

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 ПРОЕКТ ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «БАКАЛАВР»

**Проектування системи електропостачання заводу з
виробництва електротехнічного обладнання 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
Скиба Назарій Ігорович**

(підпис)

**Керівник:
асистент
Ващелюк Юрій Ігорович**

(підпис)

**Кваліфікаційний проект
допущено до захисту
« » 20 р.
Гарант освітньої програми:
к.т.н., доцент
Волинець Владислав Ігорович**

(підпис)

Луцьк – 2026 року

АНОТАЦІЯ

Скиба Н.І. Проектування системи електропостачання заводу з виробництва електротехнічного обладнання встановленою потужністю 2000 кВт. Рукопис.

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

Кваліфікаційний проект бакалавра складається з п'яти розділів, висновків і пропозицій, списку використаних джерел, додатків. Містить: 104 сторінки, 6 рисунків, 48 таблиць, 24 посилання.

У проекті розроблено систему електропостачання заводу з виробництва електротехнічного обладнання. Розробка виконувалася на основі електротехнічних розрахунків: розрахунок силових навантажень з використанням методу впорядкованих діаграм; розрахунок освітлювальних навантажень виконано за допомогою методу питомої густини навантаження; визначення електричних навантажень на вищих рівнях системи електропостачання підприємства з використанням ієрархічного підходу; вибір перерізу проводів ліній електропередачі за технічними і економічними умовами; вибір перерізу КЛ виконано за економічною густиною струму; виконано розрахунок струмів короткого замикання на стороні 10 та 0,4 кВ; здійснено вибір високовольтного та низьковольтного обладнання.

Виконані розробки дозволяють перейти до практичної частини будівництва й впровадження спроектованої системи електропостачання підприємства.

Ключові слова: система електропостачання (СЕП), трансформаторна підстанція (ТП), кабельна лінія (КЛ), струми короткого замикання (КЗ), системи автоматизованого проектування (САПР), електроприймач (ЕП).

ANNOTATION

Skiba N.I. Design of the power supply system of a plant for the production of electrical equipment with an installed capacity of 2000 kW. Manuscript.

Qualification project of the bachelor of OP "Electric power, electrical engineering and electromechanics" specialty 141 Electric power, electrical engineering and electromechanics. Lutsk National Technical University. Lutsk, 2026.

The bachelor's qualification project consists of five chapters, conclusions and proposals, a list of sources used, and appendices. Contains: 104 pages, 6 figures, 48 tables, 24 references.

The project developed a power supply system for a plant producing electrical equipment. The development was performed on the basis of electrical calculations: calculation of power loads using the method of ordered diagrams; the calculation of lighting loads is performed using the method of specific load density; determination of electrical loads at the highest levels of the power supply system of the enterprise using a hierarchical approach; choice of cross-section of power transmission wires according to technical and economic conditions; the choice of the cross section of the cable is made according to the economic current density; the calculation of short-circuit currents on the side of 10 and 0.4 kV was performed; the choice of high-voltage and low-voltage equipment was made.

The performed developments allow to pass to a practical part of construction and implementation of the designed system of power supply of the enterprise.

Key words: power supply system (PSS), transformer substation (TS), cable line (CL), short-circuit currents (SC), computer-aided design (CAD), electrical receiver (ES).

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ПРОЄКТУВАННЯ.....	9
РОЗДІЛ 2 ОСНОВНІ ПРОЕКТНІ РІШЕННЯ.....	11
2.1. РОЗРАХУНОК СИЛОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ.....	11
2.2. РОЗРАХУНОК ОСВІТЛЮВАЛЬНИХ НАВАНТАЖЕНЬ	13
2.3. РОЗРАХУНОК РЕЗУЛЬТУЮЧИХ НАВАНТАЖЕНЬ	15
2.4. ПОБУДОВА КАРТОГРАМИ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО ЦЕНТРУ ЕЛЕКТРИЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ.....	16
2.5. ВИБІР КІЛЬКОСТІ І ПОТУЖНОСТІ ТРАНСФОРМАТОРІВ ТА КОМПЕНСУЮЧИХ ПРИСТРОЇВ	17
2.6. КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ НА СТОРОНІ 10 кВ..	17
2.7. ВИЗНАЧЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ НА ВИЩИХ РІВНЯХ СЕП	20
2.8. ПРОЄКТУВАННЯ ЖИВЛЯЧОЇ МЕРЕЖІ ПІДПРИЄМСТВА	20
2.9. ПРОЄКТУВАННЯ ВНУТРІШНЬОЇ РОЗПОДІЛЬНОЇ МЕРЕЖІ	21
2.9.1. ВИБІР ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ НАПРУГОЮ 0,4 кВ	21
2.9.2. ВИБІР РОЗПОДІЛЬНИХ ПУНКТІВ НА НАПРУГУ 0,4 кВ	23
2.10. РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ	24
2.11. ВИБІР ОБЛАДНАННЯ.....	25
2.11.1. ВИБІР КОМПЛЕКТНИХ РОЗПОДІЛЬЧИХ ПРИСТРОЇВ НАПРУГОЮ 10 кВ	25
2.11.2. ВИБІР РОЗ'ЄДНУВАЧІВ.....	26
2.11.3. ВИБІР ВИМИКАЧІВ НАВАНТАЖЕННЯ	26
2.11.4. ВИБІР КОМПЛЕКТНИХ РОЗПОДІЛЬЧИХ ПРИСТРОЇВ НА НАПРУГОЮ 0,4 кВ	28

					ЛНТУ.971102.000 ПЗ						
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Скиба Н.І.			Проектування системи електропостачання заводу з виробництва електротехнічного обладнання встановленою потужністю 2000 кВт Пояснювальна записка			Літ.	Арк.	Аркушів	
Перевір.		Ващелюк Ю.І.								6	104
								ФАБЕ, гр. ЕЕЗ-41			
Н. Контр.		Ващелюк Ю.І.									
Затверд.		Волинець В.І.									

2.12. РОЗРАХУНОК НИЗЬКОВОЛЬТНОЇ МЕРЕЖІ ЦЕХУ	29
2.12.1. ВИБІР СХЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ	29
2.12.2. РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ В МЕРЕЖІ 0,4 кВ	32
2.13. ВИБІР ТРАНСФОРМАТОРІВ СТРУМУ.....	33
2.14. ВИБІР АВТОМАТИЧНИХ ВИМИКАЧІВ ТА РУБИЛЬНИКІВ	36
2.15. ПРОЄКТУВАННЯ ОСВІТЛЮВАЛЬНОЇ МЕРЕЖІ	38
РОЗДІЛ 3 ПРОЄКТУВАННЯ МЕХАНІЗМУ ПІДЙОМУ МОСТОВОГО КРАНУ.....	41
3.1. ВИБІР ПІДЙОМНОГО КАНАТУ	41
3.2. ВИБІР БАРАБАНУ	42
3.3. ВИБІР ДВИГУНА	43
3.4. ВИБІР РЕДУКТОРА	44
3.5. ВИБІР МУФТИ.....	44
3.6. ПЕРЕВІРКА ЗА ФАКТИЧНИМИ ЗНАЧЕННЯМИ ШВИДКОСТІ, ЧАСУ ПУСКУ ТА ПРИСКОРЕННЯ	45
3.7. ВИБІР ГАЛЬМІВНИХ ПРИСТРОЇВ.....	46
3.8. ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДЙОМНОГО МЕХАНІЗМУ	47
РОЗДІЛ 4 САПР.....	48
РОЗДІЛ 5 ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА.....	50
ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ.....	50
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	52
ДОДАТКИ.....	56

ВСТУП

Система електропостачання (СЕП) проектного заводу створена для забезпечення живлення електричною енергією промислових споживачів і приймачів. Це комплекс пристроїв для виробництва, передачі і розподілу електричної енергії. Він складається з джерел електричної енергії, ліній електропередач (ЛЕП), трансформаторних, перетворювальних і розподільних підстанцій. До цього комплексу також належить вимірювальне і захисне обладнання, що обслуговує керування пристроїв комплексу.

При проектуванні раціональної системи електропостачання повинні забезпечуватись:

- безперебійність електропостачання, що залежить від схеми та надійності пристроїв електричних мереж;
- якість електроенергії, яка характеризується належним рівнем напруги в споживачів;
- зручність та безпеку експлуатації;
- економічність;
- можливість подальшого розвитку без капітальної перебудови електричних мереж.

Для забезпечення усіх вищеперелічених вимог даний проект буде включати техніко-економічні розрахунки, які забезпечать підбір найбільш економічно доцільного перерізу мереж зовнішнього електропостачання та вибір оптимальних кількості та типу силових трансформаторів трансформаторних підстанцій, що сприяє проектуванню такої СЕП, яка б потребувала мінімальних одноразових капіталовкладень при найменших щорічних експлуатаційних витратах.

					ЛНТУ.971102.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

РОЗДІЛ 1

КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ПРОЕКТУВАННЯ

Завданням кваліфікаційного проєкту є розробка системи електропостачання заводу з виробництва електротехнічного обладнання. Основні вихідні дані для проєктування наведені в таблицях 1.1, 1.2.

Таблиця 1.1 – Основні відомості про підприємство

Параметр		Значення	Одиниця виміру
<i>Характеристика роботи підприємства</i>			
Встановлена потужність		2000	кВт
Кількість робочих змін		2	зміни
Час використання максимуму активного навантаження		4300	год
<i>Характеристика джерела живлення та споживачів</i>			
Напруга електропостачання		10	кВ
Віддаленість джерела живлення		0,95	км
Потужність короткого замикання на шинах джерела живлення		90	МВА
Генерована енергосистемою реактивна потужність		280	кВАр
Напруга живлення основних споживачів		0,4	кВ
Частота струму мережі та споживачів		50	Гц
Частка споживачів	I-ї категорії надійності електропостачання	2	%
	II-ї категорії надійності електропостачання	76	%
	III-ї категорії надійності електропостачання	22	%

					ЛНТУ.973102.000 ПЗ							
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата								
Розроб.		Скиба Н.І.			Проектування системи електропостачання заводу з виробництва електротехнічного обладнання встановленою потужністю 2000 кВт Пояснювальна записка				Літ.	Арк.	Аркушів	
Перевір.		Ващелюк Ю.І.									9	2
Н. Контр.		Ващелюк Ю.І.							ФАБЕ, гр. ЕЕЗ–41			
Затверд.		Волинець В.І.										

Таблиця 1.2 – Основні дані про цехи підприємства

<i>Назва цеху</i>	<i>$P_{вст}$, кВт</i>	<i>$K_{вик}$</i>	<i>Категорія надійності</i>	<i>Розміри цеху, м</i>	<i>$\cos\varphi$</i>
Збірний цех	310	0,40	2	48x36	0,75
Цех по ремонту силових трансформаторів	285	0,45	2	60x54	0,8
Цех шихтування сталі	241	0,4	2	54x48	0,85
Котельня	275	0,35	2	48x42	0,7
Ремонтно-механічний цех	260	0,3	2	48x36	0,7
Цех по виробництву обмоток	233	0,50	2	54x48	0,8
Компресорна (0.4 кВ)	226	0,4	2	30x24	0,7
Адміністративний корпус	150	0,5	3	54x48	0,8
Випробовувальна лабораторія	120	0,45	3	34x20	0,8

ОСНОВНІ ПРОЕКТНІ РІШЕННЯ

2.1. Розрахунок силових електричних навантажень

Розрахунок проводитимемо за методикою описаною в додатку А.1 цього проєкту для цеху по ремонту силових трансформаторів.

Провівши розрахунок за формулами (A.1)-(A.13) отримані дані зведемо в таблицю 2.1.

Таблиця 2.1 – Розрахунок навантаження цеху по ремонту силових трансформаторів

Назва електроприймачів	Потужності приймачів, кВт		n	cosφ	K _в	Середньо- максимальні потужності		n _{еф}	K _{max}	Розрахункове навантаження	
	P _{ном}	P _{вст}				P _{ср} , кВт	Q _{ср} , кВАр			P _p , кВт	Q _p , кВАр
1	2	3	4	5	6	7	7	9	10	11	12
Вертикально-свердильний верстат	5	25	5	0,95	0,3	7,5	2,47			9,60	2,47
Токарно-гвинторізальний верстат	7,75	46,5	6	0,95	0,3	13,95	4,59			17,86	4,59
Станок для наведення котушок	3	6	2	0,74	0,3	1,8	1,64			2,30	1,64
Сушильна шафа	20	40	2	1	0,3	12	0,00			15,36	0,00
Ванна для просочення	2,5	2,5	1	0,74	0,25	0,625	0,57			0,80	0,57
Зикмашина	5	5	1	0,87	0,56	2,8	1,59			3,58	1,59
Комбіновані пресножиці	4,5	4,5	1	0,85	0,5	2,25	1,39			2,88	1,39
Листозгинальна машина	5	5	1	0,78	0,54	2,7	2,17			3,46	2,17
Заточувальний верстат	3,5	7	2	0,95	0,25	1,75	0,58			2,24	0,58
Прес	8,5	25,5	3	0,82	0,45	11,475	8,01			14,69	8,01
Станок для ізоляції проводів	5	10	2	0,82	0,25	2,5	1,75			3,20	1,75

					ЛНТУ.971102.000 ПЗ						
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Скиба Н.І.			Проектування системи електропостачання заводу з виробництва електротехнічного обладнання встановленою потужністю 2000 кВт Пояснювальна записка			Літ.	Арк.	Аркушів	
Перевір.		Ващелюк Ю.І.								11	30
								ФАБЕ, гр. ЕЕЗ-41			
Н. Контр.		Ващелюк Ю.І.									
Затверд.		Волинець В.І.									

Продовження до таблиці 2.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Витяжна шафа	3	3	1	0,82	0,55	1,65	1,15			2,11	1,15
Верстат для стикового зварювання	3	3	1	0,88	0,2	0,6	0,32			0,77	0,32
Зварювальний перетворювач	13	26	2	0,8	0,3	7,8	5,85			9,98	5,85
Трансформатор для паяння ОСУ- 20	15	15	1	0,85	0,5	7,5	4,65			9,60	4,65
Поперечно- стругальний верстат	3	3	1	0,85	0,25	0,75	0,46			0,96	0,46
Мостовий кран ПВ-25	18,5	18,5	1	0,82	0,1	1,85	1,29			2,37	1,29
Всього по групі із змінним графіком навантаження		245,5	33			79,5	38,5				
Вентилятор	4,5	4,5	1	0,85	0,65	2,93	1,81			3,74	1,81
Всього по групі з постійним графіком навантаження			1								
Всього по цеху	129,75	250	34		0,33	82,43	40,27	24	1,28	105,5	40,27

Аналогічним чином проведемо обрахунок всіх цехів заводу (додаток А.1).

Таблиця 2.2 – Розрахунок силових навантажень цехів підприємства в цілому

Назва цеху	$\cos\varphi$	K_{ϕ}	Встановлена потужність $P_{\text{вст}}, \text{кВт}$	Середнє навантаження за найбільш завантаженому змінну		
				$P_{\text{ср.зм.}}, \text{кВт}$	$Q_{\text{ср.зм.}}, \text{кВАр}$	$S_{\text{ср.зм.}}, \text{кВА}$
1	2	3	4	5	6	7
Збірний цех	0,75	0,40	260	104	91,72	138,67
Цех по ремонту силових трансформаторів	0,8	0,45	250	112,50	84,38	140,63
Цех шихтування сталі	0,85	0,4	300	120	74,37	141,18
Котельня	0,7	0,35	140	49	49,99	70,00
Ремонтно- механічний цех	0,7	0,3	140	42	42,85	60,00

					ЛНТУ.971102.000 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Продовження до таблиці 2.2

1	2	3	4	5	6	7
Цех по виробництву обмоток	0,8	0,50	450	225	168,75	281,25
Компресорна (0.4 кВ)	0,7	0,4	160	64	65,29	91,43
Адміністративний корпус	0,8	0,5	100	50	37,50	62,50
Випробовувальна лабораторія	0,8	0,45	200	90	67,50	112,50
Всього			2000	856,5	682,35	1095,07

2.2. Розрахунок освітлювальних навантажень

Методика розрахунку частки освітлювальних навантажень наведено в додатку А.2 даного проєкту. За формулами (А.14)-(А.17).

Таблиця 2.3 – Розрахунок частки освітлювального навантаження заводу

Назва об'єкта	Площа, м ²	E, лк	Тип ламп	P _{нм.о.} , Вт/м ²	K _n	tgφ	K _{пра}	P _о , кВт	P _{ро} , кВт	Q _{ро} , кВар	S _{ро} , кВА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Збірний цех	1728	300	LED	14	0,95	0,48	1,1	24,19	25,28	12,13	28,04
Цех по ремонту силових трансформаторів	3240	300	LED	15	0,95	0,48	1,1	48,60	50,79	24,38	56,33
Цех шихтування сталі	2592	300	LED	14	0,95	0,48	1,1	36,29	37,92	18,20	42,06

Продовження до таблиці 2.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Котельня	2016	150	ДРЛ	16	0,9	0,62	1,1	32,26	31,93	19,80	37,57
Ремонтно-механічний цех	1728	300	LED	15	0,95	0,48	1,1	25,92	27,09	13,00	30,05
Цех по виробництву обмоток	2592	300	LED	15	0,95	0,48	1,1	38,88	40,63	19,50	45,07
Компресорна (0.4 кВ)	720	150	ДРЛ	16	0,9	0,62	1,1	11,52	11,40	7,07	13,42
Адміністративний корпус	2592	300	LED	20	0,9	0,48	1,1	51,84	51,32	24,63	56,93
Випробувальна лабораторія	680	300	LED	20	0,9	0,48	1,1	13,60	13,46	6,46	14,93
Освітлення території	42032,5	100	LED	0,16	1	0,48	1,1	6,73	7,40	3,55	8,21
Всього	59920,5								297,23	148,74	332,4

					ЛНТУ.971102.000 ПЗ					Арк.
										14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

2.3. Розрахунок результуючих навантажень

Визначаємо сумарні силові навантаження за формулою (А.18) додатку А.3 та зводимо обраховані дані в таблицю 2.4.

Таблиця 2.4 – Результуючі силові навантаження цехів підприємства

Назва цеху	Середньо-змінне навантаження		Освітлювальне навантаження		Сумарне навантаження		
	$P_{\text{ср.зм}}, \text{кВт}$	$Q_{\text{ср.зм}}, \text{кВАр}$	$P_{\text{р.о}}, \text{кВт}$	$Q_{\text{р.о}}, \text{кВАр}$	$P_{\text{р}\Sigma}, \text{кВт}$	$Q_{\text{р}\Sigma}, \text{кВАр}$	$S_{\text{р}\Sigma}, \text{кВА}$
Збірний цех	104	91,72	25,28	12,13	129,28	103,85	165,83
Цех по ремонту силових трансформаторів	112,5	84,38	50,79	24,38	163,29	108,75	196,19
Цех шихтування сталі	120	74,37	37,92	18,2	157,92	92,57	183,05
Котельня	49	49,99	31,93	19,8	80,93	69,79	106,87
Ремонтно-механічний цех	42	42,85	27,09	13,	69,09	55,85	88,84
Цех по виробництву обмоток	225	168,75	40,63	19,5	265,63	188,25	325,57
Компресорна (0.4 кВ)	64	65,29	11,4	7,07	75,4	72,36	104,51
Адміністративний корпус	50	37,5	51,32	24,63	101,32	62,13	118,86
Випробовувальна лабораторія	90	67,5	13,46	6,46	103,46	73,96	127,18
Освітлення території	-	-	7,4	3,55	7,4	3,55	8,21
Всього	856,5	682,35	297,23	148,74	1153,73	831,08	1421,89

2.4. Побудова картограми електричних навантажень та визначення теоретичного центру електричного навантаження

Необхідність визначення ЦЕН та порядок розрахунку описано в додатку А.4.

Результати обчислень за формулами (А.19)-(А.22) відображаємо в таблиці 2.5 та відображаємо на графічній роботі №1 «Генеральний план підприємства».

Таблиця 2.5 – Розрахунок картограми електричних навантажень

Назва цеху	$P_{p.o.}$ кВт	$P_{p\Sigma}$ кВт	$M_{p.i.l.o.}$ кВт/м ²	Координати цеху		r , см	α , град	Координати ЦЕН	
				x	y			x	y
Збірний цех	25,28	129,28	0,05	355	294	28,70	70,40	196	220
Цех по ремонту силових трансформаторів	50,79	163,29	0,05	220	331	32,25	111,97		
Цех шихтування сталі	37,92	157,92	0,05	69	58	31,72	86,45		
Котельня	31,93	80,93	0,05	83	203	22,70	142,04		
Ремонтно- механічний цех	27,09	69,09	0,05	183	58	20,98	141,14		
Цех по виробництву обмоток	40,63	265,63	0,05	89	337	41,13	55,06		
Компресорна (0.4 кВ)	11,40	75,40	0,05	190	232	21,92	54,45		
Адміністративний корпус	51,32	101,32	0,05	355	180	25,40	182,35		
Випробовувальна лабораторія	13,46	103,46	0,05	377	48	25,67	46,85		

2.5. Вибір кількості і потужності трансформаторів та компенсуючих пристроїв

Спосіб та методика за якою здійснюється вибір трансформаторів та батарей конденсаторів описана в додатку А.5 цього проєкту. При цьому розглянемо кілька варіантів, прорахуємо приведені затрати на обладнання та підведемо підсумки, аргументуючи вибір конкретного варіанту обладнання.

Провівши розрахунок відповідно до формул (А.23)-(А.38) отримані дані зведемо в таблицю 2.6.

Таблиця 2.6 – Порівняння двох варіантів вибору обладнання ЦТП

Одиниці вимірювання	Варіанти	
	I	II
1	2	3
$P_{p\Sigma}$, кВт	1153,73	1153,73
$Q_{p\Sigma}$, кВАр	831,08	831,08
$S_{p\Sigma}$, кВА	1421,89	1421,89
F, м2	17888	17888
σ , кВА/м2	0,08	0,08
K_3	0,8	0,8
$S_{ном.т}$, кВА	1600	1000
γ	0,37	0,4
Вибраний тип трансформатора	ТМ-1600/10	ТМ-1000/10
N_{min}	0,90	1,44
m	0	0
$N_{опт}$, шт	2	2
$Q_{max.т}$, кВАр	2285,28	1108,56
$Q_{нк1}$, кВАр	-1454,20	-27,48
$Q_{нк1.ф}$, кВАр	0,00	0,00
$Q_{нк2}$, кВАр	-353	463,3
$Q_{нк2.ф}$, кВАр	0	480
$Q_{нк}$, кВАр	0,0	480
Вибраний тип конденсаторної установки	-	УКРМ-0,4 -240-12-10-31УЗ
$Q_{нкф}$, кВАр	0	480
$\Delta P_{к.з}$, кВт	16,5	12,7

Продовження до таблиці 2.6

1	2	3
$\Delta P_{x.x}, \text{ кВт}$	3,3	3,8
$C_{e.T}, \text{ тис.грн/рік}$	178,84	164,23
$K, \text{ тис.грн}$	1460	800
$\Delta W, \text{ тис.кВт}\cdot\text{год}$	41,59	38,19
τ_m	2688,6	2688,6
$Z_T, \text{ тис.грн/рік}$	361,34	264,23
$\Delta W_{кку}, \text{ тис.кВт}\cdot\text{год}$	0,00	0,77
$C_{e. кку}, \text{ тис.грн/рік}$	0,00	3,33
$Z_{кку}, \text{ тис.грн/рік}$	0,00	16,11
$Z_{\Sigma}, \text{ тис.грн/рік}$	361,3	280,3

Отже, провівши розрахунки та порівнявши варіанти приходимо до висновку, що використання обладнання другого варіанту буде економічно вигіднішим (близько 22% вигідніше в порівнянні з I варіантом). Також вибрані трансформатори не будуть недовантаженими, в порівнянні в I варіантом, та при цьому матимуть запас доступного навантаження в перспективі розвитку підприємства.

Перевіряємо перевантажувальну здатність трансформатора за (А.38) додатку А.5. Результат перевірки відображено в таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 – Перевірка перевантажувальної здатності вибраного трансформатора

Максимальне перевантаження трансформатора, кВА	Навантаження в аварійному режимі, кВА		
	Частка споживачів III категорії, %	Сумарне навантаження, кВА	Кількість трансформаторів, шт
1400	22	1421,89	2
Всього			
1400	1105,92		

Перевірка виконується. До встановлення приймаємо два оливні трансформатори марки ТМ-1000 та номінальною потужністю 1000 кВА від

					ЛНТУ.971102.000 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

українського виробника ПАТ «Завод «МГТ», що базується в м. Запоріжжя [11].
Додаткові характеристики трансформатора даного типу відображені в таблиці 2.8.

Таблиця 2.8 – Характеристики оливного трансформатора ТМ-1000

Номінальна потужність, кВА	Номінальна напруга, кВ		Втрати, кВт		Напруга КЗ, %	Струм ХХ, %	Схема з'єднання обмоток
	високої сторони	низької сторони	при КЗ	при холостому ході			
1000	10	0,4	3,8	12,7	5,5	3	Y/Y _n -0

Для компенсації реактивної потужності приймаємо до встановлення по одній конденсаторній установці марки УКРМ-0.4-240-12-10-31У3 українського виробництва, від ТОВ «Платинум Електрик», м. Київ [12], на кожен трансформатор ЦТП. Потужність вибраної установки 240 кВАр, напруга 0,4 кВ промислової частоти, регулювання - ступінчасте. Для взаємодії з установкою присутній електронний термінал.

2.6. Компенсація реактивної потужності на стороні 10 кВ

Методика розрахунку компенсації реактивної потужності показана в додатку А.6. Результати проведених розрахунків в таблиці 2.9.

Таблиця 2.9 – Розрахунок компенсації реактивної потужності на стороні 10 кВ

Показник	Q _{рΣ} , кВАр	Q _{м1} , кВАр	Q _{к1} , кВАр	Q _{нк.ф} , кВАр	ΔQ _Т , кВАр	Q _{нс.т} , кВАр	Q _{е.мах} , кВАр	Q _{вБК} , кВАр
Значення	831,08	623,31	300,27	480	49	400,1	323	-130,7

Від'ємне значення реактивної потужності на шинах високої напруги підстанції свідчить про те, що обраних низьковольтних конденсаторних батарей достатньо.

					ЛНТУ.971102.000 ПЗ			Арк.
								19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				

2.7. Визначення електричних навантажень на вищих рівнях СЕП

За підходом описаним в додатку А.7 обчислюємо навантаження на вищих рівнях ієрархії системи електропостачання заводу з виробництва трансформаторів та КТП.

Визначені за формулами (А.43)-(А.49) дані навантажень вносимо в таблицю 2.9

Таблиця 2.10 – Навантаження вищих ієрархічних рівнів мережі підприємства

Одиниці вимірювання	Отримане значення
1	2
$Q_{p\Sigma}$, кВАр	831,08
$Q_{нбк}$, кВАр	480
P_{p3} , кВт	1153,73
Q_{p3} , кВАр	791,08
S_{p3} , кВА	1398,89
K_3	0,69
ΔQ_T , кВАр	112,12
ΔP_T , кВт	19,63
$\Delta Q_{кз}$, кВАр	55
ΔQ_0 , кВАр	30
P_{p4} , кВт	1173,36
Q_{p4} , кВАр	903,2
S_{p4} , кВА	1480,72

2.8. Проєктування живлячої мережі підприємства

Для забезпечення постачання електричної енергії на підприємство виконаємо лінію електропередачі двома паралельними кабелями, прокладеними в землі з відстанню у 300 мм один від одного з глибиною залягання 0,8 м. Попередньо здійснимо вибір перерізу кабеля за методикою додатку А.8, розглянувши кілька варіантів можливих перерізів.

Отримані результати розрахунку за формулами (А.50)-(А.63) зводимо в таблицю 2.11.

Таблиця 2.11 – Порівняння трьох варіантів вибору перерізу кабеля живлення підприємства

$F, \text{мм}^2$	$I_{\text{доп}}, \text{А}$	j_e	$I'_{\text{доп}}, \text{А}$	$r_0, \frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	$x_0, \frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	$\Delta U_{\text{норм}}, \%$	$\Delta U_{\text{п ав}}, \%$	$K_{\text{зл}}$	$\Delta P_{\text{н}}, \text{кВт}$	$\Delta P_{\text{д}}, \text{кВт}$	$C_e, \text{тис. грн.}$	$K, \text{тис. грн.}$	$З, \text{тис. грн.}$
50	140	1,4	135,41	0,625	0,09	0,387	0,774	0,32	32,66	3,25	37,63	884,45	148,2
70	165	1,4	159,59	0,447	0,086	0,286	0,572	0,27	32,45	2,33	26,91	1046,9	157,8
95	205	1,4	198,28	0,329	0,083	0,219	0,438	0,22	36,86	1,71	19,81	1204,6	170,4

При порівнянні перерізів бачимо, що найоптимальнішим за приведеними затратами для прокладання буде кабель з перерізом 50 мм².

Отже, для прокладання в землі приймаємо кабель марки ААБл-10 3×50 (алюмінієві жили, алюмінієва оболонка, паперова просочена ізоляція, броня з сталевих смуг та підкладки з пластикових смуг під бронею) виробництва ПАТ «Південькабель» [13].

2.9. Проектування внутрішньої розподільної мережі

2.9.1. Вибір ліній електропередачі напругою 0,4 кВ

Для розподілу електричної енергії по території заводу використаємо кабельні лінії, прокладені в землі, відстань між кабелями 200 мм (у випадку двох паралельних ліній), глибина прокладання 0,5 м. Типовиконання схеми – радіальне.

За методикою додатку А.9 визначаємо переріз провідників та опісля здійснюємо перевірку вибраного перерізу. Дані обрахунків за формулами (А.64)-(А.67) зводимо в таблицю 2.12.

					ЛНТУ.971102.000 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.12 – Вибір перерізів провідників мережі 0,4 кВ

РП8-РП9	ТП-РП8	ТП-РП7.1 (7.2)	ТП-РП6.1 (6.2)	ТП-РП5.1 (5.2)	ТП-РП4.1 (4.2)	ТП-РП3.1 (3.2)	ТП-РП2.1 (2.2)	ТП-РП1.1 (1.2)	1	Назва КЛ
1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	n
127,18	118,86	104,51	325,57	88,84	106,87	183,05	196,19	165,83	3	$S_{p\Sigma}$, кВА
183,57	302,43	75,42	234,96	64,11	77,13	132,11	141,59	119,68	4	I_p , А
131,12	216,02	53,87	167,83	45,80	55,09	94,36	101,13	85,48	5	F_e , мм ²
4×150	4×240	4×70	4×240	4×50	4×70	4×120	4×150	4×120	6	Переріз
0,0575	0,097	0,019	0,0555	0,0625	0,0143	0,0655	0,0547	0,1093	7	I , кА
230	401	140	401	110	140	200	230	200	8	$I_{доп}$, А
257,6	449,12	144,256	413,1904	113,344	144,256	206,08	236,992	206,08	9	$I'_{доп}$, А
-	-	150,85	469,92	128,23	154,25	264,21	283,17	239,35	10	$I_{наб}$, А
-	-	196	561,4	154	196	280	322	280	11	$I'_{доп}$, А
0,208	0,13	0,447	0,13	0,625	0,447	0,261	0,208	0,261	12	r_0 , Ом/км
0,06	0,059	0,061	0,059	0,063	0,061	0,06	0,06	0,06	13	x_0 , Ом/км
0,93	1,80	0,12	0,79	0,91	0,18	0,96	0,69	1,37	14	$\Delta U_{норм}$, %
-	1,80	0,24	1,58	1,82	0,36	1,91	1,38	2,73	15	$\Delta U_{наб}$, %

Отже, вибравши необхідний переріз жил до прокладання приймаємо кабелі відповідних перерізів, марки АВБШв-0,4 (алюмінієві жили, полівінілхлоридна ізоляція, броня з двох сталєхних смуг, зовнішнє покриття ПВХ пластикатом) виробництва кабельного заводу «Енергоальянс» [14].

2.9.2. Вибір розподільних пунктів на напругу 0,4 кВ

Для подальшого прийому та розподілу електроенергії по споживачах напруги 400/230 В, в межах цеху, вибираємо розподільчі пункти на напругу 0,4 кВ. До встановлення приймаємо РП типу ЕВ-РП11 від виробника Enersys Україна [15]. Виконаних зі встановленням автоматичних вимикачів на вводі.

Детальний вибір обладнання зведемо в таблицю 2.13.

Таблиця 2.13 – Вибір РП-0,4 кВ цехів заводу

Назва об'єкту	$S_{p\Sigma}, \text{кВА}$	$I_p, \text{А}$	$1,25 \cdot I_p, \text{А}$	Тип РП	$I_{\text{доп РП}}, \text{А}$	Кількість РП	Позначення
1	2	3	4	5	6	7	8
Збірний цех	165,83	119,68	149,6	ЕВ-РП11–3056-54УЗ	160	2	РП1.1, РП1.2
Цех по ремонту силових трансформаторів	196,19	141,59	177,0	ЕВ-РП11–3064-54УЗ	250	2	РП2.1, РП2.2
Цех шихтування сталі	183,05	132,11	165,1	ЕВ-РП11–3064-54УЗ	250	2	РП3.1, РП3.2
Котельня	106,87	77,13	96,4	ЕВ-РП11–3056-54УЗ	160	2	РП4.1, РП4.2
Ремонтно-механічний цех	88,84	64,11	80,1	ЕВ-РП11–3056-54УЗ	160	2	РП5.1, РП5.2
Цех по виробництву обмоток	325,57	234,96	293,7	ЕВ-РП11–3094-54УЗ	400	2	РП6.1, РП6.2
Компресорна (0.4 кВ)	104,51	75,42	94,3	ЕВ-РП11–3056-54УЗ	160	2	РП7.1, РП7.2

					ЛНТУ.971102.000 ПЗ		Арк.
							23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Продовження до таблиці 2.13

1	2	3	4	5	6	7	8
Адміністративний корпус	118,86	171,55	171,55	EU-ПР11–3112–54УЗ	400	1	РП8
Випробовувальна лабораторія	127,18	183,57	183,57	EU-ПР11–3062–54УЗ	250	1	РП9

2.10. Розрахунок струмів короткого замикання

Обладнання що встановлюватиметься на всіх рівнях СЕП повинне бути стійке до високих струмів коротких замикань, здатне їм запобігати, здатне вчасно відключати та локалізувати ділянку на якій відбулась аварія.

Методика розрахунку ударного струму КЗ та теплового імпульсу при КЗ приведена в додатку А.10. Вихідні дані для розрахунку відображені в таблиці 2.14.

Таблиця 2.14 – Вихідні дані для розрахунку струмів КЗ

Параметр	Значення
Базисна потужність, МВА	100
Потужність КЗ джерела живлення, МВА	90
Базисна напруга, кВ	10,5
Середня напруга, кВ	

Провівши розрахунок за формулами (А.68)-(А.76) отримані значення зводимо в таблицю 2.15.

Таблиця 2.15 – Розрахунок струмів КЗ

Параметр	Значення
$\dot{X}_{C*}$	1,111
$\dot{X}_{кл1*} = \dot{X}_{кл2*}$	0,078
$\dot{X}_{кл12*}$	0,039
$\dot{X}_{рез*}$	1,150
I_{n0} , кА	4,782
I_{ϕ} , кА	5,499
k_y	1,45
i_y , кА	9,806
K_T , $A \cdot c^{0,5}/mm^2$	95
t_n , с	0,2
F_{min} , mm^2	22,511
B_k , кА·с	4,573

Перевірка перерізу на стійкість короткочасній дії струму КЗ виконується.
Вибраний кабель ААБл-10 3×50 придатний для прокладання (див. п.2.7).

2.11. Вибір обладнання

2.11.1. Вибір комплектних розподільчих пристроїв напругою 10 кВ

Для розподілу електроенергії від шин 10 кВ до встановлення приймемо збірні камери одностороннього обслуговування типу КСО-399. Для забезпечення можливої необхідності використання резерву встановлюємо шинний міст та роз'єднувачі типовиконання ШМР-1 [16]. Параметри вибраного обладнання РП-10 кВ зведемо в таблицю 2.16.

Таблиця 2.16 – Технічні параметри камер КСО-399

Параметри	Значення
Номинальна напруга $U_{\text{ном}}$, кВ	10
Номинальний струм основних кіл, А	400
Номинальний струм збірних шин, А	400
Номинальний струм електродинамічної стійкості $I_{\text{дин}}$, кА	51
Струм термічної стійкості протягом 3 с, кА	20

2.11.2. Вибір роз'єднувачів

Вибір роз'єднувачів здійснимо за умовами (А.77)-(А.82) описаних в додатку А.11. Перевірку за цими умовами відобразимо в таблиці 2.17.

Таблиця 2.17 – Перевірка вибраного роз'єднувача типу РВЗ - 10/400 УЗ.

Дані з обрахунків	Дані з каталогу
$U_{\text{уст}}=10$ кВ	$U_{\text{ном}}=10$ кВ
$I_{\text{норм}}=42,74$ А $I_{\text{max}}=85,49$ А	$I_{\text{ном}}=400$ А
$i_y=9,8$ кА	$I_{\text{дин}}=40$ кА
$I_{\text{п0}}=4,8$ кА	$I_{\text{гр наскр}}=16$ кА
$B_K=4,6$ кА ² ·с	$I_T^2 \cdot t_T=16^2 \cdot 3=768$ кА ² ·с

Отже, перевірки виконуються, остаточно примаємо до встановлення вибраний роз'єднувач внутрішньої установки (РВЗ - 10/400 УЗ) [17].

2.11.3. Вибір вимикачів навантаження

Вибір роз'єднувачів здійснимо за умовами (А.77)-(А.82) описаних в додатку А.11. Перевірку за цими умовами відобразимо в таблиці 2.18.

					ЛНТУ.971102.000 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.18 - Перевірка вибраного вимикача навантаження типу ВНАп-Р-ЭМ-10/400-20-УЗ

<i>Розраховані дані</i>	<i>Дані з каталогу</i>
$U_{уст}=10 \text{ кВ}$	$U_{ном} =10 \text{ кВ}$
$I_{норм}=42,74 \text{ А}$ $I_{max}=85,49 \text{ А}$	$I_{ном} =400 \text{ А}$
$i_y=9,8 \text{ кА}$	$I_{дин} =51 \text{ кА}$
$I_{п0}=4,8 \text{ кА}$	$I_{гр \text{ наскр}} =20 \text{ кА}$
$B_K=4,6 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_T^2 \cdot t_T =20^2 \cdot 3=1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Перевірки виконуються. Вимикач навантаження типу ВНАп-Р-ЭМ-10/400-20-УЗ [17] будуть встановлені на стороні ВН ТП (див. графічну роботу №2 «Однолінійна схема електропостачання заводу»). Своєю конструкцією цей апарат передбачає встановлення запобіжників, тому здійснимо їх вибір за умовами (А.77), (А.79), (А.81). Перевірку вибраних запобіжників зведемо в таблицю 2.19.

Таблиця 2.19 - Перевірка вибраного запобіжника типу ПКТ-113-10-100-31,5 УЗ

<i>Розраховані дані</i>	<i>Дані з каталогу</i>
$U_{уст} =10 \text{ кВ}$	$U_{ном} =10 \text{ кВ}$
$I_{max}=85,49 \text{ А}$	$I_{ном.з}=100 \text{ А}$
$I_{п0}=4,8 \text{ кА}$	$I_{вимк з}=31,5 \text{ кА}$
$S''=1,7 \cdot U_{ном} \cdot I_{п.о}=1,7 \cdot 10 \cdot 4,8=82,8 \text{ МВА}$	$S_{.вимк з}=100 \text{ МВА}$

Оскільки умови вибору виконуються, приймаємо до встановлення запобіжники типу ПКТ-113-10-100-31,5 УЗ [17].

Також до встановлення на ввід до шин РП-10 кВ приймемо вимикачі навантаження з аналогічними параметрами наведеним в таблиці 2.18. Приймаємо вимикачі навантаження типу ВНА-10/630-20-з УЗ [17]. Даний апарат в конструкції не містить запобіжників.

					ЛНТУ.971102.000 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.11.4. Вибір комплектних розподільчих пристроїв на напругою 0,4 кВ

На шини низької напруги трансформаторної підстанції для розподілу електроенергії по території підприємства вибираємо до встановлення панелі типу ЩО-90 [18]. Встановлені панелі будуть таких призначень: ввідні, секційна та лінійні. ЩО-90 слугуватимуть для зручного обслуговування, контролю параметрів та захисту фідерів.

Вибір типовиконань панелей, їх призначення та попередньо вибрану комутаційно-захисну апаратуру ([19], [20]) відобразимо в таблиці 2.20. Перевірка правильності вибору апаратури буде описана нижче.

Таблиця 2.20 – Вибір панелей ЩО-90

Призначення	Позначення	Типовиконання	Встановлене комутаційне обладнання	
			вимикач	рубильник
1	2	3	4	5
Лінійна	Комірка 1 (РП1.1, РП4.1)	ЩО90-1413 УЗ	Schneider Electric ComPacT NSX250	-
Лінійна	Комірка 2 (РП2.1, РП8)	ЩО90-1413 УЗ	Schneider Electric ComPacT NSX400	-
Лінійна	Комірка 3 (РП5.1, РП7.1)	ЩО90-1412 УЗ	Schneider Electric ComPacT NSX160	-
Лінійна	Комірка 4 (РП6.1)	ЩО90-1427 УЗ	Schneider Electric ComPacT NSX630	Hager HA458 4p 630A
Ввідна	Комірка 5 (ввід)	ЩО90-1109А УЗ	Schneider Electric ComPacT NS2500	Hager HA466 4p 2500A
Секційна	Комірка 6,7 (секційні)	ЩО90-1310 УЗ	Schneider Electric ComPacT NS2500	Hager HA466 4p 2500A
Ввідна	Комірка 8 (ввід)	ЩО90-1109А УЗ	Schneider Electric ComPacT NS2500	Hager HA466 4p 2500A
Лінійна	Комірка 9 (РП6.2)	ЩО90-1427 УЗ	Schneider Electric ComPacT NSX630	Hager HA458 4p 630A
Лінійна	Комірка 10 (РП5.2 РП7.2)	ЩО90-1412 УЗ	Schneider Electric ComPacT NSX160	-

Продовження до таблиці 2.20

1	2	3	4	5
Лінійна	Комірка 11 (РП2.2, РП3.1, РП 3.2)	ЩО90-1413 УЗ	Schneider Electric ComPacT NSX400	-
Лінійна	Комірка 12 (РП1.2 РП4.2)	ЩО90-1413 УЗ	Schneider Electric ComPacT NSX250	-

2.12. Розрахунок низьковольтної мережі цеху

2.12.1. Вибір схеми електропостачання

Розрахунок низьковольтної мережі будемо проводити на прикладі цеху по ремонту силових трансформаторів. Вихідні дані для проєктування схеми відобразимо в таблиці 2.21. Мережу виконуватимемо за радіальною схемою живлення.

Таблиця 2.21 – Вибір провідників схеми живлення приймачів цеху по ремонту силових трансформаторів

Параметр	Значення
Напруга живлення силових електроприймачів, В	380
Розрахунковий струм навантаження цеху, А	283,17
Кількість електроприймачів цеху, шт	34
Тип вибраного кабелю живлення РП	2 × АВББШв-0,4 4×150
Тип вибраного РП	2 × ЕУ-РП11–3064–54УЗ

Перед початком вибору провідників для живлення приймачів потрібно розрахувати робочий струм кожного ЕП за формулою:

$$I_i = \frac{P_{\text{нi}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}} \cdot \cos \varphi_i}, \quad (2.1)$$

де $P_{ин}$, $\cos \varphi_i$ – номінальна потужність та коефіцієнт потужності приймача, відповідно.

Провівши розрахунки за формулою (2.1) результат розрахунку та вибору провідника зведемо в таблицю 2.22.

Таблиця 2.22 – Вибір провідників для живлення електроприймачів

Назва приймача	P_n , кВт	n	$\cos \varphi$	I_p , А	$I_{доп}$, А	F , мм ²	Марка кабелю
1	2	3	4	5	6	7	8
Вертикально-свердильний верстат	5	5	0,95	7,60	28	2,5	ВВГ 5х2,5
Токарно-гвинторізальний верстат	7,75	6	0,95	11,77	28	2,5	ВВГ 5х2,5
Станок для наведення котушок	3	2	0,74	5,85	28	2,5	ВВГ 5х2,5
Сушильна шафа	20	2	1	28,87	37	4	ВВГ 5х4
Ванна для просочення	2,5	1	0,74	4,88	28	2,5	ВВГ 5х2,5
Зикмашина	5	1	0,87	8,30	28	2,5	ВВГ 5х2,5
Комбіновані пресножиці	4,5	1	0,85	7,64	28	2,5	ВВГ 5х2,5
Листозгинальна машина	5	1	0,78	9,25	28	2,5	ВВГ 5х2,5
Заточувальний верстат	3,5	2	0,95	5,32	28	2,5	ВВГ 5х2,5
Прес	8,5	3	0,82	14,96	28	2,5	ВВГ 5х2,5
Станок для ізоляції проводів	5	2	0,82	8,80	28	2,5	ВВГ 5х2,5
Витяжна шафа	3	1	0,82	5,28	28	2,5	ВВГ 5х2,5
Верстат для стикового зварювання	3	1	0,88	4,92	28	2,5	ВВГ 5х2,5
Зварювальний перетворювач	13	2	0,8	23,45	37	4	ВВГ 5х4
Трансформатор для паяння ОСУ-20	15	1	0,85	25,47	37	4	ВВГ 5х4
Поперечно-стругальний верстат	3	1	0,85	5,09	28	2,5	ВВГ 5х2,5
Мостовий кран ПВ-25	18,5	1	0,82	32,56	49	6	ВВГ 5х6
Вентилятор	4,5	1	0,85	7,64	28	2,5	ВВГ 5х2,5

Вибраний кабель марки ВВГ [20] буде прокладений в кабельних каналах під підлогою (див графічну роботу №3 «План розміщення електрообладнання цеху по ремонту силових трансформаторів»).

					ЛНТУ.971102.000 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перевіримо вибраний кабель на втрати напруги та виберемо триполюсні захисні автоматичні вимикачі серії ВА-2004N українського виробника АСКО-УкрЕМ [22]. Дані зведемо в таблицю 2.23.

Таблиця 2.23 – Розрахунок втрат напруги та вибір захисної апаратури цеху по ремонту силових трансформаторів

Назва приймача	I_p , А	r_0 , $\frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	x_0 , $\frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	l , км	ΔU , %	Тип автоматичного вимикача
1	2	3	4	5	6	7
Вертикально-свердильний верстат	7,60	12,5	0,104	0,082	1,08	ВА 2004N/63-10А
Токарно-гвинторізальний верстат	11,77	12,5	0,104	0,057	1,16	ВА 2004N/63-16А
Станок для наведення катушок	5,85	12,5	0,104	0,074	1,59	ВА 2004N/63-10А
Сушильна шафа	28,87	7,81	0,095	0,1	0,12	ВА 2004N/63-32А
Ванна для просочення	4,88	12,5	0,104	0,097	1,74	ВА 2004N/63-10А
Зикмашина	8,30	12,5	0,104	0,068	1,53	ВА 2004N/63-10А
Комбіновані пресножиці	7,64	12,5	0,104	0,042	0,93	ВА 2004N/63-10А
Листозгинальна машина	9,25	12,5	0,104	0,076	2,41	ВА 2004N/63-16А
Заточувальний верстат	5,32	12,5	0,104	0,067	0,62	ВА 2004N/63-10А
Прес	14,96	12,5	0,104	0,052	2,44	ВА 2004N/63-20А
Станок для ізоляції проводів	8,80	12,5	0,104	0,112	3,09	ВА 2004N/63-10А
Витяжна шафа	5,28	12,5	0,104	0,106	1,75	ВА 2004N/63-10А
Верстат для стикового зварювання	4,92	12,5	0,104	0,115	1,48	ВА 2004N/63-10А
Зварювальний перетворювач	23,45	7,81	0,095	0,047	2,27	ВА 2004N/63-25А
Трансформатор для паяння ОСУ-20	25,47	7,81	0,095	0,068	3,15	ВА 2004N/63-32А
Поперечно-стругальний верстат	5,09	12,5	0,104	0,053	0,78	ВА 2004N/63-10А

Мостовий кран ПВ-25	32,56	5,21	0,09	0,115	4,96	ВА 2004N/63-40А
Вентилятор	7,64	12,5	0,104	0,113	2,50	ВА 2004N/63-10А

Оскільки втрати напруги не перевищують 5%, провідники вибрані вірно.

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

Відповідно до необхідності розрахунків струмів КЗ на стороні 10 кВ (див. п. 2.9) розраховуємо струми КЗ мережі 0,4 кВ за методикою додатку А.12.

Таблиця 2.24 – Вихідні дані для розрахунку струмів КЗ мережі 0,4 кВ

Параметр		Значення
Струм КЗ на шинах ВН, кА		4,78
Базисна напруга сторони НН, кВ		0,4
Середня напруга сторони ВН, кВ		10,5
Дані трансформатора	номінальна потужність, кВА	1000
	втрати при КЗ, кВт	12,5
	напруга КЗ, %	5,5

Розрахуємо опори кабельних ліній від шин ТП до шин РП за формулами (А.89-А.90).

Таблиця 2.25– Розрахунок опорів лінії 0.4 кВ

Назва кабельної лінії	l, км	$r_0, \frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	R, МОм	$x_0, \frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	X, МОм
1	2	3	4	5	6
ТП-РП1.1	0,1093	0,261	28,5273	0,06	6,558
ТП-РП1.2	0,1093	0,261	28,5273	0,06	6,558
ТП-РП2.1	0,0547	0,208	11,3776	0,06	3,282
ТП-РП2.2	0,0547	0,208	11,3776	0,06	3,282
ТП-РП3.1	0,0655	0,261	17,0955	0,06	3,93
ТП-РП3.2	0,0655	0,261	17,0955	0,06	3,93
ТП-РП4.1	0,0143	0,447	6,3921	0,061	0,8723
ТП-РП4.2	0,0143	0,447	6,3921	0,061	0,8723
ТП-РП5.1	0,0625	0,625	39,0625	0,063	3,9375
ТП-РП5.2	0,0625	0,625	39,0625	0,063	3,9375

					ЛНТУ.971102.000 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ТП-РП6.1	0,0555	0,130	7,215	0,059	3,2745
ТП-РП6.2	0,0555	0,130	7,215	0,059	3,2745
ТП-РП7.1	0,01	0,447	4,47	0,061	0,61

Визначивши опори ліній 0,4 кВ, проводимо розрахунки за формулами (А.91)-(А.96). Дані отримані в ході розрахунку зводимо в таблицю 2.26.

Таблиця 2.26 – Розрахунок струмів КЗ в мережі 0.4 кВ

Точка КЗ	$R_{\text{дод}},$ МОм	$\dot{R}_{\text{рез}},$ МОм	$\dot{X}_{\text{рез}},$ МОм	$\dot{Z}_{\text{рез}},$ МОм	$I_{\text{к}},$ кА	k_y	$i_y,$ кА	$B_{\text{к}},$ кА ² · с	$F_{\text{min}},$ мм ²	$F_{\text{прийн}},$ мм ²
К0	15	17,89	10,64	20,82	11,09	1,05	16,47	67,8	-	-
К1	20	51,42	17,20	54,22	4,26	1	6,02	9,1	31,70	4×120
К2	20	34,27	13,92	36,99	6,24	1	8,83	19,5	46,47	4×150
К3	20	39,99	14,57	42,56	5,43	1	7,67	14,7	40,39	4×120
К4	20	29,29	11,51	31,47	7,34	1	10,38	26,9	54,63	4×70
К5	20	61,96	14,58	63,65	3,63	1	5,13	6,6	27,01	4×50
К6	20	30,11	13,91	33,17	6,96	1	9,85	24,2	51,82	4×240
К7	20	27,36	11,25	29,59	7,81	1	11,04	30,5	58,10	4×70
К8	20	35,50	16,36	39,09	5,91	1	8,35	17,4	43,97	4×240
К9	25	52,46	19,81	56,08	4,12	1	5,82	8,5	30,65	4×150

Отже, перевірка за перерізами провідників виконується, остаточно приймаємо вибрані кабелі марки АВБШв-0,4.

2.13. Вибір трансформаторів струму

Для підключення кіл контролю та обліку виберемо до встановлення трансформатори струму. Вибір будемо проводити за умовами (А.97)-(А.106) додатку А.13. Перед початком вибору трансформаторів струму виберемо прилади розрахункового та технічного обліку.

					ЛНТУ.971102.000 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для обліку спожитої активної та реактивної електроенергії приймемо до встановлення лічильник NIK 2303 ARTT.1800.MC.21 5A від НІК-Електроніка та амперметр типу J-A72 [23].

Визначимо навантаження на трансформатор струму за паспортними даними приладів, отримані значення зведемо в таблицю 2.27.

Таблиця 2.27 – Визначення навантаження на трансформатор струму

<i>Найменування приладу</i>	<i>Тип приладу</i>	<i>Номінальне навантаження, ВА</i>
Амперметр	J-A72	4
Лічильник активної та реактивної енергії	NIK 2303 ARTT.1800.MC.21 5A	0,5
Всього	-	4,5

За умовами (А.104)-(А.106) обрахуємо опір кіл технічного та розрахунково обліку. Результат розрахунку відобразимо в таблиці 2.28.

Таблиця 2.28 – Опір кіл обліку

<i>Вид обліку</i>	<i>Опір приладів, Ом</i>	<i>Вторинне навантаження ТС, Ом</i>
Розрахунковий	0,002	0,8
Технічний	0,02	0,98

Для вибору необхідного коефіцієнта трансформації ТС визначаємо розрахунковий струм та максимальний струм у випадку аварії на шинах РП ТП за формулою (А.100). Розрахунок проводимо в табличній формі, таблиця 2.29.

Таблиця 2.29 – Визначення струмів на шинах РП ТП

<i>Параметр</i>	<i>Значення</i>
Сумарне навантаження на шинах НН ТП, кВА	1421,9
Кількість трансформаторів, шт	2
Струм в нормальному режимі роботи, А	1026,2
Струм при аварійному режимі роботи, А	2052,3

Визначивши струми вибираємо шинний трансформатор типу ТШ-0,66 УЗ з коефіцієнтом трансформації 3000/5 для розрахункового обліку[18]. Здійснимо перевірку вибраного трансформатора за умовами (А.97-А.103) та зведемо її у таблицю 2.30.

Таблиця 2.30 – Перевірка вибраного ТС типу ТШ-0,66 УЗ 3000/5

<i>Розраховані дані</i>	<i>Паспортні дані</i>
$U_{уст}=0,4 \text{ кВ}$	$U_{ном}=0,66 \text{ кВ}$
$I_{ном}=1026,2 \text{ А}$ $I_{max}=2052,3 \text{ А}$	$I_{ном1}=3000 \text{ А}$
$i_y=16,47 \text{ кА}$ $I_{по}=11,38 \text{ кА}$	$i_{дин}=51 \text{ кА}$ $I_T=31,5 \text{ кА}$
$B_k=67,8 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_T^2 \cdot t_T=992,3 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$
$z_2=0,08 \text{ Ом}$	$z_{2ном}=5 \text{ Ом}$

Всі перевірки виконуються, остаточно приймаємо вибраний трансформатор струму для підключення в коло розрахункового обліку.

Для технічного обліку застосуємо трансформатори Т-0,66 [18] на кожний фідер. Детальні характеристики та перевірку здійснимо в таблиці 2.31.

Таблиця 2.31 – Перевірка вибраних трансформаторів типу Т-0,66 УЗ

Розраховані дані		Паспортні дані	
$U_{уст}=0,4$ кВ		$U_{ном}=0,66$ кВ	
$I_{мах,рп.і}, А$	239,35	$I_{норм}, А$	400
	283,17		400
	264,21		400
	154,25		250
	128,23		250
	469,92		500
	150,85		250
	302,43		400
	183,57		250
$i_y=16,47$ кА $I_{по}=11,38$ кА		$i_{дин}=51$ кА $I_T=17,5$ кА	при $K_T=250/5$
		$i_{дин}=51$ кА $I_T=31,5$ кА	при $K_T=400/5; 500/5$
$B_K=67,8$ кА ² ·с		$I_T^2 \cdot t_T=306,25$ кА ² ·с	
		$I_T^2 \cdot t_T=992,3$ кА ² ·с	
$Z_2=0,08$ Ом		$Z_{2ном}=5$ Ом	

Отже, всі перевірки виконуються, остаточно приймаємо до встановлення вибраний трансформатор струму на кожен розподільчу лінію РП ЦТП.

2.14. Вибір автоматичних вимикачів та рубильників

В кожній комірці панелей ЩО-90 передбачається встановлення автоматичних вимикачів. Перевіримо попередньо вибрані автоматичні вимикачі (див.п.2.10.4) виробництва Schneider Electric , серії Compact, за умовами (А.107)-(А.110) додатку А.14. Перевірку зведемо в таблицю 2.32.

Таблиця 2.32 – Перевірка попередньо вибраних автоматичних вимикачів Schneider Electric Compact

Назва вимикача	Тип вимикача	Дані по каталогу			Розраховані дані			
		$U_{ном}$, кВ	$I_{ном розщ}$, А	$I_{гр вимк}$, кА	$U_{уст}$, кВ	$I_{норм}$, А	I_{max} , А	I_k , А
QF1, QF2	NS2500	0,4	2500	70	0,4	1026,2	2052,33	11,38
QF11	NS2500	0,4	2500	70	0,4	1026,2	2052,33	11,38
QF4, QF21, QF19, QF35	NSX250	0,4	250	25	0,4	119,68	239,35	4,26
QF5, QF22, QF18, QF34	NSX250	0,4	250	25	0,4	77,13	154,25	7,34
QF6, QF23, QF17, QF33	NSX400	0,4	400	36	0,4	141,59	283,17	6,24
QF7, QF24	NSX400	0,4	400	36	0,4	302,43	-	5,91
QF36, QF37	NSX250	0,4	250	25	0,4	183,57	-	4,12
QF16, QF32, QF15, QF31	NSX400	0,4	400	25	0,4	264,21	132,11	5,43
QF8, QF25, QF14, QF30	NSX160	0,4	160	25	0,4	64,11	128,23	3,63
QF9, QF26, QF13, QF29	NSX160	0,4	160	25	0,4	75,42	150,85	7,81
QF10, QF27, QF12, QF28	NSX630	0,4	630	36	0,4	234,96	469,92	7,81

					ЛНТУ.971102.000 ПЗ		Арк.
							37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Ввідні, секційна а також деякі лінійні (4 та 9) комірки додатково до автоматичних вимикачів мають в комплектації рубильник. Попередній вибір апарату проводився в п 2.10.4. Перевірку здійснимо за умовами (А.111)-(А.115) додатку А.14 в табличній формі, таблиця 2.33.

Таблиця 2.33 - Перевірка попередньо вибраних рубильників

<i>Розраховані дані</i>	<i>Дані по каталогу</i>
НА466 4р, 2500А (ввідна та секційна комірки)	
$U_{уст}=0,4 \text{ кВ}$	$U_{ном}=0,4 \text{ кВ}$
$I_{ном}=1026,16 \text{ А}$ $I_{max}=2052,33 \text{ А}$	$I_{ном}=2500 \text{ А}$
$i_y=16,47 \text{ кА}$	$I_{дин}=100 \text{ кА}$
$B_k=67,8 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_T^2 \cdot t_T=900 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$
НА458 4р, 630А (розподільчі 4 та 9 комірки)	
$U_{уст}=0,4 \text{ кВ}$	$U_{ном}=0,4 \text{ кВ}$
$I_{max}=469,92 \text{ А}$	$I_{ном}=630 \text{ А}$
$i_y=8,33 \text{ кА}$	$i_{дин}=40 \text{ кА}$
$B_k=16,88 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_T^2 \cdot t_T=389 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Перевірки виконують, отже приймаємо до встановлення вибране обладнання.

2.15. Проектування освітлювальної мережі

Для проектування мережі освітлення цеху по ремонту силових трансформаторів скористаємось методикою наведеною в додатку А.13.

					ЛНТУ.971102.000 ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Світильники будемо розташовувати рівномірно, з однаковими відстанями між ними, вздовж цеху. Висота стелі 8 м, висота підвісу світильників 0,8 м.

Проводимо розрахунок за формулами (А.116)-(А.127), отримані в ході розрахунку дані зводимо в таблицю 2.34.

Таблиця 2.34 – Розраховані дані проектування освітлення цеху

Параметр		Значення
Площа цеху		3240
Коефіцієнт світильника		1,4
Висота приміщення, м		8
Висота поверхні з нормованою освітленістю, м		0,9
Розрахункова висота приміщення, м		6,3
Нормативна освітленість, Лк		300
співвідношення мінімальної та номінальної освітленості		1,1
Коефіцієнт запасу		1,44
Відстань між рядами, м		8,82
Відстань між світильниками, м		
Кількість світильників в ряді. шт		7
Кількість рядів, шт		6
Кількість світильників, шт		42
Відстані до обмежуючих поверхонь, м	l _a	3,54
	l _b	4,95
Індекс приміщення		4,5
Коефіцієнт використання св.потoku		0,85
Розрахунковий світловий потік, Лм		43127,39
Номінальний світловий потік світильника, Лм		43900
Відхилення світлового потоку, %		-1,8

В ході розрухунку попередньо був вибраний світильник типу ДСП56У2Ех-4х80-321 У2 українського виробництва, виробника ТОВ «ОСП Корпорація Ватра» [24]. Перевірка на відхилення світлового потоку виконалась, отже остаточно приймаємо до встановлення вибраний світильник. Технічні дані наведені в таблиці 2.35.

Таблиця 2.35 – Паспортні дані світильника ДСП56У2Ех-4х80-321 У2

<i>Напруга живлення, В</i>	220
<i>Тип ламп</i>	LED
<i>Потужність, Вт</i>	320
<i>Світловий потік, Лм</i>	43900
<i>Тип кривої сили світла</i>	Д (косинусна)
<i>Колірна температура, К</i>	3800...4200
<i>Ступінь захисту</i>	IP65

Для живлення та управління освітленням приймаємо до встановлення шафу типу ЩО-А-В-12 на 12 модулів [18]. На кожен ряд передбачаємо автоматичні вимикачі. Вибір вимикачів [19], попередньо визначивши робочі струми за формулою (А.123) відобразимо в таблиці 2.36.

Таблиця 2.36 – Автоматичні вимикачі для захисту мережі освітлення

<i>Ділянка захисту</i>	<i>Робочий струм, А</i>	<i>Тип вимикача</i>	<i>Номінальний струм</i>	<i>Струм витоку, мА</i>
Ряд освітлення	10,18	Schneider Electric Easy9 1P+N C16A	16	30
Мережа освітлення	20,42	Schneider Electric Acti9 3P C25A	25	-

В якості провідника для живлення ламп освітлення виберемо кабель ВВГ 3×1,5 з тривало-допустимим струмом 21 А, для живлення щита освітлення - ВВГ 5×4 з струмом до 37 А.

					ЛНТУ.971102.000 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3

ПРОЕКТУВАННЯ МЕХАНІЗМУ ПІДЙОМУ МОСТОВОГО КРАНУ

Серед ЕП цеху по ремонту силових трансформаторів найпотужнішим приймачем є мостовий кран.

Обрахуємо механізм підйому крану та виберемо комплектуючі. Вихідні дані для проектування відобразимо в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Вихідні дані для розрахунку механізму підйому мостового крану

Параметр		Значення
Вантажопідйомність крану m , т		5
Маса вантажозахватного пристрою m_0 , т		0,65
Режим роботи		Середній
Швидкість руху v , $\frac{m}{c}$		0,16
ККД механізму h		0,75
Висота підйому H , м		10
Встановлена потужність, кВт	механізму пересування моста	4
	механізму пересування візка	1,5

Методика розрахунку відображена в додатку Р цього проекту.

3.1. Вибір підйомного канату

Проводимо обрахунки за формулами (Б.1)-(Б.4), отримані дані зводимо в таблицю 3.2.

					ЛНТУ.971102.000 ПЗ							
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата								
Розроб.		Скиба Н.І.			Проектування системи електропостачання заводу з виробництва електротехнічного обладнання встановленою потужністю 2000 кВт Пояснювальна записка				Літ.		Арк.	Аркушів
Перевір.		Ващелюк Ю.І.									41	7
									ФАБЕ, гр. ЕЕЗ-41			
Н. Контр.		Ващелюк Ю.І.										
Затверд.		Волинець В.І.										

Таблиця 3.2 – Вибір підйомного канату

Параметр	Значення
Кількість поліспастів, шт	2
Кратність поліспасту, шт	2
ККД блоку	0,98
ККД поліспасту	0,99
Зусилля в канаті, Н	13996,59
Коефіцієнт міцності	5,5
Розривне зусилля, Н	76981,25
Діаметр, мм	12
Розривне зусилля канату, Н	85750
Фактичний коефіцієнт запасу міцності	6,1

В ході розрахунку був вибраний канат типу ЛК-Р 6×19. Перевірка показала придатність до застосування.

3.2. Вибір барабану

Проводимо обрахунки за формулами (Б.5)-(Б.11), отримані дані зводимо в таблицю 3.3.

Таблиця 3.3 – Вибір барабану підйомного механізму

Параметр	Значення
<i>I</i>	<i>I</i>
Коефіцієнт ϵ	25
Допустимий діаметр барабану, мм	300,0
Діаметр вибраного барабану, мм	300
Тип підвіски	I
Вантажопідйомність підвіски, т	5
Діаметр блоків підвіски, мм	320
Відстань між блоками, мм	200
Довжина канату, м	24,71
Крок витка, мм	13,5
Робоча довжина барабану, м	0,34
Повна довжина барабану, м	0,88

					ЛНТУ.971102.000 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Продовження до таблиці 3.3

1	2
Фактичний діаметр барабану, мм	288
Мінімальна товщина стінки, м	0,012
Фактична товщина стінки, мм	13,76
Допустимі напруження стискання, МПа	130
Фактичне напруження стискання, МПа	75,35

Отже, перевірка на напруження стискання виконується, барабан вибрано вірно.

3.3. Вибір двигуна

Проводимо обрахунки за формулами (Б.12)-(Б.16), отримані дані зводимо в таблицю 3.4.

Таблиця 3.4 – Вибір двигуна для механізму підйому

Параметр	Значення
Статична потужність, кВт	11,82
Тип двигуна	MTF 311-6
Потужність двигуна, кВт	13
Частота обертання, об/хв	935
Момент інерції, кг·м ²	0,225
Максимальний момент, Н·м	320
Максимальна кратність пускового моменту	2,9
Мінімальна кратність пускового моменту	1,3
Частота обертів барабану, об/хв	20,38
Передаточне число приводу	45,87
Номинальний момент двигуна, Н·м	132,78
Середній пусковий момент, Н·м	278,84

3.4. Вибір редуктора

Проводимо обрахунки за формулою (Б.17), здійснюємо вибір редуктора, отримані дані зводимо в таблицю 3.5.

Таблиця 3.5 – Вибір редуктора для механізму підйому

Параметр	Значення
Коефіцієнт редуктора	1
Розрахункова потужність редуктора, кВт	11,8
Тип редуктора	Ц2-350
Потужність редуктора, кВт	14,2
Передаточне число редуктора	50,94

3.5. Вибір муфти

Проводимо обрахунки по формулах (Б.18)-(Б.22), здійснюємо вибір муфти, отримані дані зводимо в таблицю 3.6.

Таблиця 3.6 – Вибір муфти для механізму підйому

Параметр	Значення
Момент статичного опору, Н·м	187,07
Номінальний момент муфти, Н·м	187,07
Коефіцієнт k_1	1,3
Коефіцієнт k_2	1,2
Розрахунковий момент муфти, Н·м	291,84
Діаметр гальмівного шківа, мм	170
Момент муфти, Н·м	500
Момент інерції, кг·м ²	0,381
Сумарний момент інерції, кг·м ²	0,606

3.6. Перевірка за фактичними значеннями швидкості, часу пуску та прискорення

Проводимо обрахунки по формулах (Б.23)-(Б.33), дані зводимо в таблицю 3.7.

Таблиця 3.7 – Перевірка двигуна

Параметр	Значення
Фактична частота барабану, об/хв	18,35
Фактична швидкість підйому, м/с	0,144
Найбільша стандартна швидкість, м/с	0,16
Відхилення швидкості, %	9,95
Допустиме відхилення, %	10
Коефіцієнт приводу	1,2
Фактичний час пуску, с	0,8
Допустимий час пуску, с	4
Фактичне прискорення при пуску, м/с ²	0,18
Допустиме прискорення, м/с ²	0,1

Отже, перевірки умови виконуються.

Виходячи з усереднених графіків, що складені на базі досвіду експлуатації двигунів здійснимо перевірку за нагріванням. Відобразимо в таблиці 3.8.

Таблиця 3.8 – Перевірка двигуна за нагрівом по усередненими графіками використання

Назва показника	Позначення	Значення			
1	2	3			
Дані за графіком		1	5	1	3
Маса, кг	m	5650	2825	1130	282,5
ККД	η	0,75	0,70	0,54	0,30
Сила натягу барабану при підйомі, Н	F _б	13996,6	6998,30	2799,32	699,83
Момент статичних опорів при підйомі, Н·м	M _с	187,07	93,54	37,41	9,35
Час пуску при підйомі, с	t _{пуск}	0,80	0,39	0,30	0,27

Продовження до таблиці 3.8

<i>I</i>	<i>2</i>	<i>3</i>			
Сила натягу барабану при опусканні, Н	F_6	13718,1	6859,03	2743,61	685,90
Момент статичних опорів при опусканні, Н·м	M_c	133,89	66,95	26,78	6,69
Час пуску при опусканні, с	$t_{\text{пуск}}$	0,18	0,21	0,23	0,25

Таблиця 3.9 – Визначення параметрів роботи

<i>Параметр</i>	<i>Значення</i>
Середня висота підйому, м	8
Час руху з встановленою швидкістю, с	55,52
Сумарний час пуску за цикл, с	6,05
Час циклу, с	1116,5
Середньоквадратичний момент двигуна, Н·м	80,42
Середньоквадратична потужність двигуна, кВт	7,87
Потужність двигуна, кВт	13

Перевірка виконується.

3.7. Вибір гальмівних пристроїв

Проводимо обрахунки по формулах (Б.23)-(Б.33), вибираємо гальмівні пристрої, дані зводимо в таблицю 3.10.

Таблиця 3.10 – Вибір гальмівних пристроїв

<i>Параметр</i>	<i>Значення</i>
<i>I</i>	<i>2</i>
Сповільнення при гальмуванні, Н·м	127,80
Коефіцієнт запасу гальмування	1,75
Гальмо	ТКГ-200
Діаметр гальмівного шківa, мм	200
Необхідний гальмувальний момент, Н·м	223,65
Час гальмування при опусканні, с	0,75

Продовження до таблиці 3.10

<i>1</i>	<i>2</i>
Шлях гальмування, м	0,085
Максимальний час гальмування, с	1,18
Мінімальний необхідний час гальмування, с	0,75
Сповільнення при гальмуванні, м/с ²	0,19
Максимальне допустиме сповільнення при гальмуванні, м/с ²	0,6

Перевірки виконуються, отже гальмівний пристрій вибраний вірно.

3.8. Електропостачання підйомного механізму

За методикою додатку Б.8 розрахуємо та здійснимо вибір перерізу тролейів. Отримані дані зведемо в таблицю 3.11.

Таблиця 3.11 – Вибір перерізу тролейів

Розрахунковий струм двигуна підйому	$I_{р.п}, A$	24,1
Розрахунковий струм двигуна пересування візка	$I_{р.п.в}, A$	7,8
Розрахунковий струм двигуна пересування моста	$I_{р.п.м}, A$	3,26
<i>Головні тролейі</i>		
Піковий струм	$I_{пик}, A$	137,94
Розрахунковий коефіцієнт	K	0,83
Переріз тролейів	-	50×50×8
<i>Допоміжні тролейі</i>		
Піковий струм	$I_{пик}, A$	83,73
Розрахунковий коефіцієнт	K	0,5
Переріз тролейів	-	75×75×8

РОЗДІЛ 4

САПР

В поданому кваліфікаційному проєкті застосування САПР відбувалось на базі комп'ютерного програмного продукту MS Exel 2019 корпорації Microsoft. За допомогою даного ПЗ було здійснено розрахунок КЛ від РП ТП до РП цехів, вибір обладнання панелей ЩО-90, проєктування системи електропостачання цеху по ремонту трансформаторів. Хід розрахунок відображено в рисунках 4.1-4.3.

Розрахунок ліній 0,4 кВ																	
Назва КЛ	n	S _л , нВА	I _{лр} , А	F _{лр} , мм ²	кабелю	l, км	I _{доп} , А	I _{доп} , А	I _{доп} , А	I _{доп} , А	G _л , Ом/км	X _л , Ом/км	ΔU _л , %	sin φ	cos φ	Марка кабеля	Квал.каб.
ТП-РП1.1(1.2)	2	165,83	119,68	85,48	4x120	0,1093	200	206,08	239,35	280	0,261	0,06	1,37	0,63	0,78	АВВБШе-0,4	0,58
ТП-РП2.1(2.2)	2	196,19	141,59	101,13	4x150	0,0547	230	236,992	283,17	322	0,208	0,06	0,69	0,55	0,83	АВВБШе-0,4	0,60
ТП-РП3.1(3.2)	2	183,05	132,11	94,36	4x120	0,0655	200	206,08	264,21	280	0,261	0,06	0,96	0,51	0,86	АВВБШе-0,4	0,64
ТП-РП4.1(4.2)	2	106,87	77,13	55,09	4x70	0,0143	140	144,256	154,25	196	0,447	0,061	0,18	0,65	0,76	АВВБШе-0,4	0,53
ТП-РП5.1(5.2)	2	88,84	64,11	45,80	4x50	0,0625	110	113,344	128,23	154	0,625	0,063	0,91	0,63	0,78	АВВБШе-0,4	0,57
ТП-РП6.1(6.2)	2	325,57	234,96	167,83	4x240	0,0555	401	413,1904	469,92	561,4	0,13	0,059	0,79	0,58	0,82	АВВБШе-0,4	0,57
ТП-РП7.1(7.2)	2	104,51	75,42	53,87	4x70	0,01	140	144,256	150,85	196	0,447	0,061	0,12	0,69	0,72	АВВБШе-0,4	0,52
ТП-РП8	1	118,86	302,43	216,02	4x240	0,097	401	449,12			0,13	0,059	1,80	0,52	0,85	АВВБШе-0,4	0,67
РП8-РП9	1	127,18	183,57	131,12	4x150	0,0575	230	257,6			0,208	0,06	0,93	0,58	0,81	АВВБШе-0,4	0,71

Розрахунок опорів кабельних ліній мережі 0,4 кВ										Джерело: https://a	
Назва кабельної лінії	l, км	G _л , Ом/км	R _л , МОМ	M	X _л , Ом/км	К ср (коэф.що врах.відміну темп.середов.					1,12
ТП-РП1.1	0,1093	0,261	28,5273	0,06	6,558	К зн (коэф.що врах.число кабелів поруч)					0,92
ТП-РП1.2	0,1093	0,261	28,5273	0,06	6,558	j=					1,4
ТП-РП2.1	0,0547	0,208	11,3776	0,06	3,282						
ТП-РП2.2	0,0547	0,208	11,3776	0,06	3,282						
ТП-РП3.1	0,0655	0,261	17,0955	0,06	3,93						
ТП-РП3.2	0,0655	0,261	17,0955	0,06	3,93						
ТП-РП4.1	0,0143	0,447	6,3921	0,061	0,8723						
ТП-РП4.2	0,0143	0,447	6,3921	0,061	0,8723						
ТП-РП5.1	0,0625	0,625	39,0625	0,063	3,9375						
ТП-РП5.2	0,0625	0,625	39,0625	0,063	3,9375						
ТП-РП6.1	0,0555	0,130	7,215	0,059	3,2745						
ТП-РП6.2	0,0555	0,130	7,215	0,059	3,2745						
ТП-РП7.1	0,01	0,447	4,47	0,061	0,61						
ТП-РП7.2	0,01	0,447	4,47	0,061	0,61						
ТП-РП8	0,097	0,130	12,61	0,059	5,723						
РП8-РП9	0,0575	0,208	11,96	0,06	3,45						

Рисунок 4.1 – Розрахунок та вибір живлячих мереж розподільчих пунктів

					ЛНТУ.971102.000 ПЗ				
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					
Розроб.	Скиба Н.І.				Проектування системи електропостачання заводу з виробництва електротехнічного обладнання встановленою потужністю 2000 кВт Пояснювальна записка		Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.	Ващелюк Ю.І.							48	2
Н. Контр.	Ващелюк Ю.І.						ФАБЕ, гр. ЕЕЗ-41		
Затверд.	Волинець В.І.								

Вибір обладнання на напругу 0,4 кВ; Вибір автоматичних вимикачів												
Назва об'єкта	Іном, А	Іmax, А	Іп.о, кА	Тип вимикача	Іном.а.в, А	Іном.розч, А	Ігр.вимкн, кА	Тип панелі	Тип рубильн	Іном.руб	рубильника,	
Ввідна комірka	1026,16	2052,33	11,38	Schneider Electric ComPacT NS2500	2500	2500	70	ЩО90-1109А	РЕ19-45-31	2500	100	Комірka 5(8)
Секційна комірka	1026,16	2052,33	11,38	Schneider Electric ComPacT NS2500	2500	2500	70	ЩО90-1310 УЗ	РЕ19-45-31	2500	100	Комірka 6,7
РП1.1	119,68	239,35	4,26	Schneider Electric ComPacT NSX250	250	250	25	ЩО90-1413 УЗ				Комірka 1; Секція шин 1
РП1.2	119,68	239,35	4,26	Schneider Electric ComPacT NSX250	250	250	25	ЩО90-1413 УЗ				Комірka 12; Секція шин 2
РП2.1	141,59	283,17	6,24	Schneider Electric ComPacT NSX400	400	400	36	ЩО90-1413 УЗ				Комірka 2; Секція шин 1
РП2.2	141,59	283,17	6,24	Schneider Electric ComPacT NSX400	400	400	36	ЩО90-1413 УЗ				Комірka 11; Секція шин 2
РП3.1	132,11	264,21	5,43	Schneider Electric ComPacT NSX400	400	400	36	ЩО90-1413 УЗ				Комірka 11; Секція шин 2
РП3.2	132,11	264,21	5,43	Schneider Electric ComPacT NSX400	400	400	36	ЩО90-1413 УЗ				Комірka 11; Секція шин 2
РП4.1	77,13	154,25	7,34	Schneider Electric ComPacT NSX250	250	250	25	ЩО90-1413 УЗ				Комірka 1; Секція шин 1
РП4.2	77,13	154,25	7,34	Schneider Electric ComPacT NSX250	250	250	25	ЩО90-1413 УЗ				Комірka 12; Секція шин 2
РП5.1	64,11	128,23	3,63	Schneider Electric ComPacT NSX160	160	160	25	ЩО90-1412 УЗ				Комірka 3; Секція шин 1
РП5.2	64,11	128,23	3,63	Schneider Electric ComPacT NSX160	160	160	25	ЩО90-1412 УЗ				Комірka 10; Секція шин 2
РП6.1	234,96	469,92	6,96	Schneider Electric ComPacT NSX630	630	630	36	ЩО90-1427 УЗ	РБ-630	630	51	Комірka 4; Секція шин 1
РП6.2	234,96	469,92	6,96	Schneider Electric ComPacT NSX630	630	630	36	ЩО90-1427 УЗ	РБ-630	630	51	Комірka 9; Секція шин 2
РП7.1	75,42	150,85	7,81	Schneider Electric ComPacT NSX160	160	160	25	ЩО90-1412 УЗ				Комірka 3; Секція шин 1
РП7.2	75,42	150,85	7,81	Schneider Electric ComPacT NSX160	160	160	25	ЩО90-1412 УЗ				Комірka 10; Секція шин 2
РП8	302,43		5,91	Schneider Electric ComPacT NSX400	400	400	36	ЩО90-1413 УЗ				Комірka 2; Секція шин 1
РП9	183,57		4,12	Schneider Electric ComPacT NSX250	250	250	25					

Рисунок 4.2 – Вибір автоматичних вимикачів

Проектування цехового електропостачання											
Назва приймачів	P _{ном} , кВт	n	cos φ	I _p , А	F _p , мм2	I _{тр.доп} , А	Марка проводу	sin φ	Тип апарату		
Вертикально-	5	5	0,95	7,60	2,5	28	ВВГ 4х2,5	0,31	ВА 2004Н/63-10А		
Токарно-	7,75	6	0,95	11,77	2,5	28	ВВГ 4х2,5	0,31	ВА 2004Н/63-16А		
Станок для наведення	3	2	0,74	5,85	2,5	28	ВВГ 4х2,5	0,67	ВА 2004Н/63-10А		
Сушильна шафа	20	2	1	28,87	4	37	ВВГ 4х4	0,00	ВА 2004Н/63-32А		
Ванна для просочення	2,5	1	0,74	4,88	2,5	28	ВВГ 4х2,5	0,67	ВА 2004Н/63-10А		
Земляна машина	5	1	0,87	8,30	2,5	28	ВВГ 4х2,5	0,49	ВА 2004Н/63-10А		
Комбіновані	4,5	1	0,85	7,64	2,5	28	ВВГ 4х2,5	0,53	ВА 2004Н/63-10А		
Листогиральна	5	1	0,78	9,25	2,5	28	ВВГ 4х2,5	0,63	ВА 2004Н/63-16А		
Заточувальний верстат	3,5	2	0,95	5,32	2,5	28	ВВГ 4х2,5	0,31	ВА 2004Н/63-10А		
Прес	8,5	3	0,82	14,96	2,5	28	ВВГ 4х2,5	0,57	ВА 2004Н/63-20А		
Станок для ізоляції	5	2	0,82	8,80	2,5	28	ВВГ 4х2,5	0,57	ВА 2004Н/63-10А		
Витяжна шафа	3	1	0,82	5,28	2,5	28	ВВГ 4х2,5	0,57	ВА 2004Н/63-10А		
Верстат для стикового	3	1	0,88	4,92	2,5	28	ВВГ 4х2,5	0,47	ВА 2004Н/63-10А		
Зварювальний	13	2	0,8	23,45	4	37	ВВГ 4х4	0,60	ВА 2004Н/63-25А		
Трансформатор для	15	1	0,85	25,47	4	37	ВВГ 4х4	0,53	ВА 2004Н/63-32А		
Поперечно-	3	1	0,85	5,09	2,5	28	ВВГ 4х2,5	0,53	ВА 2004Н/63-10А		
Мостовий кран ПВ-25	18,5	1	0,82	32,56	6	49	ВВГ 4х6	0,57	ВА 2004Н/63-40А		
Вентилятор	4,5	1	0,85	7,64	2,5	28	ВВГ 4х2,5	0,53	ВА 2004Н/63-10А		

Назва приймачів	n	cos φ	Г _р , Ом/км	Х _р , Ом/км	І, км	ΔU, %	Марка проводу
Вертикально-	5	0,95	12,5	0,104	0,083	1,08	4х2,5
Токарно-	6	0,95	12,5	0,104	0,057	1,16	4х2,5
Станок для наведення	2	0,74	12,5	0,104	0,074	1,59	4х2,5
Сушильна шафа	2	1	7,81	0,095	0,1	0,12	ВВГ 4х4
Ванна для просочення	1	0,74	12,5	0,104	0,097	1,74	4х2,5
Земляна машина	1	0,87	12,5	0,104	0,068	1,53	4х2,5
Комбіновані пресножиці	1	0,85	12,5	0,104	0,042	0,93	4х2,5
Листогиральна машина	1	0,78	12,5	0,104	0,078	2,41	4х2,5
Заточувальний верстат	2	0,95	12,5	0,104	0,067	0,62	4х2,5
Прес	3	0,82	12,5	0,104	0,052	2,44	4х2,5
Станок для ізоляції	2	0,82	12,5	0,104	0,112	3,09	4х2,5
Витяжна шафа	1	0,82	12,5	0,104	0,106	1,75	4х2,5
Верстат для стикового	1	0,88	12,5	0,104	0,115	1,48	4х2,5
Зварювальний	2	0,8	7,81	0,095	0,047	2,27	ВВГ 4х4
Трансформатор для	1	0,85	7,81	0,095	0,068	3,15	ВВГ 4х4
Поперечно-стругальний	1	0,85	12,5	0,104	0,053	0,78	4х2,5
Мостовий кран ПВ-25	1	0,82	5,21	0,09	0,115	4,96	ВВГ 4х6
Вентилятор	1	0,85	12,5	0,104	0,113	2,50	4х2,5

Рисунок 4.3 – Розрахунок та вибір мереж живлення приймачів цеху

РОЗДІЛ 5

ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА

Для запобігання електротравматизму робочого персоналу, при появі потенціалу на неструмоведучих частинах передбачаємо виконання стаціонарного заземлення. За методикою додатку В проведемо розрахунок заземлення для цеху по ремонту трансформаторів. Отримані дані відобразимо в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Розрахунок системи заземлення цеху по ремонту силових трансформаторів

Параметр		Значення
Опір ґрунту	горизонтального заземлювача, Ом·м	200
	вертикального заземлювача, Ом·м	120
Опір одиничного вертикального заземлювача, Ом		47,76
Довжина стержня, м		2,5
Діаметр стержня, мм		11
Глибина закладання, м		1,95
Кількість вертикальних заземлювачів, шт		12
Відношення відстані між електродами до їх довжини		1
Необхідна кількість заземлювачів, шт		21
Коефіцієнт використання вертикального заземлювача		0,58
Коефіцієнт використання горизонтального заземлювача		0,38
Фактична кількість вертикальних заземлювачів, шт		21
Довжина з'єднувальної стрічки горизонтального заземлювача, м		52,5
Опір горизонтального заземлювача, Ом		7,4
Необхідний опір вертикального заземлювача, Ом		2,60
Опір штучного заземлення, Ом		3,88
Допустимий опір штучного заземлення, Ом		10

Оскільки розрахований опір заземлення нижчий за максимальний допустимий проектування штучного заземлення виконано вірно.

Схема виконання заземлення наведена на рисунку 5.1.

					ЛНТУ.971102.000 ПЗ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.	Скиба Н.І.				Проектування системи електропостачання заводу з виробництва електротехнічного обладнання встановленою потужністю 2000 кВт Пояснювальна записка	Літ.	Арк.
Перевір.	Ващелюк Ю.І.						Аркушів
Н. Контр.	Ващелюк Ю.І.					ФАБЕ, гр. ЕЕЗ–41	
Затверд.	Волинець В.І.						
						50	2

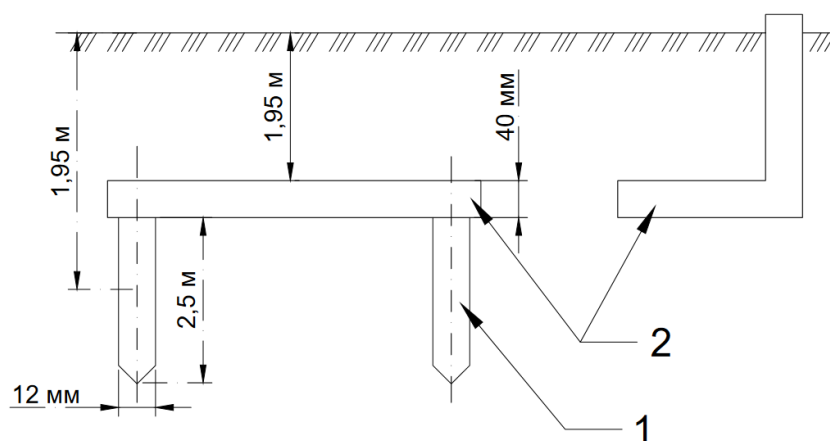


Рисунок 5.1 – Схема виконання заземлення:

1 – заземлювач; 2 – з'єднувальна стрічка

					ЛНТУ.971102.000 ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

У кваліфікаційному проєкті розроблено систему електропостачання заводу з виробництва електротехнічного обладнання встановленою потужністю 2000 кВт. На основі проведених техніко-економічних розрахунків та інженерного аналізу отримано такі результати:

– **Визначено електричні навантаження:** проведено розрахунок активних та реактивних навантажень за методом коефіцієнта максимуму. Встановлено, що розрахункова потужність об'єкта дозволяє класифікувати його як середнього споживача, що потребує живлення на напрузі 6(10) кВ.

– **Обґрунтовано схему живлення:** згідно з вимогами щодо надійності (І та ІІ категорія), прийнято схему електропостачання від двох незалежних джерел. Це забезпечує безперебійність роботи виробничих ліній при виході з ладу одного з вводів.

– **Вибрано трансформаторні підстанції:** на основі повної розрахункової потужності вибрано трансформаторну підстанцію (ТП) з трансформаторами типу ТМ потужністю 1000 кВА кожен. Такий вибір забезпечує роботу заводу в нормальному режимі та резервування 100% критичного навантаження в аварійному режимі.

– **Оптимізовано енергоспоживання:** розраховано та вибрано установки компенсації реактивної потужності (УКРП), що дозволило підвищити коефіцієнт потужності до нормативного значення (0,95–0,98) і знизити втрати в мережі.

– **Вибрано апаратуру захисту:** Підібрано перерізи кабельних ліній за умовою нагріву та перевірено їх на втрату напруги і термічну стійкість до струмів КЗ. Вибрано сучасні автоматичні вимикачі та комутаційно-захисне обладнання на напругу 10 кВ.

Розроблено заходи з електробезпеки, розраховано контур заземлення цеху.

					ЛНТУ.971102.000 ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Електропостачання промислових об'єктів. Практикум: навчальний посібник / Л. В. Давиденко, Н. В. Коменда, В. А. Давиденко, М.М. Євсюк. Луцьк: ІВВ Луцького НТУ, 2016. 243с.
2. Правила улаштування електроустановок. Видання офіційне. Міненерговугілля України. Харків: видавництво «Форт», 2017. 760 с.
3. ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення. Видання офіційне. Київ: Мінрегіон України, 2018. 133 с.
4. Основи електропостачання : метод. вказівки до викон. курсового проекту для студ. спец. 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» денної та заоч. форм навч. / уклад.: Н.В. Коменда, Т.І. Коменда. Луцьк : Луцький НТУ, 2018. 94 с.
5. Основи електропостачання : метод. вказівки до практичних занять для студ. спец. 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» денної та заоч. форм навч. / уклад. Н.В. Коменда. – Луцьк : Луцький НТУ, 2016. 28 с.
6. Про затвердження Методики обрахування плати за спільне використання технологічних електричних мереж : Постанова Нац. коміс. регулювання електроенергетики України від 12.06.2008 р. № 691 : станом на 21 жовт. 2022 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0732-08#Text> (дата звернення: 03.04.2026).
7. Шестеренко В.Є., Шестеренко О.В. Електропостачання промислових підприємств: посібник до курсового та дипломного проектування. Київ, 2013. 424с.
8. Електричні системи та мережі: методичні вказівки до практичних занять для здобувачів першого (бакалаврського) рівня освіти освітньої програми «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» галузі знань 14 Електрична інженерія спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та

					ЛНТУ.971102.000 ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

електромеханіка денної та заоч. форм навч. / уклад. І.В. Грицюк. Луцьк: ЛНТУ, 2022. 64 с.

9. Методичні вказівки до виконання практичних занять з курсу «Проектування промислового освітлення» для студентів спеціальності 8.05070105 «Світлотехніка і джерела світла» / Укл. Костик Л.М., ТНТУ, 2015. 30 с.

10. Грицюк І.В., Грицюк Ю.В., Добровольська Л.Н. Загальнопромислові електроприймачі: навчальний посібник для студентів за напрямком навчання 6.050701 «Електротехніка та електротехнології» усіх форм навчання. Луцьк: ЛНТУ, 2014. 240 с.

11. ПАТ «Завод «МГТ». Продукція/ ТМ-1000. Офіційний сайт ПАТ "Завод "МГТ". URL: <https://www.mgt.com.ua/produksiya/tm-1000> (дата звернення: 02.04.2026).

12. ТОВ «Платинум електрик». Продукція. Офіційний сайт ТОВ «Платинум електрик». Електротехнічна продукція,. URL: <https://ptukr.com> (дата звернення: 03.04.2026).

13. Кабель силовий ААБл-10 | Інтернет-магазин Pro100Kabel. Pro100kabel. URL: <https://pro100kabel.com.ua> (дата звернення: 04.04.2026).

14. Купити кабель АВББШв | ЕНЕРГОАЛЬЯНС. Енергоальянс. URL: <https://energoalliance.com.ua> (дата звернення: 04.04.2026)

15. Пункт розподільний – Енерсіс Україна. Головна – Енерсіс Україна. URL: <https://www.enersys.in.ua/vyrobnytstvo/punkt-rozpodilnyi.html> (дата звернення: 04.04.2026).

16. Камера КСО-399. ПО "УКРСПЕЦКОМПЛЕКТ", м. Харків. URL: http://usk.ua/kompl_raspr_ustr_kame_12.html (дата звернення: 04.04.2026).

17. Альфа-Генерація: виробництво и постачання електротехнічного обладнання. URL: <https://alphageneration.com.ua/uk> (дата звернення: 05.04.2026).

18. Інтернет-магазин "Електроконтроль". URL: <https://electrocontrol.com.ua> (дата звернення: 05.04.2026).

					ЛНТУ.971102.000 ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

19. Schneider Electric Global | Global Specialist in Energy Management and Automation. URL: <https://www.se.com/ua/uk/> (дата звернення: 05.04.2026).
20. Hager Ukraine Hager Online Каталог. URL: <https://www.hager.ua/> (дата звернення: 05.04.2026).
21. ТСК Енергобуд. URL: <http://tden.com.ua> (дата звернення: 05.04.2026).
22. Корпорація АСКО-УКРЕМ. URL: <https://www.acko.ua/> (дата звернення: 05.04.2026).
23. Розробка, виробництво приладів обліку ресурсів, систем енергоменеджменту | НІК-ЕЛЕКТРОНІКА. URL: <https://nik-el.com> (дата звернення: 05.04.2026).
24. Світлотехнічне виробниче підприємство ТОВ «ОСП Корпорація ВАТРА». URL: <http://vatra.ua/ukr/> (дата звернення: 06.04.2026)

					ЛНТУ.971102.000 ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		