхідної потужності двигунів решти механізмів зведемо в таблицю 3.2.

Таблиця 3.2 – Результати розрахунків

Назва кранового механізму	$P_{ст},$ кВт	k_t	$P_{ном},$ кВт	Тип двигуна [24]	Паспортні дані вибраного двигуна				
					$P_{дв},$ кВт	$M_{max},$ Н · м	$TB,$ %	$n_{ном},$ хв ⁻¹	$GD_{дв}^2,$ кг · м ²
Механізм пересування моста	1,77	1,1	1,61	МТН 012-6	2,2	63,5	40	895	0,026
Механізм пересування візка	1,77	1,1	1,61	МТН 012-6	2,2	63,5	40	895	0,026
Механізм підйому	8,3	1,1	7,5	МТН 211-6	7,5	236	40	940	0,082

Визначаємо корегувальний коефіцієнт, який необхідно вводити в розрахунок у випадках неспівпадіння тривалості ввімкнення двигуна при регулюванні частоти обертання:

$$k_p = 1 - 1,2 \cdot (0,1 - 0,05) = 0,94.$$

Еквівалентна кількість включень буде дорівнювати:

$$Z' = 100 \cdot \frac{1,2 \cdot 0,082 + 2,2}{1,2 \cdot 0,082} = 122,3 \text{ вкл./год.}$$

$$P_{ном} = \frac{0,75 \cdot 1,0 \cdot 0,94 \cdot 1 \cdot 8,3 \cdot \sqrt{\frac{40}{40}}}{0,94 \cdot 1,05 \cdot (0,94 - 1,25 \cdot (0,94 - 0,84))} = 7,27 \text{ кВт.}$$

Оскільки $P_{ном} = 7,27 \text{ кВт} < P_{дов} = 7,5 \text{ кВт}$, то перевірка за тепловим режимом виконується.

Результати розрахунків для інших двигунів зведемо в таблицю 3.3.

Таблиця 3.3 – Перевірка вибраних двигунів за тепловим режимом

Назва механізму	$k_{екв}$	k_z	TB	$\eta_{екв б}$	$k_{дин}$	k_n	k_p	Z'	α	$\eta_{екв}$	$P_{ном}, \text{ кВт}$	$P_{дов}, \text{ кВт}$
моста	0,75	1	40	0,94	1,25	1	0,94	180,1	1,05	0,85	1,52	2,2
візка	0,75	1	40	0,94	1,25	1	0,94	176,9	1,05	0,85	1,52	2,2
підйому	0,75	1	40	0,94	1,25	1	0,94	122,3	1,05	0,84	7,27	7,5

Виконаємо перевірку двигунів за можливістю забезпечення необхідного пускового моменту.

Максимально можливий момент статичного навантаження, приведений до валу двигуна:

$$M_{ст. max} = \frac{9550 \cdot 8,3}{940} = 84,3 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Динамічний момент, що визначається з умови забезпечення необхідного прискорення:

$$M_o = \frac{0,082 + 2,2}{38,2} \cdot \frac{940}{0,34} \cdot 0,42 = 69,4 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Максимально допустимий момент вибраного електродвигуна:

$$M_{max} = 236 \text{ Н} \cdot \text{м} \geq 1,1 \cdot (84,3 + 69,4) = 169,1 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Перевірку інших двигунів здійснимо аналогічно, результати розрахунків зведемо в таблицю 3.4.

Таблиця 3.4 – Перевірка вибраних двигунів за можливістю забезпечення необхідного пускового моменту

№	Назва механізму	$M_{ст\ max},$ $H \cdot м$	$M_{д},$ $H \cdot м$	$k_{з\ м}$	$k_{з\ м} \cdot (M_{ст\ max} + M_{д}),$ $H \cdot м$	$M_{max},$ $H \cdot м$
1	Механізм пересування моста	18,8	93	1,1	<u>122,98</u>	63,5
2	Механізм пересування візка	18,8	89,3	1,1	<u>118,9</u>	63,5
3	Механізм підйому	84,3	69,4	1,1	169,1	236

Оскільки для механізму пересування моста та візка перевірка не виконується, то вибираємо для них двигун МТН 211-6 потужністю 7,5 кВт M_{max} для якого 236 Н·м (перевірка буде виконуватись).

За допустимим розрахунковим струмом навантаження вибираємо переріз тролей. Споживану потужність розраховують за формулою:

$$P = 0,3 \cdot (7,5 \cdot 3) + 0,18 \cdot (7,5 \cdot 3) = 10,8 \text{ кВт.}$$

Розрахунковий змінний струм:

$$I = \frac{10,8}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,73} = 21,4 \text{ А.}$$

За розрахунковим струмом попередньо вибираємо тролей з кутової сталі №5 розміром 50×50×6 мм².

Піковий струм навантаження:

$$I_n = 19,2 + (21,4 - 0,15 \cdot 19,2) = 37,7 \text{ А.}$$

$$k = \frac{3}{37,7 \cdot 0,036} = 2,21.$$

Отже, остаточно приймаємо для головних тролейів кутову сталь 50×50×6 мм².

					<i>ЛНТУ.971097.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

РОЗДІЛ 4

САПР

Для визначення центру активних електричних навантажень машинобудівного заводу використовуємо програми *Mathcad*, яка є САД системою. На рисунках 4.1-4.3 відображено зміст програми розрахунку.

Розрахунок картограми електричних навантажень машинобудівного заводу

Приймаємо кількість цехів підприємства: $n := 10$

Вводимо абциси та ординати центрів геометричних фігур, які схематично зображують і-й цех на генплані:

$$X := \begin{pmatrix} 124 \\ 78 \\ 50 \\ 152 \\ 192 \\ 178 \\ 18 \\ 108 \\ 37 \\ 89 \end{pmatrix} \quad Y := \begin{pmatrix} 144 \\ 145 \\ 147 \\ 78 \\ 14 \\ 137 \\ 76 \\ 8 \\ 17 \\ 78 \end{pmatrix}$$

Формуємо матриці активної та реактивної потужності цехів заводу:

$$P := (155.7 \ 252.6 \ 244.3 \ 259 \ 277.7 \ 15.6 \ 133.2 \ 183.8 \ 33.5 \ 28.8)$$

$$Q := (79.8 \ 222.7 \ 214.5 \ 231.6 \ 250 \ 10.6 \ 116.3 \ 164.7 \ 22.4 \ 19.9)$$

Рисунок 4.1 – Зміст програми розрахунку центру електричних навантажень

					<i>ЛНТУ.971097.000 ПЗ</i>			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив	Леоніова Н.Б.				Електропостачання машинобудівного заводу встановленою потужністю 2000 кВт. Пояснювальна записка	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірив	Денисовець Т.М.					Д	39	2
Н. контр.	Ващелюк Ю.І.					ФАБЕ, гр. ЕЕз-41		
Затвердив	Волинець В.І.							

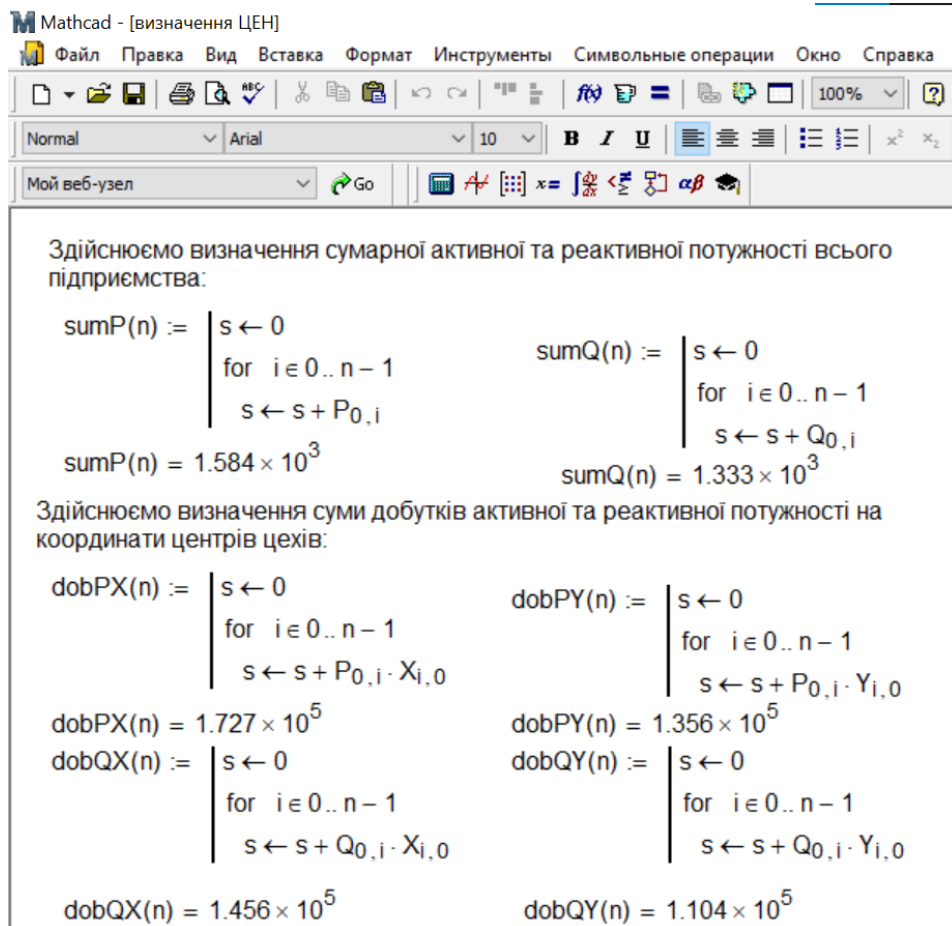


Рисунок 4.2 - Зміст програми розрахунку центру електричних навантажень

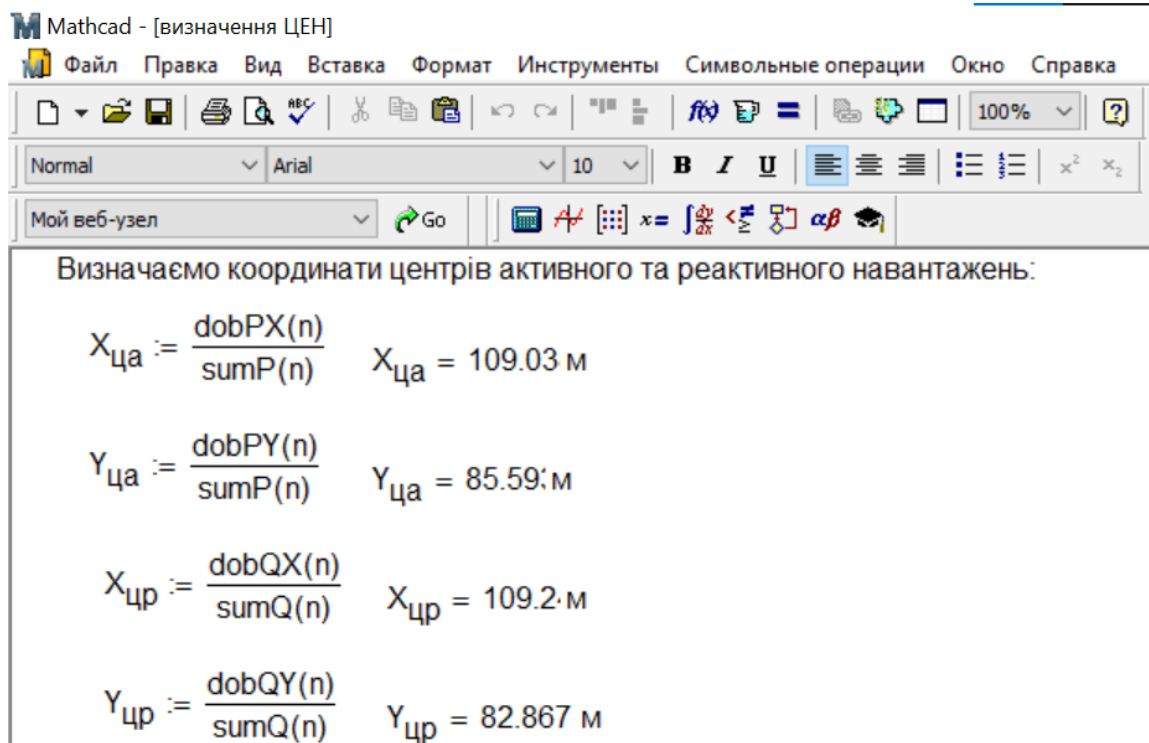


Рисунок 4.3 - Зміст програми розрахунку центру електричних навантажень

РОЗДІЛ 5

ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА

Розрахунок захисного заземлення електрообладнання металообробного цеху

Розрахунок захисного заземлення обладнання металообробного 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	25x78
Матеріал та форма заземлювачів	сталь, труба
Розмір заземлювачів: - довжина, м - зовнішній діаметр, м	3 0,08
Ширина шини, м	0,09
Вид ґрунту	чорнозем
Глибина залягання заземлюючого пристрою, м	0,7
<u>Результати розрахунку</u>	
Питомий опір ґрунту, Ом·м [25, т.5.1]	200
Кліматичний коефіцієнт φ_2 [25, т.5.2]	1,3
Розрахунковий питомий опір ρ_p , Ом·м	260
Відстань від поверхні землі до середини заземлювача t , м	2,2
Опір розтіканню струму однієї вертикальної труби R_{od} , Ом	66,33
Орієнтовна відстань між трубами a , м	16
Кількість заземлювачів n' , шт.	13

					<i>ЛНТУ.971097.000 ПЗ</i>			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив	Леонova Н.Б.				Електропостачання машинобудівного заводу встановленою потужністю 2000 кВт. Пояснювальна записка	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірив	Денисовець Т.М.					Д	41	2
						ФАБЕ, гр. ЕЕз-41		
Н. контр.	Ващелюк Ю.І.							
Затвердив	Волинець В.І.							

Продовження таблиці 5.1

1	2
Коефіцієнт використання стержньових заземлювачів η [25, т.5.3]	0,91
Необхідна кількість заземлювачів з врахуванням коефіцієнта використання n , шт.	12
Коефіцієнт використання для шин $\eta_{ш}$ [25, т.5.4]	0,87
Опір розтіканню струму з'єднувальної шини $R_{ш}$, Ом	89,7
Опір заземлюючого пристрою без врахування опору шини $R_{ст}$, Ом	6,04
Загальний опір заземлюючого пристрою R , Ом	5,66

Завдяки тому, що розрахунковий опір заземлювального пристрою становить 5,66 Ом, що значно менше нормативного порогу в 10 Ом, спроектована система контуру повністю відповідає вимогам безпеки та прийнята до впровадження. Конструктивне рішення передбачає встановлення 12 заземлювачів, розміщених у ряд.

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

Впроваджена змішана схема живлення цехових розподільних пунктів 0,4 кВ дозволяє забезпечити високий рівень надійності електропостачання відповідальних споживачів при одночасному досягненні економічної ефективності проєкту. Встановлені силові трансформатори пройшли повну верифікацію на допустиму перевантажувальну здатність. Для зовнішнього живлення обрано кабель із ізоляцією зі зшитого поліетилену марки АПвЕгаПу-10, переріз якого перевірено за допустимою втратою напруги в нормальному та післяаварійному режимах, а також за стійкістю до термічної дії струмів короткого замикання. З метою підтримання нормативних показників якості електроенергії на шинах 0,4 кВ передбачено встановлення комплектних конденсаторних установок АКУ-0,4-320-20УЗ.

В індивідуальному розділі проєкту виконано розрахунок системи електропостачання однобалкового мостового крану металообробного цеху та обґрунтовано вибір електродвигуна підйому марки МТН 211-6 потужністю 7,5 кВт.

За допомогою інструментарію САПР у середовищі Mathcad визначено координати центру електричних навантажень об'єкта, які становлять (108; 85).

Питання виробничої безпеки опрацьовано в розділі «Електробезпека», де розраховано контур захисного заземлення обладнання цеху: конструктивне рішення на основі 12 вертикальних електродів, встановлених у ряд, забезпечує загальний опір заземлювального пристрою на рівні 5,66 Ом.

					<i>ЛНТУ.971097.000 ПЗ</i>	Арк.
						43
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-80vt-high-bay-granit-ip65-0-10v-13000lm-865-wb-sylvania/>
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://lekkont.com.ua/produkt/elektroshchytove-obladnannia/kondensatorni-ustanovky-aku-0-4>
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.971097.000 ПЗ</i>	Арк.
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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://lekkont.com.ua/produkt/elektroshchytove-obladnannia/punkty-rozpodilni-pr11-pr11d/rozpodilni-punkty-na-nominalnyi-strum-400-a-navisnoho-vykonannia>

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 РР3-10. 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 CNC. URL: <https://electrocontrol.com.ua/ua/cnc-electric>

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/product-category/production-uk/transformers/>

					<i>ЛНТУ.971097.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

23. Амперметр електронний трифазний ЦА0204. URL:

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

24. Кранові двигуни. URL: <https://systemax.ua/ua/elektrodivigateli/kranovie-elektrodivigateli/>

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

					<i>ЛНТУ.971097.000 ПЗ</i>	Арк.
						46
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		