

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
МЕТАЛООБРОБНОГО ПІДПРИЄМСТВА
ВСТАНОВЛЕНОЮ ПОТУЖНІСТЮ 1230 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

КАМЕЛЬЧУК

Артем Анатолійович

(підпис)

Керівник:

к.т.н., доцент

Романюк Микола Валентинович

(підпис)

Кваліфікаційний проєкт

допущено до захисту

«__» _____ 2026 р.

К.т.н., доцент

Гарант освітньої програми:

Волинець Владислав Ігорович

(підпис)

Луцьк – 2026 року

АНОТАЦІЯ

Камельчук А.А. Електропостачання металообробного підприємства встановленою потужністю 1230 кВт. Рукопис.

Кваліфікаційний проект бакалавра ОП «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2025.

Кваліфікаційний проект бакалавра складається з п'яти розділів, списку використаних джерел та одного додатка.

Розроблено системи електропостачання металообробного підприємства встановленою потужністю 1230 кВт.

Розробка системи електропостачання 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 проект містить 51 сторінки, 31 таблиці, 18 джерел літератури.

Ключові слова: система електропостачання (СЕП), електричні навантаження, кабельна лінія електропередачі, струм короткого замикання, електрообладнання.

ANNOTATION

ABSTRACT

Kamelchuk A.A. Power supply of a metalworking enterprise with an installed capacity of 1230 kW. Manuscript.

Bachelor's qualification project of the OP "Electrical Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics" specialty 141 Electrical Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics. Lutsk National Technical University. Lutsk, 2025.

Bachelor's qualification project consists of five sections, a list of used sources and one appendix.

A power supply system for a metalworking enterprise with an installed capacity of 1230 kW has been developed.

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

The qualification project contains 51 pages, 31 tables, 18 sources of literature.

Keywords: power supply system (EPS), electrical loads, cable transmission line, short circuit current, electrical equipment.

3MICT

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1 КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ’ЄКТУ ПРОЄКТУВАННЯ.....	8
РОЗДІЛ 2 ОСНОВНІ ПРОЕКТНІ РІШЕННЯ.....	9
2.1 Розрахунок електричних навантажень.....	9
2.1.1 Розрахунок силових електричних навантажень.....	9
2.1.2 Розрахунок освітлювальних навантажень.....	10
2.1.3 Розрахунок сумарних навантажень.....	14
2.2 Побудова картограми та визначення теоретичного центру навантажень.....	15
2.3 Вибір трансформаторів ТП	16
2.4 Компенсація реактивної потужності.....	17
2.5 Визначення навантажень на вищих рівнях СЕП	21
2.6 Проектування системи зовнішнього електропостачання	22
2.7 Проектування системи внутрішнього електропостачання.....	26
2.8 Розрахунок струмів КЗ	28
2.8.1 Визначення струмів КЗ на стороні 10 кВ ТП.....	28
2.8.2 Визначення струмів КЗ на стороні 0,4 кВ ТП.....	31
2.9 Вибір високовольтного обладнання.....	33
2.9.1 Вибір комплектних пристроїв напругою 10 кВ	33
2.9.2 Вибір і перевірка апаратури напругою 10кВ.....	34
2.10 Проектування внутрішньоцехової мережі	36
2.10.1 Визначення струмових навантажень та вибір кабелів.....	36
2.10.2 Вибір і перевірка апаратури напругою 0,4 кВ.....	39
2.10.3 Вибір апаратури цеху.....	42
РОЗДІЛ 3 ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ТОКАРНО-ГВИНТОРІЗНОГО ВЕРСТАТУ.....	43

					ЛНТУ.971010.000 ПЗ						
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Електропостачання металообробного підприємства встановленої потужністю 1230 кВт. Пояснювальна записка	Літ.	Арк.	Аркушів			
Розроб.		Камельчук А.А.									
Перевір.		Романюк М.В.					5	84			
Реценз.						ФАБЕ, гр.ЕЕ-42					
Н. Контр.		Ващелюк Ю.І.									
Затверд.		Волинець В.І.									

3.1 Розрахунок двигуна	44
РОЗДІЛ 4 СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЄКТУВАННЯ (САПР).....	47
4.1 Загальні положення автоматизованого проектування.....	47
РОЗДІЛ 5 ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА.....	48
5.1 Розрахунок блискавкозахисту ТП	48
ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ.....	49
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	50
ДОДАТКИ.....	52

					ЛНТУ.971010.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		6

ВСТУП

Системою електропостачання називають сукупність пристроїв для виробництва, передачі і розподілу електроенергії. Системи електропостачання промислових підприємств створюються для забезпечення живлення електроенергією промислових приймачів до яких відноситься електродвигуни різних машин і механізмів, електричні печі, електролізні установки, апарати і машини для електричного зварювання, освітлювальні пристрої і інші.

Задача електропостачання промислових підприємств виникла одночасно з широким впровадженням електроприводів в якості рухомої сили різних машин і механізмів і будівництвом електростанцій. Перші електростанції будувались у містах для освітлення і живлення електротранспорту, а також при заводах і фабриках. Пізніше почали будувати в місцях де було паливо (торф, вугілля, нафта) або в місцях використання енергії води. Передача електроенергії на великі віддалі до центру споживання стала здійснюватись лініями електропередач високої напруги.

Головною проблемою енергозабезпечення в даний час є вирішення питань дефіциту потужності і споживання електроенергії із-за дефіциту платіжного балансу і недостатку палива для електростанцій. А тому сьогодні проблема енергозабезпечення переросла в проблему національної безпеки. І тому зараз поставлено питання про енергозабезпечення із-за критичних рівнів марнотратного та нераціонального використання паливно-енергетичних ресурсів. Це стало однією з основних причин енергетичної та економічної кризи в нашій країні. А тому політика енергозабезпечення в Україні розглядається як сукупність дій, що відповідають загальнонаціональним інтересам: забезпеченню життєздатності економіки, охорони навколишнього середовища, стратегії безпеки.

					ЛНТУ.971036.000 ПЗ	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

РОЗДІЛ 1

КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ПРОЄКТУВАННЯ.

Підприємство, яке спеціалізується на виробництві виробів із бетону встановленою потужністю 1370 кВт.

Виробничий процес забезпечують основні та допоміжні цехи підприємства. Характеристика об'єктів подана в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 Характеристика об'єктів підприємства

Назва	Площа, м ²	Категорія виробництва	Клас пожежо- і вибухонебезпечних зон	Категорія по надійності електропостачання
1. Цех виробництва бетонних плит	2880	В	П-I	2
2. Ремонтно-механічний цех	630	В	П-I. П-II	3
3. Склад	2400	Д	П-II	3
4. Адмінкорпус	720	В	П-III	3
5. Цех виробництва бетонних кілець	2160	Д	П-II	2
6. Насосна станція	81	Д	П-IIa	2
7. Котельня	180	В	П-III	2
8. Цех виробництва блоків	1458	В	П-III	2

Генеральний план зображений на листі 1 графічної частини дипломного проєкту.

Підприємство має одне джерело живлення. Підстанція 110/10 кВ із трансформатором ТМН-4000/35 знаходиться на відстані 0,92 км від підприємства. Потужність трифазного короткого замикання на шинах 10 кВ цієї підстанції становить 77 МВА.

					ЛНТУ.971036.000 ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Войнаровский А.В.				Розробка системи електропостачання заводу бетонних виробів встановленою потужністю 1370 кВт Пояснювальна записка	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.	Романюк М.В.						7	1
Реценз.						ФАБЕ, гр. ЕЕ-41		
Н. Контр.	Ващелюк Ю.І.							
Затверд.	Волинець В.І.							

РОЗДІЛ 2

ОСНОВНІ ПРОЕКТНІ РІШЕННЯ

2.1. Розрахунок електричних навантажень

2.1.1. Розрахунок силових навантажень

Розрахунок електричних навантажень проводиться на прикладі цеху. Згідно з даним методом розрахункове активне навантаження приймачів електроенергії на всіх ступенях живлячих і розподільних мереж визначають по середині потужності та коефіцієнту максимуму, згідно [1].

Електроприймачі механічного цеху умовно поділяються на дві групи навантаження. Результати розрахунків подані в таблиці 2.1

					ЛНТУ.971010.000 ПЗ						
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Розробка системи електропостачання металообробного підприємства встановленою потужністю 1221 кВт. Пояснювальна записка				Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.		Камельчук А.А.									
Перевір.		Романюк М.В.								8	37
Реценз.									ФАБЕ, гр.ЕЕ-41		
Н. Контр.		Ващелюк Ю.І.									
Затверд.		Волинець В.І.									

Таблиця 2.1 Розрахунок силових навантажень механічного цеху

Назва електроприймача	$P_{ном},$ $кВт$	n	$K_{вик.а}$	$cos\varphi$	$tg\varphi$	$P_{сер.}$ $зм.,$ $кВт$	$Q_{сер. зм.},$ $кВАр$	m	n_{ef}	$K_{м.а}$	$P_p,$ $кВт$	$Q_p,$ $кВАр$
	Група А											
	Електроприймачі зі змінним режимом роботи											
Апарат зварювальний	12	2	0,2	0,75	0,88	4,80	4,22	6	4,03	1,25	11,50	6,97
Верстат точильний	5,5	4	0,2	0,8	1,02	4,40	4,49					
Всього по групі І	46	6	0,20	-	-	9,20	8,71					
	Група Б											
	Електроприймачі зі змінним режимом роботи											
Мостовий кран	26	1	0,15	0,75	0,88	3,90	3,43	2	4,68	1,15	22,05	16,60
Ножиці гильотина	12	2	0,13	0,7	0,75	3,12	2,34					
Токарно-гвинторізний верстат	5,2	3	0,15	0,75	0,88	2,34	2,06					
Електроприймачі із постійним режимом роботи												
2. Вентилятор	3	6	0,9	0,85	0,62	16,2	10,04					
Всього по групі ІІ	83,6	12	0,07	-	-	25,56	17,8752					

Розрахунок низьковольтного силового навантаження інших об'єктів підприємства виконані також за методом впорядкованих діаграм і подані в таблиці 2.2

Таблиця 2.2 – Розрахунок силових електричних навантажень об'єктів підприємства

Назва об'єкта	$P_{\text{вст.}}, \text{кВт}$	Середні за зміну потужності			Розрахункові максимальні потужності		
		$P_{\text{сер. зм.}}, \text{кВт}$	$Q_{\text{сер. зм.}}, \text{кВАр}$	$S_{\text{сер. зм.}}, \text{кВАр}$	$P_p, \text{кВт}$	$Q_p, \text{кВАр}$	$S_p, \text{кВАр}$
1. Металообробний цех	438,4	212	59	220,1	159,3	51	167,3
2. Механічний цех	129,6	34,8	26,6	43,8	40,9	53,0	66,9
3. Склад	156	68	12	69,1	55	10,9	56,1
4. Офіс	126	63,4	12,9	64,7	52,9	10,7	54,0
5. Котельня	201	126,8	42,9	133,9	101,7	32,5	106,8
6. Насосна станція	110	59,7	10,2	60,6	47,5	9,9	48,5
7. Транспортний цех	69	23,8	5,9	24,5	19,6	4,2	20,0
Всього	1230,0	588,5	169,5	616,5	476,9	172,2	519,6

2.1.2. Розрахунок освітлювального навантаження

Вибір освітлювальної апаратури проводиться з врахування призначення, класів пожежної та вибухової безпеки приміщень згідно [2].

В якості джерел світла використання світлодіодні світильники

Відомості про вибір світильників зведено в таблицю 2.3

Таблиця 2.3 – Вибір освітлювальної апаратури

Назва приміщень	Клас зон приміщень	Прийнятий тип світильників
1	2	3
1. Металообробний цех	П-I	Світильник DELUX_High Bay3 200Вт 6500K
2. Механічний цех	П-I. П-II	Світильник DELUX_High Bay3 200Вт 6500K
3. Склад	П-II	Світильник DELUX_High Bay3 200Вт 6500K

Продовження таблиці 2.3

1	2	3
4. Офіс	П-III	Світильник LEDMARK LED панель 600x600 мм 36Вт 4000К
5. Котельня	П-II	Світильник DELUX_High Bay3 200Вт 6500К
6. Насосна станція	П-IIa	Світильник DELUX_High Bay3 200Вт 6500К
7. Транспортний цех	П-III	Світильник DELUX_High Bay3 200Вт 6500К

В таблиці 2.4 подана вихідна інформація для розрахунку загального рівномірного штучного освітлення.

Таблиця 2.4 – Вихідні дані для розрахунку освітлення

Назва приміщень	Площа, яка освітлюється $F, \text{м}^2$	$h, \text{м}$	$E, \text{лк}$	$P_{\text{нм}}, \text{Вт/м}^2$	$K_{\text{н,о}}$
1. Металообробний цех	1152	6	300	12	0,85
2. Механічний цех	540	6	300	12	0,85
3. Склад	1152	6	300	12	0,85
4. Офіс	720	8	300	12	0,85
5. Котельня	108	3	50	6	0,85
6. Насосна станція	81	6	50	6	0,85
7. Транспортний цех	315	4	50	6	0,85
0	720	3	300	12	0,85

Розрахунок виконується на прикладі цеху обробки деревини. Сумарна потужність освітлювальних електроприймачів

$$P_{0\Sigma} = 6 \cdot 540 = 6,48 \text{ кВт}$$

Загальна кількість світильників

					ЛНТУ.971010.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		11

$$N = \frac{P_{0\Sigma}}{P_{\text{ном.}}} = \frac{6,48}{0,15} = 34,0 \text{ шт.}$$

Встановлена потужність освітлювальних приладів

$$P_{\text{вст.}} = 0,4 \cdot 34,0 = 6,80 \text{ кВт},$$

Розрахункова активна потужність освітлювального навантаження

$$P_{\text{р.о.}} = 0,85 \cdot 1,2 \cdot 6,80 = 5,8 \text{ кВт},$$

Розрахункова реактивна потужність освітлювального навантаження

$$Q_{\text{р.о.}} = 0,4 \cdot 5,8 = 0,87 \text{ кВт},$$

Для інших приміщень підприємства проводяться аналогічно і результати подані 2.5.

Для зовнішнього освітлення передбачається встановлення світильників РКУ01х250/Б03-04 з лампами ДРЛ. Вибрані світильники є консольними, встановленими під кутом 20 градусів до горизонту. Пускорегулювальна апаратура вмонтована. Оскільки ширина освітлювальної полоси (b) становить 12 м, то приймається розташування світильників на опорах з обох сторін проїжджої частини в шаховому порядку. Висота підвісу світильника h приймається рівною 10 м. Розрахунок виконується точковим методом.

					ЛНТУ.971010.000 ПЗ	Арк.
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Таблиця 2.5 – Розрахунок освітлювальних навантажень

Назва приміщень	$P_{0\Sigma}$, кВт	N	$P_{ест}$, кВт	Розрахункові навантаження	
				$P_{р.о.}$, кВт	$Q_{р.о.}$, кВАр
1. Металообробний цех	13,82	70,0	14,00	11,9	1,79
2. Механічний цех	6,48	34,0	6,80	5,8	0,87
3. Склад	13,82	70,0	14,00	11,9	1,79
4. Офіс	4,32	120,0	4,32	3,7	0,55
5. Котельня	0,65	4,0	0,80	0,7	0,10
6. Насосна станція	0,49	3,0	0,60	0,5	0,08
7. Транспортний цех	1,89	10,0	2,00	1,7	0,26
Всього	41,5		42,5	36,1	5,42

Отже, сумарна освітленість

$$\sum \varepsilon = \frac{1000 \cdot 0,5 \cdot 1,5 \cdot 10^2}{12000} = 6,25 \text{лк},$$

Визначається відношення:

$$\frac{b}{h} = \frac{12}{10} = 1,2.$$

За графіком [2] для світильника РКУх250 при $b/h=1,2$ і сумарній освітленості $\sum \varepsilon = 6,25 \text{лк}$, відношення L/h становить:

$$\frac{L}{h} = 3,65$$

Звідси,

$$L = 3,65 \cdot h.$$

					ЛНТУ.971010.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		13

де L – відстань між опорами, м

$$L = 3,65 \cdot 10 = 36,5 \text{ м.}$$

Приймаємо $L=35\text{м.}$

Сумарна довжина доріг підприємства, які необхідно освітлювати (включаючи периметр підприємства і під'їзні шляхи) L_{Σ} становить 2155 м.

Необхідна кількість світильників:

$$L = \frac{L_{\Sigma}}{L} = \frac{1850}{35} = 53 \text{ шт.}$$

Приймаємо до встановлення 53 світильників РКУх250.

Встановлена потужність електроприймачів зовнішнього освітлення:

$$P_{p.зовн} = 53 \cdot 0,25 = 13,25 \text{ кВт.}$$

Розрахункове активне навантаження

$$P_{p.зовн} = 13,25 \cdot 1,1 \cdot 1 = 14,57 \text{ кВт.}$$

Розрахункове реактивне навантаження:

$$Q_{p.зовн} = 14,75 \cdot 0,8 = 11,66 \text{ кВт.}$$

2.1.3 Розрахунок сумарних навантажень

Для зручності проведення наступних розрахунків необхідно виконати визначення сумарних електричних навантажень з врахуванням потужностей освітлення (додаток АЗ).

					ЛНТУ.971010.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		14

Результати розрахунків зведені в таблицю 2.6.

Таблиця 2.6 – Сумарні навантаження

Назва об'єкта	$P_{\Sigma \text{вст}},$ кВт	$P_{\Sigma \text{сер. зм}},$ кВт	$Q_{\Sigma \text{сер. зм}},$ кВАр	$S_{\Sigma \text{сер. зм}},$ кВА	$P_{\Sigma p},$ кВт	$Q_{\Sigma p},$ кВАр	$S_{\Sigma p},$ кВА
1. Металообробний цех	452,40	223,90	60,79	232,00	171,20	52,79	179,15
2. Механічний цех	136,40	40,54	27,45	48,96	46,67	53,87	71,27
3. Склад	170,00	79,90	13,79	81,08	66,90	12,69	68,09
4. Офіс	130,32	67,07	13,45	68,41	56,57	11,25	57,68
5. Котельня	201,80	127,48	43,00	134,54	102,38	32,60	107,45
6. Насосна станція	110,60	60,21	10,28	61,08	48,01	9,98	49,04
7. Транспортний цех	71,00	25,50	6,16	26,23	21,30	4,46	21,76
Всього	1273	624,60	174,91	652,30	513,04	177,62	554,44

2.2. Побудова картограми та визначення теоретичного центру навантажень

З метою визначення місця розташування трансформаторної підстанції при проектуванні будують картограму електричних навантажень (додаток А4). Результати розрахунків зведемо в таблицю 2.7.

Таблиця 2.7 – Розрахунок картограми навантаження

Назва діляниць	х, м	у, м	$P_{PZ} \cdot x$	$P_{PZ} \cdot y$	г	α
1. Металообробний цех	26,8	39,2	4588,2	6711,0	23,4	25,0
2. Механічний цех	22,8	104,4	1064,2	4872,8	12,2	44,6
3. Склад	120,8	28,4	8081,5	1900,0	14,6	64,0
4. Офіс	86,4	113,6	4887,8	6426,6	13,4	23,4
5. Котельня	126	116,8	12899,9	11958,0	18,1	2,4
6. Насосна станція	66	19,6	3168,7	941,0	12,4	3,8
7. Транспортний цех	125,2	70,4	2666,8	1499,5	8,2	28,7
Всього			37356,97	34308,84		

					ЛНТУ.971010.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		15

Згідно формул (2.26) - (2.29) визначимо +координати центрів активного та реактивного навантажень. Отримаємо:

$$X_{\text{ца}} = 72,82 \quad Y_{\text{ца}} = 66,87$$

2.3. Вибір трансформаторів ТП

Правильне визначення кількості та потужності цехових трансформаторів можливе тільки шляхом техніко-економічних розрахунків з врахуванням наступних факторів: категорії надійності електропостачання споживачів; компенсації реактивних навантажень на напрузі до 1 кВ; перевантажувальної здатності силових трансформаторів в нормальному та аварійному режимах; кроку стандартних потужностей; економічних режимів роботи трансформаторів в залежності від графіка навантаження (додаток А5).

Частка споживачів другої категорії надійності на підприємстві становить 35%, третьої - 65%.

$$S_{\text{ном}} = \frac{624,6}{0,9 \cdot 2} = 347,00 \text{ кВА}$$

Далі необхідно порівняти варіанти встановлення трансформаторів з мінімально можливою потужністю і трансформаторів, потужність яких на ступінь вища (згідно [3, с. 36]).

Отже, для першого варіанту приймається два трансформатори потужністю 400 кВА, а для другого - два по 630 кВА.

Вхідна реактивна потужність, відповідно до технічних умов $Q_e=0$, тому передбачається повна компенсація реактивної потужності.

Компенсацію можна здійснювати на напрузі 10 кВ або 0,4 кВ.

Завдання техніко-економічних розрахунків зводиться в даному випадку до визначення оптимальної потужності силових трансформаторів з найбільш ефективної системою компенсації реактивної потужності.

					ЛНТУ.971010.000 ПЗ	Арк.
						16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

2.4. Компенсация реактивной мощности

Проводяться розрахунки для першого варіанту з потужністю трансформаторів 400 кВА (додаток А6)

$$Q_{\text{макс.т}} = \sqrt{(2 \cdot 0,9 \cdot 400)^2 - 624,62^2} = 358,15 \text{ кВАр}$$

$$Q_{\text{нк1}} = 174,91 - 358,15 = -183,24 \text{ кВАр}, Q_{\text{нк1}} = 0$$

$$Q_{\text{нк2}} = 174,91 - 0 - 0,15 \cdot 2 \cdot 400 = 54,91 \text{ кВАр}$$

$$Q_{\text{нк}} = 0 + 54,91 = 54,91 \text{ кВАр}$$

Потрібне встановлення низьковольтних конденсаторних батарей потужністю 50 кВАр кожна.

$$Q_{\text{БК}} = Q_{\text{нс.т}} = 174,91 - 100 + 19 = 93,91 \text{ кВАр}$$

Встановлення високовольтних конденсаторних батарей не потрібно.

Для варіанту встановлення трансформаторів потужністю 630 кВА.

$$Q_{\text{макс.т}} = \sqrt{(2 \cdot 0,9 \cdot 630)^2 - 624,62^2} = 946,48 \text{ кВАр}$$

$$Q_{\text{нк1}} = 174,91 - 946,48 = -771,57, Q_{\text{нк1}} = 0$$

$$Q_{\text{нк2}} = 174,91 - 0 - 0,18 \cdot 2 \cdot 1000 = -51,89 \text{ кВАр}, Q_{\text{нк2}} = 0$$

$$Q_{\text{нк}} = 0 + 0 = 0 \text{ кВАр}$$

Встановлювати низьковольтні конденсаторні батареї не потрібно.

Потужність високовольтних конденсаторних батарей

$$Q_{\text{БК}} = Q_{\text{нс.т}} = 174,91 - 0 + 23 = 197,91 \text{ кВАр}$$

					ЛНТУ.971010.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		17

Встановлювати високовольтні конденсаторні батареї не потрібно.

З метою визначення оптимальної системи компенсації реактивної потужності необхідно передбачити варіант повної компенсації на стороні 0,4 кВ.

Виходячи з розрахункового реактивного навантаження, на шинах 0,4 кВ проектованої підстанції необхідно встановити дві конденсаторні установки номінальною потужністю 50 кВАр, при цьому $Q_{HK} = 50 + 50 = 100$ кВАр.

Далі проводиться техніко-економічне порівняння запропонованих варіантів потужності силових трансформаторів і компенсації реактивної потужності. Слід зауважити, що передбачається встановлення комплектної трансформаторної підстанції 10/0,4 кВ. В таблиці 2.7 подані вихідні дані для згаданих розрахунків.

Розрахунки виконуються за методом зведених витрат на прикладі першого варіанту.

Таблиця 2.7 – Дані до техніко-економічних розрахунків

	Потужність трансформатора $S_{ном}$, кВа	Тип конденсаторної установки	Ціна конденсаторної установки $C_{КБ}$, тис.грн	Ціна комплектної трансформаторної підстанції $C_{КТП}$, тис.грн
Варіант 1	2х400	2хКРПН-0,4-40-50 УЗ	13,66	189,46
Варіант 2	2х630	-	-	277,35

Визначаються капіталовкладення для першого варіанту

$$K = 13,66 \cdot 2 + 189,46 \cdot 2 = 406,24 \text{ тис. грн.}$$

Визначаються щорічні амортизаційні відрахування

$$B_a = 0,24 \cdot 406,24 = 97,50 \text{ тис. грн.}$$

Далі визначають втрати електроенергії в силових трансформаторах, згідно [3, формули 5.13]

					ЛНТУ.971010.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		18

$$\Delta W = 2 \cdot 1,45 \cdot 8760 + \frac{1}{2} \cdot 5,5 \cdot \frac{861,94^2}{400^2} \cdot 2497,97 = 38356 \text{ тис. кВт/год}$$

Визначаються щорічні витрати на покриття втрат електроенергії в силових трансформаторах (C_e - ціна 1 кВт*год електроенергії для споживачів 2 класу з врахуванням ПДВ, станом на 1 квітня 2026 $C_e = 6,5$ грн.)

$$B_e = 6,5 \cdot 38356 = 249,31 \text{ тис.грн.}$$

Наближено визначаються щорічні експлуатаційні витрати:

$$B = 97,50 + 249,31 = 346,81 \text{ тис.грн.}$$

Зведені витрати по даному варіанту визначаються за формулою

$$З = 0,12 \cdot 406,24 + 346,81 = 395,56 \text{ тис.грн.}$$

Аналогічні розрахунки виконуються для інших варіантів. В таблиці 2.8 проведений розрахунок втрат електричної енергії в силових трансформаторах для двох варіантів.

Таблиця 2.8 – Визначення втрат в силових трансформаторах

Варіант	Сном, кВА	Sp, кВА	n	P _{х,х} , кВт	P _{к,з} , кВт	тм, год	ΔW, кВт·год
1	400	685,79	2,00	1,45	5,50	2497,97	45596
2	630	685,79	2,00	2,27	7,60	2497,97	51018,24

Далі в таблиці 2.9, поданий розрахунок зведених витрат по кожному варіанту.

					ЛНТУ.971010.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		19

Таблиця 2.9 – Розрахунок зведених витрат

Варіант	К, тис.грн.	В _а , тис.грн.	В _е , тис.грн.	В, тис.грн.	З, тис.грн.
1	406,24	97,50	249,31	346,81	395,56
2	554,71	133,13	305,40	438,53	505,10

Очевидно, що найдешевшим є перший варіант, але з врахуванням розвитку та розростання підприємства прийнято рішення встановити два силових трансформатори ТМ-400/10, номінальною потужністю 400 кВА. Технічні характеристики вибраних трансформаторів подані в таблиці 2.10.

Таблиця 2.10 – Характеристики трансформаторів ТМ-400/10

$U_{ВН}$, кВ	$U_{НН}$, кВ	$S_{ном}$, кВА	$P_{х.х}$, кВт	$P_{к.з}$, кВт	$U_{кз}$, %	$I_{х.х}$, %
10	0,4	400	1,45	5,50	5,5	2,1

Перевіряється завантаження даних трансформаторів в нормальному режимі

$$K_3 = \frac{685,79}{2 \cdot 400} = 0,82$$

Отримана величина є оптимальною в плані завантаження силових трансформаторів, тому такий режим допустимий.

В аварійному режимі допускається перевантаження на 40% (усереднене значення). Отже, один трансформатор зможе пропустити потужність

$$S_{дон} = 1,4 \cdot 400 = 560 \text{ кВАр}$$

					ЛНТУ.971010.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		20

Таким чином, в аварійному режимі один трансформатор зможе пропустити майже всю споживану електроприймачами потужність. Частину споживачів 3-ї категорії в аварійному режимі необхідно буде відключати.

2.5. Визначення навантажень на вищих рівнях СЕП

За розрахункове навантаження на шинах низької напруги трансформаторної підстанції приймається середня споживана потужність за найбільш завантажену зміну $S_{сер.зм}$ з врахуванням компенсації реактивної потужності (Додаток А7)

$$S_{P3} = \sqrt{594,42^2 + (253,50 - 140)^2} = 629,08 \text{ кВА}$$

Розрахункове навантаження на стороні високої напруги трансформаторної підстанції

Отже $\Delta P_T = 12,58 \text{ кВт}$, $\Delta Q_T = 62,91 \text{ кВАр}$.

Оскільки передача реактивної потужності на сторону 0,4 кВ не здійснюється ($Q_e = 0$), то складова реактивної потужності в формулі 2.44 теж буде рівною нулю.

$$S_{P4} = \sqrt{(594,42 + 12,1)^2 + (253,5 + 60,52)^2} = 671,98 \text{ кВА}.$$

За цією потужністю здійснюватиметься вибір ліній, що живитимуть трансформаторну підстанцію підприємства.

Комутаційно-захисна апаратура вибиратиметься за потужностями відповідних ієрархічних рівнів СЕП, згідно [4, стор.44].

2.6. Проектування системи зовнішнього електропостачання

Джерелом живлення підприємства є вузлова підстанція 110/10кВ.

Відстань до джерела живлення становить 0,80 км.

					ЛНТУ.971010.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		21

За напругу живлення СЕП підприємства приймаємо 10 кВ, оскільки на шинах 10 кВ живлячої підстанції наявний відповідний резерв потужності.

В розрахунок системи зовнішнього електропостачання входять: вибір конструктивного виконання ліній електропередачі, визначення оптимального перерізу провідників живлячих ліній на основі техніко-економічного порівняння варіантів, перевірка провідників ліній за втратою напруги (додаток А8).

$$I_{\text{норм}} = \frac{671,98}{2\sqrt{3} \cdot 10} = 19,40 \text{ А}$$

$$I_{\text{макс}} = \frac{671,98}{\sqrt{3} \cdot 10} = 38,80 \text{ А.}$$

Вибір перерізу живлячих ліній здійснюється за економічною густиною струму.

$$j_e = 1,4 \cdot e^{\frac{4100}{17520}} = 1,1 \text{ А / мм}^2$$

$$q_e = \frac{19,40}{1,1} = 17,46 \text{ мм}^2$$

Отже, формуємо вихідні дані для розрахунку варіантів системи зовнішнього електропостачання [5].

Варіант 1. Живлення трансформаторної підстанції підприємства здійснюється двома кабельними лініями з кабелем АПвЕгаПу-10-3х25 від РП-10 кВ вузлової підстанції 110/10 кВ. В таблиці 2.12 подані характеристики проводу.

Таблиця 2.11 - Характеристики кабелю АПвЕгаПу-10-3х25

Переріз, мм ²	Питомі втрати потуж- ності, кВт/м	Тривало допустиме струмове навантаження, А	Питомий актив- ний опір R _{пит} , Ом/км	Питомий реакти- вний опір X _{пит} , Ом/км	Ціна, тис. грн/км
25	39	120	1,25	0,0662	140,78

Варіант 2. Живлення трансформаторної підстанції підприємства здійснюється повітряними лініями АПвЕгаПу-10-3-35 від РП-10 кВ вузлової підстанції 110/10 кВ. В таблиці 2.13 подані характеристики кабелю.

					ЛНТУ.971010.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		22

Таблиця 2.12 - Характеристики проводу АПвЕгаПу-10-3х35

Переріз, мм ²	Питомі втрати потужності, кВт/м	Гривало допустиме струмове навантаження, А	Питомий актив- ний опір R _{пит} , Ом/км	Питомий реактив- ний опір X _{пит} , Ом/км	Ціна, тис. грн/км
35	88	175	0,91	0,385	171,73

Вибрані провідники ліній перевіряються за умовами нагрівання при притіканні струму після аварійного режиму.

Для першого варіанту

$$120 \geq 38,80 \text{ А}$$

Для другого варіанту

$$175 \geq 38,80 \text{ А}$$

Очевидно, що умови перевірки в обох варіантах виконуються.

Вибрані провідникові матеріали також перевіряються за втратами напруги.

Для першого варіанту

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot 38,80 \cdot 0,80 \cdot (1,250 \cdot 0,95 + 0,066 \cdot 0,35) = 64,98 \text{ В}$$

Це складає 1,08% номінальної напруги мережі, що є допустимим.

Для другого варіанту

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot 38,80 \cdot 0,80 \cdot (0,910 \cdot 0,95 + 0,385 \cdot 0,35) = 53,71 \text{ В}$$

Це складає 1,22% номінальної напруги мережі, що також є допустимим.

Далі проводиться техніко-економічне порівняння варіантів зовнішнього електропостачання. Визначення зведених витрат виконується на прикладі першого варіанту.

Капітальні вкладення в лінії:

					ЛНТУ.971010.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		23

$$K_{\text{Л}} = 140,78 \cdot 0,80 \cdot 2 = 225,24 \text{ тис.грн}$$

Амортизаційні відрахування на лінії:

$$B_{\text{А.Л.}} = 0,08 \cdot 225,24 = 18,02 \text{ тис.грн.}$$

Коефіцієнт завантаження лінії:

$$k_{\text{з}} = \frac{38,78}{120} = 0,32 \text{ А.}$$

Втрати електроенергії в живлячих лініях

$$\Delta W_{\text{Л}} = 2 \cdot 39 \cdot 0,4^2 \cdot 1,1 \cdot 2497 = 82949,41 \text{ кВт*год}$$

Вартість річних втрат електроенергії:

$$B_{\text{в.е}} = 6,50 \cdot 31,98 = 207,86 \text{ тис.грн}$$

Щорічні експлуатаційні витрати:

$$B_{\text{е}} = 18,02 + 207,86 = 225,88 \text{ тис.грн}$$

Щорічні зведені витрати

$$З = 0,12 \cdot 225,24 + 225,88 = 252,91 \text{ тис.грн.}$$

Результати розрахунків для обох варіантів зведені в таблицю 2.13.

					ЛНТУ.971010.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		24

Таблиця 2.13 – Визначення зведених витрат

Варіант	КЛ, тис.грн	ВА.Л., тис.грн	кз	$\Delta P_{ном}$, кВт/км	$\Delta WЛ$, тис. кВт·год	Вв.е тис.грн	Ве , тис.грн	З, тис.грн
1	225,24	18,02	0,32	39,00	31978,65	207,86	225,88	252,91
2	274,76	21,98	0,22	88,00	50892,75	330,80	352,78	385,75

Результати розрахунків показують, що з економічної точки зору всі варіанти є рівноцінними, тому з врахуванням збільшення навантаження в перспективі живлення трансформаторної підстанції підприємства буде здійснюватись двома кабельними лініями з кабелем ААШв10-3х25 від РП-10 кВ вузлової підстанції 110/10 кВ.

2.7. Проектування системи внутрішнього електропостачання

Внутрішньозаводський розподіл електроенергії здійснюється на напрузі 380/220 В за радіально-магістральним принципом. На об'єктах підприємства передбачається встановлення низьковольтних розподільчих пунктів, до яких під'єднуються електроприймачі та освітлювальні щитки. З цією метою застосовуються розподільчі пункти марки ПР11 [6] (додаток А9).

Внутрішньозаводська розподільча низьковольтна мережа підприємства виконується кабелем марки АВВГ, який прокладається в траншеях (зовні приміщень), в кабельних каналах або трубах (всередині приміщень). Для розробки надійної системи електропостачання необхідно врахувати категорію споживачів по надійності електропостачання. Для підвищення надійності електропостачання споживачів другої категорії між розподільчими пристроями передбачаються резервні кабельні лінії, які при виході з ладу основних ліній вводяться в дію за допомогою автоматичних вимикачів.

Обсяг розрахунків мережі внутрішнього електропостачання обмежується ввідними розподільчими пристроями та відповідними лініями. В таблиці 2.14 подана загальна характеристика проекрованої низьковольтної мережі підприємства.

					ЛНТУ.971010.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		25

Таблиця 2.14 – Характеристики низьковольтної розподільчої мережі

Назва лінії	Довжина, км	Будівля
ТП - ВРП I	0,021	1. Металообробний цех
ТП - ВРП II	0,035	2. Механічний цех
ТП - ВРП III	0,085	3. Склад
ТП - ВРП IV	0,08	4. Офіс
ТП - ВРП V	0,175	5. Котельня
ТП - ВРП VI	0,095	6. Насосна станція
ТП - ВРП VII	0,055	7. Транспортний цех

Згідно визначених раніше потужностей (таблиця 2.8) здійснюється розрахунок струмів в лініях, що живлять ввідні пристрої. В таблиці 2.15 подане навантаження проєктованих низьковольтних кабельних ліній (із врахуванням можливого резервування).

Таблиця 2.15 - Навантаження низьковольтних КЛ підприємства

Назва лінії	Sp, кВА	cos ϕ	sin ϕ
ТП - ВРП I	179,15	0,96	0,29
ТП - ВРП II	71,27	0,65	0,76
ТП - ВРП III	68,09	0,98	0,19
ТП - ВРП IV	57,68	0,98	0,20
ТП - ВРП V	107,45	0,95	0,30
ТП - ВРП VI	49,04	0,98	0,20
ТП - ВРП VII	21,76	0,98	0,20

Розрахунки проводяться в табличній формі. Результати подані в таблиці 2.16.

[8]

					ЛНТУ.971010.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		26

Таблиця 2.16 – Вибір перерізу жил низьковольтної мережі

Назва лінії	S_p , кВА	I_p , А	I_{don} , А	q , мм ²	Прийнята марка кабелю
ТП - ВРП I	179,15	258,89	286	185	АВВГ-4х185
ТП - ВРП II	71,27	103,00	112	35	АВВГ-4х35
ТП - ВРП III	68,09	98,40	112	35	АВВГ-4х35
ТП - ВРП IV	57,68	83,35	93	25	АВВГ-4х25
ТП - ВРП V	107,45	155,27	165	70	АВВГ-4х70
ТП - ВРП VI	49,04	70,86	72	16	АВВГ-4х16
ТП - ВРП VII	21,76	31,45	34	16	АВВГ-4х16

Необхідні характеристики кабелів приймаються по [2, табл. 3.5], а коефіцієнти навантаження визначаються згідно з таблицею 2.19. Результати розрахунку подані в таблиці 2.17.

Таблиця 2.17 – Перевірка перерізів жил кабелів за втратою напруги.

Назва лінії	q , мм ²	l , км	r_{num} , Ом/км	$\cos \phi$	x_{num} , Ом/км	$\sin \phi$	ΔU , В	ΔU , %
ТП - ВРП I	185	0,021	0,169	0,96	0,0596	0,29	1,69	0,42
ТП - ВРП II	35	0,035	0,894	0,65	0,0637	0,76	3,96	0,99
ТП - ВРП III	35	0,085	0,894	0,98	0,0637	0,19	12,90	3,22
ТП - ВРП IV	25	0,080	1,25	0,98	0,0662	0,20	14,31	3,58
ТП - ВРП V	70	0,175	0,447	0,95	0,0612	0,30	20,92	4,23
ТП - ВРП VI	16	0,095	1,95	0,98	0,0675	0,20	22,42	4,61
ТП - ВРП VII	16	0,055	1,95	0,98	0,0675	0,20	5,76	1,44

Результати розрахунку показують, що втрати напруги в лініях не виходять за межі нормальних допустимих відхилень, згідно ДСТУ EN 50160:2014 ($\pm 5\%$), тому вибрані перерізи жил кабелів залишаються без змін.

					ЛНТУ.971010.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		27

Низьковольтні лінії внутрішньозаводської мережі комутуються автоматичними вимикачами, які встановлені в панелях ЩО98. На вводах в розподільчі пункти цехів також встановлені автомати. Лінії до електроприймачів і освітлювальних щитків також комутуються автоматичними вимикачами. Внутрішня електрична принципова схема розподілу підприємства подана на листі 2 графічної частини проекту.

2.8. Розрахунок струмів КЗ

2.8.1. Визначення струмів КЗ на стороні 10 кВ ТП

При розрахунку параметрів схеми заміщення застосовується відносно точне зведення параметрів до базових умов.

Базова напруга приймається рівною напрузі основного рівня, тобто

$$U_B = 10 \text{ кВ}.$$

Базова потужність становить

$$S_B = 10 \text{ МВА}$$

Звідси базовий струм

$$I_{\phi} = \frac{10}{\sqrt{3} \cdot 10} = 0,57 \text{ кА}.$$

Згідно з технічними умовами потужність трифазного короткого замикання на шинах 10 кВ живлячої підстанції становить 81 МВА.

Опір системи:

$$X_{*C} = \frac{10}{81} = 0,123$$

					ЛНТУ.971010.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		28

Опори живлячої кабельної лінії напругою 10 кВ:

$$X_{*KL} = 0,0662 \cdot 0,8 \cdot \frac{10}{10^2} = 0,005$$

$$R_{*KL} = 1,25 \cdot 0,8 \cdot \frac{10}{10^2} = 0,100$$

Результуючий індуктивний опір до точки короткого замикання, яка знаходиться на шинах 10 кВ ТП:

$$X_{*K} = 0,123 + 0,0053 = 0,129.$$

Результуючий активний опір до точки:

$$R_{*K} = 0 + 0,100 = 0,100$$

Результуючий повний опір до точки короткого замикання:

$$Z_{*K} = \sqrt{0,129^2 + 0,1^2} = 0,163$$

Струм трифазного короткого замикання:

$$I_{KI}^{(3)} = \frac{0,57}{0,163} = 3,55 \text{ кА.}$$

Визначаються величини, необхідні для вибору та перевірки комутаційно-захисної апаратури.

Постійна часу затухання аперіодичної складової:

					ЛНТУ.971010.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		29

$$T_{*a} = \frac{0,187}{0,1} = 1,29$$

По кривій рис. 6.2 [2], $T_{*aKI} = 0,0085\text{с}$.

Ударний коефіцієнт визначається за формулою

$$k_{yKI} = 1 + e^{\frac{0,01}{0,0085}} = 1,29.$$

Ударний струм:

$$i_y = \sqrt{2} \cdot 3,55 \cdot 1,29 = 6,47 \text{ кА}.$$

2.8.2 Визначення струмів КЗ на стороні 0,4 кВ ТП

При розрахунку струмів короткого замикання розглядаються точки на шинах кожного ввідного розподільчого пункту і враховуються всі опори короткозамкнутого кола (активні та індуктивні). Крім того, враховуються опори всіх перехідних контактів (згідно з [9]).

За базисну напругу приймається 0,4 кВ. Згідно попередніх розрахунків початкове значення періодичної складової перед трансформатором ТП становить 3,55 кА.

За базисну напругу приймається 0,4 кВ. Опір зв'язку трансформатора 10/0,4 кВ з енергосистемою

$$X_1 = \frac{10500}{\sqrt{3} \cdot 3546} \cdot \frac{0,4^2 \cdot 10^3}{10,5^2} = 6,20 \text{ мОм}.$$

$$R_1 = 0.$$

Опір трансформатора

					ЛНТУ.971010.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		30

$$R_2 = \frac{5,5 \cdot 0,4^2 \cdot 10^6}{400^2} = 5,50 \text{ мОм.}$$

$$X_2 = \sqrt{\left(\frac{5,5}{100}\right)^2 - \left(\frac{7,6}{400}\right)^2} \cdot \frac{0,4^2}{400} \cdot 10^6 = 21,30 \text{ мОм.}$$

Результати розрахунків зведені в таблиці 2.18.

Таблиця 2.18 – Визначення параметрів кабельних ліній

Назва лінії	l , км	r_{num} , Ом/км	x_{num} , Ом/км	$R_{кл}$, мОм	$X_{кл}$, мОм
ТП - ВРП I	0,021	0,169	0,0596	3,55	1,25
ТП - ВРП II	0,035	0,894	0,0637	31,29	2,23
ТП - ВРП III	0,085	0,894	0,0637	75,99	5,41
ТП - ВРП IV	0,08	1,25	0,0662	100,00	5,30
ТП - ВРП V	0,175	0,447	0,0612	78,23	10,71
ТП - ВРП VI	0,095	1,95	0,0675	185,25	6,41
ТП - ВРП VII	0,055	1,95	0,0675	107,25	3,71

Струм трифазного КЗ для прикладу визначається на шинах 0,4 кВ трансформаторної підстанції. Сумарний активний опір короткозамкнутого кола до вказаної точки визначається з врахуванням $R_{дод} = 15 \text{ мОм}$ [10].

$$X_{\Sigma K} = 6,20 + 21,30 = 30,73 \text{ мОм.}$$

$$R_{\Sigma K} = 15 + 5,50 = 20,50 \text{ мОм.}$$

Струм трифазного КЗ визначається за формулою:

$$I_K = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{27,50^2 + 20,5^2}} = 6,73 \text{ кА}$$

					ЛНТУ.971010.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		31

Постійна часу затухання аперіодичної складової:

$$T_a = \frac{27,5}{314 \cdot 20,5} = 0,0043 \text{ с}$$

Ударний струм:

$$i_y = \sqrt{2} \cdot 1,01 \cdot 6,73 = 9,62 \text{ кА.}$$

Тепловий імпульс струму КЗ:

$$B_K = 6,73^2 \cdot (0,16 + 0,0039) = 7,45 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

Таблиця 2.19 – Розрахунок струмів КЗ в низьковольтній розподільчій мережі СЕП підприємства

Назва лінії	$R_{\text{доп}},$ мОм	$X_{\Sigma},$ мОм	$R_{\Sigma},$ мОм	$I_K, \text{ кА}$	$T_a, \text{ с}$	k_y	$i_y, \text{ кА}$
ТП - ВРП I	15	28,76	39,05	4,77	0,00235	1,01	6,84
ТП - ВРП II	15	29,73	66,79	3,16	0,00142	1,00	4,48
ТП - ВРП III	15	32,92	111,49	1,99	0,00094	1,00	2,81
ТП - ВРП IV	15	32,80	135,50	1,66	0,00077	1,00	2,35
ТП - ВРП V	15	38,21	113,73	1,93	0,00107	1,00	2,73
ТП - ВРП VI	15	33,92	220,75	1,04	0,00049	1,00	1,46
ТП - ВРП VII	15	31,22	142,75	1,58	0,00070	1,00	2,24

2.9. Вибір високовольтного обладнання

2.9.1. Вибір комплектних пристроїв напругою 10 кВ

Визначені струми нормального і післяаварійного режиму на стороні 10 кВ ТП

					ЛНТУ.971010.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		32

$$I_{норм} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 10} = 23,09 \text{ А.}$$

$$I_{макс} = 1,4 \cdot I_{норм} = 32,33 \text{ А.}$$

Для підведення живлення до понижувальної підстанції підприємства і встановлення комутаційно-захисної апаратури використовуються комірки КСО-399. Вибір виконується на основі отриманих розрахункових величин та каталожних даних згаданого обладнання [11].

Результати порівняння розрахункових і каталожних величин подані в таблиці 2.22.

Таблиця 2.20 – Вибір комплектних пристроїв для ТП

Розрахункові величини	Каталожні дані КСО-399
$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
$I_{норм} = 23,09 \text{ А}$	$I_{ном} = 400 \text{ А}$
$I_{макс} = 32,33 \text{ А}$	
$i_y = 6,47 \text{ кА}$	$i_{зр.н} = 52 \text{ кА}$

Очевидно, що умови вибору виконуються, тому остаточно приймаються до встановлення стаціонарні комірки з одностороннім обслуговуванням КСО-399. В таблиці 2.21 подана комплектація вибраних комірок [12].

Таблиця 2.21 – Комплектація комірок КСО-399

Призначення	Обладнання	Кількість	Каталожний номер
Ввід	Комірка КСО-399 з роз'єднувачем РВЗ - 10/400 III	2	1
Комутація і захист силових трансформаторів	Комірка КСО-399 з вимикачем навантаження ВН-РА-30П-10-630 УЗ і запобіжником	2	4
Секційна	Комірка КСО-399 з роз'єднувачем РВЗ - 10/400 III	2	14

2.9.2. Вибір і перевірка апаратури напругою 10кВ

В комірках КСО-399 для комутації і захисту силових трансформаторів встановлюються вимикачі навантаження ВН-РА-30П-10-630 УЗ , що комплектуються плавкими запобіжниками серії ПК [13].

Результати порівняння розрахункових і каталожних величин подані в таблиці 2.22.

Таблиця 2.22 – Вибір вимикачів навантаження

Розрахункові величини	Каталожні дані ВН-РА-30П-10-630 УЗ з запобіжником
$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
$I_{ном} = 23,09 \text{ А}, I_{макс} = 32,33 \text{ А}$	$I_{ном} = 630 \text{ А}$
$I_k = 6,73 \text{ кА}$	$I_{в.ном.зап} = 20 \text{ кА}$
$i_y = 6,47 \text{ кА}$	$i_{дин} = 70 \text{ кА}$
$B_k = 2,12 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_k^{ном} = 6^2 \cdot 10 = 360 \text{ кА}^2\text{с}$

З таблиці 2.24 очевидно, що дані вимикачі навантаження із запобіжниками задовольняють умови вибору, тому вони остаточно приймаються до встановлення.

Для підвищення надійності роботи підстанції та створення можливості ремонту високовольтного обладнання встановлюється ремонтна перемичка на напрузі 10 кВ з роз'єднувачами РВЗ - 10 з одним заземлюючим ножом. Ці роз'єднувачі входять в комплект комірок КСО - 399 з відповідним каталожним номером. Роз'єднувачі даного типу встановлюються також у ввідних комірках.

Результати порівняння розрахункових і каталожних величин подані в таблиці 2.23.

Таблиця 2.23 – Вибір роз'єднувачів

Розрахункові величини	Каталожні дані роз'єднувача РВЗ-10/400 III
$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
$I_{ном} = 23,09 \text{ А}, I_{макс} = 32,33 \text{ А}$	$I_{ном} = 400 \text{ А}$
$i_y = 6,47 \text{ кА}$	$i_{дин} = 41 \text{ кА}$
$B_k = 2,12 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_k^{ном} = 16^2 \cdot 10 = 360 \text{ кА}^2\text{с}$

Умови вибору та перевірки виконуються, тому у ввідних і секційній комірці КСО - 399 встановлюються роз'єднувачі РВЗ - 10/400 III.

2.10. Проектування внутрішньоцехової мережі

2.10.1. Визначення струмових навантажень та вибір кабелів

Споживачами електроенергії в механічному цеху є верстати, вентилятори та освітлення. Детальну інформацію відображено в таблиці 2.1 даного проекту. План розташування приймачів в будові механічного цеху пропонується відображений на одному з листів графічної частини проекту.

В цеху пропонується встановити два розподільчих щити ПР11, а також два освітлювальні щитки ОП-6.

Для вибору провідників низьковольтної мережі цеху пропонується спочатку визначаються струмові навантаження електроприймачів, а потім сумарні струми по групах.

Результати розрахунків зведені в таблиці 2.24.

Таблиця 2.24 – Визначення струмових навантажень електроприймачів механічного цеху.

Назва електроприймача	$P_{ном.}, кВт$	$cos\varphi$	I_p, A
1	2	3	4
РП-І Апарат зварювальний (4)	12	0,75	23,12
РП-І Апарат зварювальний (4)	12	0,75	23,12
РП-І Верстат точильний (5)	5,5	0,8	9,93
РП-І Верстат точильний (5)	5,5	0,8	9,93
РП-І Верстат точильний (5)	5,5	0,8	9,93
РП-І Верстат точильний (5)	5,5	0,8	9,93

					ЛНТУ.971010.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		35

Продовження таблиці 2.24

1	2	3	4
РП-II Мостовий кран (7)	26	0,75	50,10
РП-II Ножиці-гільйотина (8)	12	0,7	24,77
РП-II Ножиці-гільйотина (8)	12	0,7	24,77
РП-II Токарно-гвинторізний верстат (9)	5,2	0,75	10,02
РП-II Токарно-гвинторізний верстат (9)	5,2	0,75	10,02
РП-II Токарно-гвинторізний верстат (9)	5,2	0,75	10,02
РП-II Вентилятор притічний (6)	3	0,85	5,10
РП-II Вентилятор притічний (6)	3	0,85	5,10
РП-II Вентилятор притічний (6)	3	0,85	5,10
РП-II Вентилятор притічний (6)	3	0,85	5,10

Примітка. Цифри в дужках відповідають номеру позиції електроприймача на плані цеху, що зображений на чисті 3 графічної частини проекту.

Живлення до розподільчих пунктів подається за допомогою кабелю АВВГ, а до приймачів - кабелем ВВГнгд [14]. Кабельна лінія, яка з'єднує розподільчий пристрій 0,4 кВ трансформаторної підстанції з ввідним розподільчим пунктом цеху прокладається в землі. Магістральна кабельна лінія, яка з'єднує ввідний пункт (РП I) з розподільчим (РП II), прокладається в сталевих трубах відповідного діаметру. Кабеля, які подають живлення до окремих електроприймачів теж прокладаються в лотках під стелею.

Результати вибору провідників до окремих електроприймачів подані в таблиці 2.25.

Таблиця 2.25 – Вибір провідників для живлення електроприймачів

Назва електроприймача	I_p, A	$I_{mp.дон}, A$	$q, мм^2$	Марка проводу
1	2	3	4	5
РП-I Апарат зварювальний (4)	23,12	30	6	ВВГнгд - 4х6
РП-I Апарат зварювальний (4)	23,12	30	6	ВВГнгд - 4х6

					ЛНТУ.971010.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		36

Продовження таблиці 2.25

1	2	3	4	5
РП-I Верстат точильний (5)	9,93	19	2,5	ВВГнгд - 4х2,5
РП-I Верстат точильний (5)	9,93	19	2,5	ВВГнгд - 4х2,5
РП-I Верстат точильний (5)	9,93	19	2,5	ВВГнгд - 4х2,5
РП-I Верстат точильний (5)	9,93	19	2,5	ВВГнгд - 4х2,5
РП-II Мостовий кран (7)	50,10	55	16	ВВГнгд - 4х16
РП-II Ножиці-гільйотина (8)	24,77	30	6	ВВГнгд - 4х6
РП-II Ножиці-гільйотина (8)	24,77	30	6	ВВГнгд - 4х6
РП-II Токарно-гвинторізний верстат (9)	10,02	19	2,5	ВВГнгд - 4х2,5
РП-II Токарно-гвинторізний верстат (9)	10,02	19	2,5	ВВГнгд - 4х2,5
РП-II Токарно-гвинторізний верстат (9)	10,02	19	2,5	ВВГнгд - 4х2,5
РП-II Вентилятор притічний (6)	5,10	19	2,5	ВВГнгд - 4х2,5
РП-II Вентилятор притічний (6)	5,10	19	2,5	ВВГнгд - 4х2,5
РП-II Вентилятор притічний (6)	5,10	19	2,5	ВВГнгд - 4х2,5
РП-II Вентилятор притічний (6)	5,10	19	2,5	ВВГнгд - 4х2,5

Результати перевірки подані в таблиці 2.26

Таблиця 2.26 – Перевірка проводів за втратою напруги

Назва електроприймача	l , км	$r_{\text{ном}}$, Ом/км	$\cos \phi$	$x_{\text{ном}}$, Ом/км	$\sin \phi$	ΔU , В	ΔU , %
1	2	3	4	5	6	7	8
Верстат глибого свердління (4)	0,010	12,5	0,80	0,104	0,60	3,30	0,83
Верстат глибого свердління (4)	0,012	12,5	0,80	0,104	0,60	3,96	0,99
Ковальсько-штампувальний прес (5)	0,009	12,5	0,78	0,104	0,63	2,27	0,57
Ковальсько-штампувальний прес (5)	0,013	12,5	0,75	0,104	0,66	3,15	0,79
Круглошліфувальний верстат 3А161(6)	0,015	12,5	0,75	0,104	0,66	4,34	1,09
Круглошліфувальний верстат 3А161(6)	0,016	12,5	0,75	0,104	0,66	4,63	1,16
ЛНТУ.971010.000 ПЗ							Арк.
							37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата			

Продовження таблиці 2.26

1	2	3	4	5	6	7	8
Стругальний верстат 7М108 (7)	0,009	7,81	0,75	0,095	0,66	2,05	0,51
Фрезерний верстат 6А59 (8)	0,014	12,5	0,75	0,104	0,66	1,50	0,37
Фрезерний верстат 6А59 (8)	0,020	12,5	0,75	0,104	0,66	2,14	0,54
Фрезерний верстат 6А59 (8)	0,016	12,5	0,75	0,104	0,66	1,71	0,43
Вентилятор торцевий витяжний (9)	0,026	12,5	0,85	0,104	0,53	1,63	0,41
Вентилятор торцевий витяжний (9)	0,056	12,5	0,85	0,104	0,53	3,50	0,88
Верстат радіально-свердильний (10)	0,010	12,5	0,80	0,104	0,60	1,89	0,47
Верстат радіально- свердильний (10)	0,015	12,5	0,80	0,104	0,60	2,83	0,71
Токарно-гвинторізний верстат 1К62 (11)	0,019	12,5	0,78	0,104	0,63	6,10	1,52
Токарно-гвинторізний верстат 1К62 (11)	0,02	12,5	0,78	0,104	0,63	6,42	1,60
Токарно-гвинторізний верстат 1К62 (11)	0,024	12,5	0,78	0,104	0,63	7,70	1,93
Зварювальний напівавтомат (12)	0,011	12,5	0,65	0,104	0,76	0,87	0,22
Зварювальний напівавтомат (12)	0,016	12,5	0,65	0,104	0,76	1,26	0,32
Верстат свердильний (13)	0,011	12,5	0,80	0,104	0,60	0,67	0,17
Верстат свердильний (13)	0,029	12,5	0,80	0,104	0,60	1,81	0,45
Вентилятор торцевий витяжний (9)	0,036	12,5	0,90	0,104	0,44	2,26	0,56
Вентилятор торцевий витяжний (9)	0,04	12,5	0,90	0,104	0,44	2,51	0,63

Очевидно, що коливання напруги знаходиться в допустимих межах, згідно державного стандарту. Тому після даної перевірки змінювати величини перерізів жил проводів не потрібно.

2.10.2. Вибір і перевірка апаратури напругою 0,4 кВ

Розподільчий пристрій напругою 0,4 кВ трансформаторної підстанції виконується за допомогою панелей розподільчих щитів Щ098. Для вибору комплектних пристроїв і апаратури визначаються струми нормального та після аварійного режимів на шинах 0,4 кВ трансформаторної підстанції за формулами:

					ЛНТУ.971010.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		38

$$I_{\text{норм}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 577,35 \text{ A},$$

$$I_{\text{макс}} = 1,4 \cdot I_{\text{норм}} = 808,29 \text{ A}.$$

В таблиці 2.27 подана детальна характеристика вибраних панелей. Номінальні параметри апаратури вибрані попередньо і будуть уточнюватись в процесі подальших розрахунків [15].

Таблиця 2.27- Комплектація панелей ЩО-98.

Призначення	Тип панелі	Апаратура	
		Тип	$I_{\text{ном}}, \text{ A}$
Ввідна	ЩО-98-35	Рубильник РПШ-5	1600
		Автомат SIGMA Elektrik 3U160010 1000A 70кА	1600
		Трансформатор струму ТШ-20	1500/5
Розподільча	ЩО-98-14	Рубильник РПШ-5	600
		Автомат SIGMA Elektrik 3U160010 1000A, 70кА	630
		Трансформатор струму ТШ-20	500/5
Секційна з апаратурою АВР	ЩО-98-54	Рубильник РПШ-5	1600
		ВА SIGMA Elektrik 3K400400 400A, 35кА	1600
Панель диспетчерського керування вуличним освітленням	ЩО-98-71	Рубильник Р-100	100
		Запобіжник ПН2-100	100
		Пускач магнітний ПМЛ-4	63
Панель торцева	ЩО-98-95	-	-

Результати порівняння розрахункових і каталожних величин для ввідних і секційних вимикачів подані в таблиці 2.28.

Таблиця 2.28 – Вибір і перевірка ввідних та секційних автоматичних вимикачів

Розрункові величини	Каталожні дані SIGMA Elektrik 3U160 1000A, 70кА	
	ввідний	секційний
$K_{\text{від}}^{\text{III}} \cdot I_p = 577,35 \text{ A}$	$I_{\text{розч.ном}} = 1000 \text{ A}$	$I_{\text{розч.ном}} = 1000 \text{ A}$
$I_K = 6,73 \text{ кА}$	$I_{\text{ном.викл}} = 50 \text{ кА}$	$I_{\text{ном.викл}} = 50 \text{ кА}$

					ЛНТУ.971010.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		39

Для вибору і перевірки автоматичних вимикачів, які комутують і захищають лінії до ввідних розподільчих пунктів використовується інформація, що подана в таблиці 2.28 даного дипломного проекту [16].

В таблиці 2.29 подано результати порівняння розрахункових і каталожних величин для автоматичних вимикачів розподільчих панелей ІЦО-98.

Таблиця 2.29– Вибір автоматів для розподільчих панелей

Назва лінії	Розрахункова величина	Каталожні дані SIGMA Elektrik 3K400400 400A, 35кА
1	2	3
ТП - ВРП І	$K_{від}^{III} \cdot I_p = 258,89$	$I_{розч.ном} = 400 \text{ А}$
	$I_K = 4,77 \text{ кА}$	$I_{ном..викл} = 35 \text{ кА}$
ТП - ВРП ІІ	$K_{від}^{III} \cdot I_p = 103,00$	$I_{розч.ном} = 400 \text{ А}$
	$I_K = 3,16 \text{ кА}$	$I_{ном..викл} = 50 \text{ кА}$
ТП - ВРП ІІІ	$K_{від}^{III} \cdot I_p = 98,40$	$I_{розч.ном} = 400 \text{ А}$
	$I_K = 1,99 \text{ кА}$	$I_{ном..викл} = 35 \text{ кА}$
ТП - ВРП ІV	$K_{від}^{III} \cdot I_p = 83,35$	$I_{розч.ном} = 400 \text{ А}$
	$I_K = 1,66 \text{ кА}$	$I_{ном..викл} = 35 \text{ кА}$
ТП - ВРП V	$K_{від}^{III} \cdot I_p = 155,27$	$I_{розч.ном} = 400 \text{ А}$
	$I_K = 1,93 \text{ кА}$	$I_{ном..викл} = 35 \text{ кА}$
ТП - ВРП VI	$K_{від}^{III} \cdot I_p = 70,86$	$I_{розч.ном} = 400 \text{ А}$
	$I_K = 1,04 \text{ кА}$	$I_{ном..викл} = 35 \text{ кА}$
ТП - ВРП VII	$K_{від}^{III} \cdot I_p = 31,4570,86$	$I_{розч.ном} = 400 \text{ А}$
	$I_K = 1,58 \text{ кА}$	$I_{ном..викл} = 35 \text{ кА}$

В результаті порівняння розрахункових і каталожних величин очевидно, що вибрані автоматичні вимикачі можуть застосовуватись за даних розрахункових умов.

2.10.3. Вибір апаратури цеху

До встановлення в цеху приймаються силові розподільчі пункти серії ПР11 та освітлювальні пункти ОП-6. Вибір проводиться за інформацією [14, табл. 33]. їх детальна характеристика подана в таблиці 2.30

Таблиця 2.30 - Характеристика вибраних розподільчих пунктів

Тип	Призначення, тип та кількість вбудованих вимикачів			
	ввідних		фідерних	
	тип	кількість	тип	кількість
ПР11-3108	SIGMA Elektrik 3K400400 400A, 35кА	1	SIGMA Elektrik 3K400400 400A, 35кА	12
ОП-6	–	–	AE2040, $I_{ном}=63A$	6

Результати вибору автоматичних вимикачів і перевірок подані в таблиці 2.31.

Таблиця 2.31 - Вибір автоматичних вимикачів і перевірка проводів за умовою захищеності від перевантажень

Назва електроприймача	I_p, A	$I_{пр.дон}, A$	$q, \text{мм}^2$	$I_{ном}, A$	$I_{розч.ном}, A$	$I_{с.в.}, A$	$K_{від} \cdot I_n$	$I_{відкл.ном}, \text{кА}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
РП-I Апарат зварювальний (4)	23,12	30	6	100	10	250	242,77	12,5
РП-I Апарат зварювальний (4)	23,12	30	6	100	25	250	242,77	12,5
РП-I Верстат точильний (5)	9,93	19	2,5	100	25	250	104,32	12,5
РП-I Верстат точильний (5)	9,93	19	2,5	100	25	250	104,32	12,5
РП-I Верстат точильний (5)	9,93	19	2,5	100	25	250	104,32	12,5
РП-I Верстат точильний (5)	9,93	19	2,5	100	25	250	104,32	12,5
РП-II Мостовий кран (7)	50,10	55	16	100	63	630	526,01	12,5
РП-II Ножиці-гільйотина (8)	24,77	30	6	100	25	250	260,12	12,5
РП-II Ножиці-гільйотина (8)	24,77	30	6	100	25	160	260,12	12,5
РП-II Токарно-гвинторізний верстат (9)	10,02	19	2,5	100	25	63	105,20	12,5

Продовження таблиці 2.31

1	2	3	4	5	6	7	8	9
РП-ІІ Токарно-гвинторізний верстат (9)	10,02	19	2,5	100	25	63	105,20	12,5
РП-ІІ Токарно-гвинторізний верстат (9)	10,02	19	2,5	125	25	100	105,20	12,5
РП-ІІ Вентилятор притічний (6)	5,10	19	2,5	125	25	25	53,55	12,5
РП-ІІ Вентилятор притічний (6)	5,10	19	2,5	125	25	25	53,55	12,5
РП-ІІ Вентилятор притічний (6)	5,10	19	2,5	125	25	63	53,55	12,5
РП-ІІ Вентилятор притічний (6)	5,10	19	2,5	125	25	63	53,55	12,5

Для низьковольтної мережі цеху проводилась перевірка селективності спрацювання автоматичних вимикачів і запобіжників. Перевірки дали позитивний результат, тобто комутаційно-захисна апаратура буде спрацьовувати вибірково при КЗ на відповідній ділянці мережі.

					ЛНТУ.971010.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		42

РОЗДІЛ 3

ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ТОКАРНО-ГВИНТОРІЗНОГО ВЕРСТАТУ

3.1 Розрахунок двигуна

Для двигуна М1 (додаток Б):

$$I_{n1} = P_{n1} \cdot 1000 / \sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi_1 = 2,7 \cdot 1000 / \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,87 = 3,9 \text{ А.}$$

Для двигуна М2:

$$I_{n2} = P_{n2} \cdot 1000 / \sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi_2 = 0,12 \cdot 1000 / \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,86 = 0,3 \text{ А.}$$

Для двигуна М3:

$$I_{n3} = P_{n3} \cdot 1000 / \sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi_3 = 0,15 \cdot 1000 / \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,86 = 0,8 \text{ А;}$$

$$\Sigma I_n = I_{n1} + I_{n2} + I_{n3} = 3,9 + 0,3 + 0,8 = 5 \text{ А;}$$

Так як двигунів три, то розраховуємо по сумі пускових струмів і знаходимо за формулою:

$$\Sigma I_n = 5 \cdot 5 = 25 \text{ А.}$$

За початковими даними пуск двигуна легкий, тобто $t < 10$ сек. – струм плавкої вставки запобіжника за формулою:

					ЛНТУ.971010.000 ПЗ							
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата								
Розроб.		Камельчук А.А.			Електропостачання металообробного підприємства встановленою потужністю 1230 кВт Пояснювальна записка			Літ.	Арк.	Аркушів		
Перевір.		Романюк М.В.								38	4	
Реценз.								ФАБЕ, гр. ЕЕ-41				
Н. Контр.		Ващелюк.Ю.І.										
Затверд.		Волинеш В.І.										

$$I_{\epsilon} = \Sigma I_n / 2,5 = 25 / 2,5 = 10 \text{ A}.$$

По [17] вибираю струм плавкої вставки для двигунів М1, М2, М3 при $I_{\epsilon} = 10 \text{ A}$ – запобіжник типу ПР-2/15, де 10 А– номінальний струм плавкої вставки запобіжника.

Проведемо перевірку згідно вимог:

- 1) $I_{\epsilon} \geq \Sigma I_n$;
- 2) $I_{\epsilon} \geq \Sigma I_n / 2,5$;

Для всіх двигунів:

- 1) $10 \text{ A} \geq 5 \text{ A}$;
- 2) $10 \text{ A} \geq 10 \text{ A}$;

Вимоги виконуються. Це свідчить про те, що запобіжники вибрані правильно.

Автоматичний вимикач.

Щоб вибрати автоматичний вимикач, треба знати номінальний та пусковий струми електродвигунів:

$\Sigma I_n = 5 \text{ A}$ – сума номінальних струмів;

$\Sigma I_n = 25 \text{ A}$ – сума пускових струмів.

Розрахуємо силу струму електромагнітного розчіплювача $I_{e.m.p.}(\text{A})$. Вона повинна бути не меншою 125% пускового струму двигуна:

Струм спрацювання теплового розчіплювача або комбінованого розчіплювача повинен бути більше чи дорівнювати номінальному струму.

$$I_{a.6.} = 6 \text{ A} \geq \Sigma I_n = 5 \text{ A}.$$

					ЛНТУ.971010.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		39

Умови виконуються, номінальний струм автоматичного вимикача більший за номінальний струм двигунів. Автоматичний вимикач вибрано вірно.

Електротеплове реле.

Виходячи з потужності електродвигунів, які потрібно захистити від струмів перевантаження знайдемо струм нагрівального елемента теплового реле для кожного окремо.

Знаходимо I_{m2} для М2:

$$I_{m2} = 1,3 \cdot 0,24 = 0,31 \text{ А.}$$

Для двигуна М1:

Сила струму дорівнює 3,9А, а напруга – 380В.

Виходячи з даних [17] вибираю магнітний пускач серії ПМЕ-122 з напругою 380В і силою струму 4А.

$$U_{н.пуск.} \geq U_n ;$$

$$380 \geq 380;$$

$$I_{н.пуск.} \geq I_n ;$$

$$4 \geq 3,9.$$

Умови виконуються, магнітний пускач вибрано вірно.

Для двигуна М2:

Сила струму дорівнює 0,3А,а напруга – 380В.

Виходячи з даних [17] вибираю магнітний пускач серії ПМЕ-022 з напругою 380В і силою струму 2,5А.

$$U_{н.пуск.} \geq U_n ;$$

$$380 \geq 380;$$

$$I_{н.пуск.} \geq I_n ;$$

					ЛНТУ.971010.000 ПЗ	Арк.
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

$$2,5 \geq 0,3.$$

Умови виконуються, магнітний пускач вибрано вірно.

Для двигуна МЗ:

Сила струму дорівнює 0,8А, а напруга – 380В.

Виходячи з даних по табл. 23 [8] вибираю магнітний пускач серії ПМЕ-022 з напругою 380В і силою струму 2,5А.

$$U_{н.пуск.} \geq U_n ;$$

$$380 \geq 380 ;$$

$$I_{н.пуск.} \geq I_n ;$$

$$2,5 \geq 0,8.$$

Умови виконуються, магнітний пускач вибрано вірно.

					ЛНТУ.971010.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		41

РОЗДІЛ 4

СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ

4.1 Загальні положення автоматизованого проектування

Математичне забезпечення автоматизованого проектування характеризується різноманітністю методів обчислювальної математики, статистики, математичного програмування, дискретної математики, штучного інтелекту. Програмні комплекси автоматизованого проектування відносяться до числа найбільш складних сучасних програмних систем, заснованих на операційних системах Unix, Windows, мовах програмування C, C++, Java і інших, сучасних CASE технологіях, реляційних і об'єктно-орієнтованих системах керування базами даних, стандартах відкритих систем і обміну даними в комп'ютерних середовищах.

В даному проєкті було розроблено автоматизовану систему розрахунку картограми електричних навантажень в оболонці Microsoft Excel (Додаток В).

					ЛНТУ.971010.000 ПЗ							
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Електропостачання металообробного підприємства встановленою потужністю 1230 кВт. Пояснювальна записка				Літ.	Арк.	Аркушів	
Розроб.	Камельчук А.А.											
Перевір.	Романюк М.В.									47	1	
Реценз.									ФАБЕ, гр.ЕЕ-41			
Н. Контр.	Ващелюк Ю.І.											
Затверд.	Волинець В.І.											

РОЗДІЛ 5

ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА

5.1 Розрахунок блискавкозахисту ТП

Блискавка небезпечна тим, що удар її у незахищений або неправильно захищений об'єкт становить небезпеку не тільки для устаткування, а й для людей. Довжина каналу блискавки досягає у середньому 5 км. Канал блискавки має температуру 20000°C і вище. Блискавка проплавляє метал товщиною 4 мм, крім того, вона руйнує споруди з каменю, бетону, цегли [18].

На початку проектування визначають середньорічну можливу кількість ударів блискавки N в підстанцію, яка не має блискавкозахисту (додаток Г)

$$N = (6 + 6 \times 4) \times (10 + 6 \times 4) \times 4 \times 10^{-6} = 0,04$$

Для зони типу Б висоту блискавковідводу при відомих величинах h_x і R_x визначають за формулою:

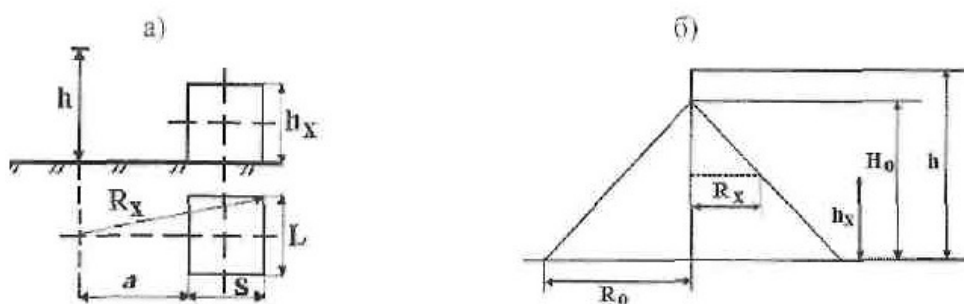


Рис. 5.1 - Зона захисту поодинокого стержньового блискавковідводу:

$$h = (6 * 1,6 * 4) / 1,5 = 25,8 \text{ м};$$

$$H_0 = 0,92 * 25,8 = 22,9 \text{ м}; R_0 = 1,5 * 25,8 = 31,6 \text{ м};$$

					ЛНТУ.971010.000 ПЗ							
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата								
Розроб.	Камельчук А.А.				Електропостачання металообробного підприємства встановленою потужністю 1230 кВт. Пояснювальна записка			Літ.		Арк.	Аркушів	
Перевір.	Романюк М.В.									48	1	
Реценз.												
Н. Контр.	Вашчелюк Ю.І.							ФАБЕ, гр.ЕЕ-41				
Затверд.	Волинець В.І.											

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

1. Для забезпечення надійності споживачів підприємства було вибрано змішану схему для живлення РП-0,4 кВ.
2. Для забезпечення надійності споживачів II категорії встановлені 2 силові трансформатори ТМ-400/10.
3. Для живлення підприємства було вибрано кабель марки АПвЕгаПу-10-3х35, який прокладено в траншеї.
4. Для покращення показників якості електроенергії на шинах 0,4 кВ встановлені низьковольтні батареї конденсаторів загальною потужністю 50 кВАр.
5. Усе комутаційне та захисне обладнання дозволяє працювати як нормальному так і в післяаварійному режимі.
6. В індивідуальному завданні було розраховано СЕП насосної станції та вибрано двигуни.
7. В розділі «САПР» за допомогою математичного середовища «Microsoft Excel» січення живлячої лінії.
8. В розділі «Електробезпека» було розраховано блискавкозахист трансформаторної підстанції.

					ЛНТУ.971010.000 ПЗ	Арк.
						49
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Давиденко Л.В., Коменда Н.В, Давиденко В.А., Євсюк М.М. Електропостачання промислових об'єктів : практикум : навчальний посібник. Луцьк : ВІП ЛНТУ, 2022. 244с.
2. LIGHT GROUP : Освітлення : промислове освітлення : каталог. URL : <https://www.light-group.com.ua/catalog/promyslove-osvitlennia/>.
3. Трансформатори силові типу ТМ. URL : http://cabex.com.ua/ru/produkcija/transformatori/transformatori_silovie_tipa_tm.html.
4. Електричні системи та мережі : методичні вказівки до виконання курсової роботи для здобувачів першого (бакалаврського) рівня освіти освітньої програми «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» галузі знань 14 Електрична інженерія спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка денної та заочної форм навчання ; уклад. І.В. Грицюк, Ю.В. Грицюк. Луцьк : Луцький НТУ, 2021. 72с.
5. Силові кабелі з ізоляцією із зшитого поліетилену : каталог. URL : <https://amperia.com.ua/ua/g32628816-silovye-kabeli-izolyatsiej>.
6. Пункт розподільний EU-PP11 : каталог. URL : <https://www.enersys.in.ua/vyrobnytstvo/punkt-rozpodilnyi.html>.
7. Ввідно-розподільний пристрій : каталог. URL : <https://www.enersys.in.ua/vyrobnytstvo/vvidno-rozpodilnyi-prystrii.html>.
8. Кабелі силові АВВГ, АВВГнг, АВВГнгд : каталог. URL : <https://europan.ua/ru/produkcija/kabeli-silovi/avvg-avvgng-avvgngd/>.
9. Грицюк Ю.В. Електрична частина станцій і підстанцій. Методичні вказівки до практичних занять. Луцьк : ЛНТУ, 2015. 96 с.
10. Електрична частина станцій і підстанцій : методичні вказівки до виконання курсового проекту ; уклад. Ю.В. Грицюк. Луцьк : Луцький НТУ, 2014. 84с.

					ЛНТУ.971010.000 ПЗ	Арк.
						50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

11. Камери збірні одностороннього обслуговування КСО 399 УЗ : каталог. ТОВ Укрелетрокомплект. URL: <http://uelko.com/kso399.pdf>.

12. Роз'єднувачі РВ, РВО, РВЗ, РВФЗ, РЛВО : каталог. URL: <http://nvacontact.com/category2/razediniteli-10-kv/>.

13. Вимикач навантаження ВН-РА-000 : каталог. ТОВ Укрелетрокомплект URL: <https://uelko.com/vn-ra.pdf>.

14. Кабелі силові ВВГ, ВВГнг, ВВГнгд : каталог. URL : <https://euopan.ua/ru/produkcija/kabeli-silovi/vvg3-vvg3ng-vvg3ngd-vvg5-vvg5ng-vvg5ngd/>.

15. Трансформатори струму Т-0,66 : каталог. URL: <http://bek-ltd.com.ua/transformatory-toka-t-0-66>.

16. Вимикачі автоматичні . ІЕК. URL: <https://001.com.ua/uk/iek>

17. Електроприймачі в системах електроспоживання : навчальний посібник для здобувачів першого (бакалаврського) рівня освіти освітньої програми «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» галузі знань 14 Електрична інженерія спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка денної та заочної форм навчання / уклад. І.В. Грицюк, Ю.В. Грицюк, І.О. Бандура. Луцьк : Луцький НТУ, 2021. 262с.

18. Панченко С.В., Акімов О.І., Бабаєв М.М. та ін. Електробезпека : підручник. Харків : УкрДЗТ, 2018. 295 с.

					ЛНТУ.971010.000 ПЗ	Арк.
						51
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		