

Луцьк – 2026 року

ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет	архітектури, будівництва та енергетики
Кафедра	електричної інженерії
Ступінь вищої освіти	бакалавр
Галузь знань	14 Електрична інженерія
Спеціальність:	141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Освітня програма	Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

«__» _____ 202__ р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНИЙ ПРОЄКТ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Микитюку Назару Юрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційного проекту: Електропостачання металообробного підприємства встановленою потужністю 1750 кВт

Керівник проекту: канд. техн. наук, доцент Грицюк Юрій Віталійович

затверджені наказом ВНЗ від « 31 » грудня 2025 р. № 971/01-07

2. Строк подання здобувачем вищої освіти кваліфікаційного проекту 15 травня 2026 р.

3. Вихідні дані до проекту Генеральний план підприємства, план розташування обладнання, відомості про електроприймачі підприємства (номінальні параметри, режими роботи, категорія по надійності електропостачання), класи пожежонебезпечних і вибухонебезпечних зон об'єктів, умови компенсації реактивної потужності, час споживання максимальної потужності, інформація про джерело живлення.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що потрібно розробити):

1. Коротка характеристика об'єкту проектування.

2. Основні проектні рішення.

3. Вибір положення ПБЗ трансформаторів.

4. САПР.

5. Електробезпека.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

1. Генеральний план підприємства.
2. Однолінійна схема електропостачання.
3. План розміщення обладнання.
4. План і розріз трансформаторної підстанції.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис	
		завдання видав	завдання прийняв
1. Коротка характеристика об'єкту проектування	Грицюк Ю.В.		
2. Основні проектні рішення	Грицюк Ю.В.		
3. Вибір положення ПБЗ трансформаторів	Грицюк Ю.В.		
4. САПР	Грицюк Ю.В.		
5. Електробезпека	Грицюк Ю.В.		

7. Дата видачі завдання 3 січня 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційного проекту бакалавра	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1	Коротка характеристика об'єкту проектування	03.02.2026	
2	Основні проектні рішення	03.03.2026	
3	Вибір положення ПБЗ трансформаторів	17.03.2026	
4	САПР	24.03.2026	
5	Електробезпека	07.04.2026	
6	Оформлення пояснювальної записки	21.04.2026	
7	Оформлення графічного матеріалу	10.05.2026	
8	Перевірка на плагіат кваліфікаційного проекту	15.05.2026	

8. Затвердження відповідності графічного матеріалу вимогам нормативних документів

№ з/п	Назва креслення	Підпис	Дата
1	Генеральний план підприємства		
2	Однолінійна схема електропостачання		
3	План розміщення обладнання		
4	План і розріз трансформаторної підстанції		

Здобувач вищої освіти

_____ (підпис)

(Микитюк Н.Ю.)
(прізвище, ініціали)

Керівник

кваліфікаційного проекту

_____ (підпис)

(Грицюк Ю.В.)
(прізвище, ініціали)

АНОТАЦІЯ

Микитюк Н.Ю. Електропостачання металообробного підприємства встановленою потужністю 1750 кВт. Рукопис.

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

Кваліфікаційний проєкт бакалавра складається з п'яти розділів, списку використаних джерел, додатків.

У проєкті розроблено (запропоновано) систему електропостачання промислового підприємства. Проєктування виконане на основі електротехнічних розрахунків: розрахунку силових електричних навантажень з використанням методу впорядкованих діаграм на основі ієрархічного підходу; розрахунку освітлювальних навантажень на основі методу питомої густини освітлювального навантаження; розрахунку техніко-економічних показників прийнятих проєктних рішень на основі методу приведених затрат.

У результаті розрахунків отримали систему електропостачання даного підприємства з високими показниками економічної обґрунтованості.

Прийняті проєктні рішення дозволяють перейти до їх практичної реалізації й впровадження спроектованої системи електропостачання.

Ключові слова: система електропостачання (СЕП), лінія електропередач, електроприймачі, електричні навантаження, струми короткого замикання, компенсація реактивної потужності, електрична апаратура, електробезпека.

ANNOTATION

N. Mykytyuk. Power supply of a metalworking enterprise with an installed capacity of 1750 kW. Manuscript.

Bachelor's qualification project of OP "Electrical power engineering, electrical engineering and electromechanics" specialty 141 Electrical power engineering, electrical engineering and electromechanics. Lutsk National Technical University. Lutsk, 2026.

The bachelor's qualification project consists of five sections, a list of used sources, and appendices.

The project developed (proposed) the power supply system of an industrial enterprise. The design is made on the basis of electrical engineering calculations: calculation of power electrical loads using the method of ordered diagrams based on a hierarchical approach; calculation of lighting loads based on the method of specific density of lighting load; calculation of technical and economic indicators of adopted project decisions based on the method of reduced costs.

As a result of the calculations, we received the electricity supply system of this enterprise with high indicators of economic validity.

Adopted design decisions allow to proceed to their practical implementation and implementation of the designed power supply system.

Key words: power supply system (SEP), power line, power receivers, electrical loads, short-circuit currents, reactive power compensation, electrical equipment, electrical safety.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ПРОЄКТУВАННЯ	9
РОЗДІЛ 2 ОСНОВНІ ПРОЄКТНІ РІШЕННЯ.....	11
2.1. Розрахунок силових електричних навантажень.....	11
2.2. Розрахунок освітлювальних навантажень.....	13
2.3. Визначення результуючих навантажень.....	14
2.4. Побудова картограми навантажень та визначення теоретичного центру навантажень.....	14
2.5. Вибір кількості та потужності трансформаторів ТП з врахуванням компенсації реактивної потужності.....	15
2.6. Компенсація реактивної потужності.....	16
2.7. Визначення електричних навантажень на вищих рівнях.....	17
2.8. Проектування мережі живлення підприємства.....	17
2.9. Проектування внутрішньої розподільної мережі.....	18
2.10. Розрахунок струмів короткого замикання.....	19
2.11. Вибір обладнання.....	21
2.11.1. Вибір комплектних розподільчих пристроїв.....	21
2.11.2. Вибір роз'єднувачів.....	22
2.11.3. Вибір вимикачів навантаження та запобіжників.....	23
2.12. Розрахунок низьковольтної мережі цеху.....	23
2.12.1. Вибір схеми електропостачання.....	23
2.12.2. Розрахунок струмів короткого замикання в мережі 0,4 кВ.....	25
2.12.3. Вибір трансформаторів струму.....	28

					ЛНТУ.971023.000 ПЗ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Електропостачання металообробного підприємства встановленою потужністю 1750 кВт. Пояснювальна записка.		
Розроб.		Микитюк Н.Ю.					
Перевір.		Грицюк Ю.В.					
Н. контр.		Ващелюк Ю.І.					
Затверд.		Волинець В.І.			Літ. Арк. Аркушів 6 62 ФАБЕ, гр.ЕЕ-41		

2.12.4. Вибір автоматичних вимикачів.....	29
2.12.5. Вибір рубильників.....	31
РОЗДІЛ 3 ВИБІР ПОЛОЖЕННЯ ПБЗ ТРАНСФОРМАТОРІВ.....	32
РОЗДІЛ 4 САПР.....	33
РОЗДІЛ 5 ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА	34
ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ.....	35
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	36
ДОДАТОК 1 ОСНОВНІ ПРОЄКТНІ РІШЕННЯ.....	39
ДОДАТОК 2 ВИБІР ПОЛОЖЕННЯ ПБЗ ТРАНСФОРМАТОРІВ.....	60
ДОДАТОК 3 ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА.....	61

ВСТУП

В наш час особливо актуальним є питання безперебійності постачання електроенергії до споживачів, в тому числі й промислових.

Металообробні підприємства характеризуються вагомим вмістом приймачів електричної енергії I та II категорій надійності. До III категорії зазвичай належать приймачі складських та господарських будівель, а також приймачі, встановлені в цехах, але не задіяні у виробничому процесі безпосередньо.

При проектуванні електропостачання таких підприємств слід розглядати можливість резервування їх елементів на будь-якому рівні системи [1 – 3]. Крім того, елементи електричних систем повинні бути вибрані за навантаженнями післяаварійного режиму роботи.

Для надійності та довговічності роботи схеми електропостачання вона повинна бути оснащена апаратами захисту, вибраними з врахуванням струмів аварійних режимів.

Для впливу на параметри якості електричної енергії рекомендовано застосовувати засоби їх регулювання [2, 3], зокрема, пристрої перемикання кількості витків силових трансформаторів. В деяких випадках доцільно встановлювати додаткові засоби впливу на рівень напруги – регульовані батареї конденсаторів.

При виборі елементів електричних мереж промислових підприємств доцільно розглядати кілька варіантів виконання (вибір раціональної напруги живлення, схеми електропостачання, потужностей трансформаторів та конденсаторних батарей, перерізу кабельних ліній) для забезпечення найкращих економічних показників [1].

Застосування автоматизації проектних розрахунків дозволяє уникнути помилок та технічно спростити виконання проекту.

РОЗДІЛ 1

КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ПРОЄКТУВАННЯ

Існує доволі широкий спектр способів обробки металів для створення готових металевих виробів, представлений на схемі 1.1. Більшість із них застосовуються у виробничому процесі проєктованого металообробного підприємства.

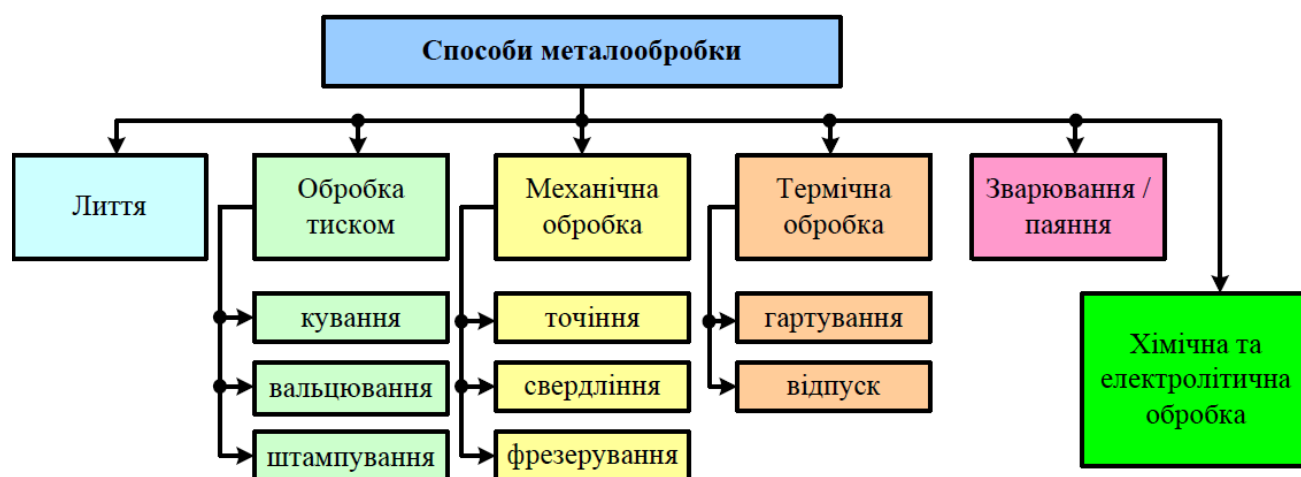


Рисунок 1.1 – Коасифікація способів металообробки

Проеєкування мережі 400/230 В виконуватиметься для металообробного цеху. В даному цеху відбувається механічна обробка деталей різанням, основні способи якої наведено на схемі 1.2.

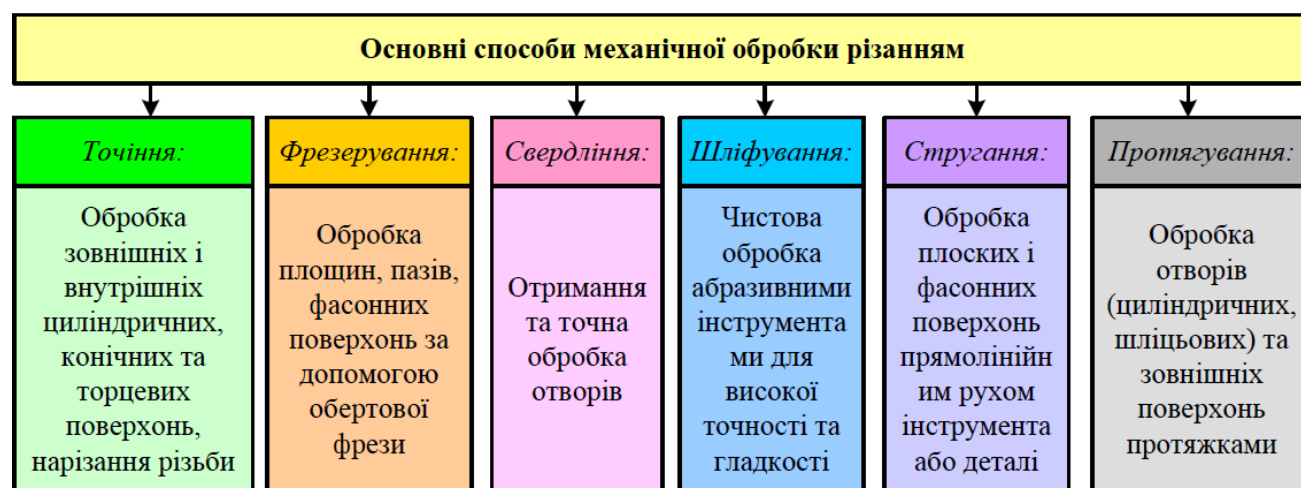


Рисунок 1.2 – Основні способи механічної обробки

					ЛНТУ.971023.000 ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Микитюк Н.Ю.			Електропостачання металообробного підприємства встановленою потужністю 1750 кВт. Пояснювальна записка.	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Грицюк Ю.В.					9	2
Н. контр.		Ващелюк Ю.І.				ФАБЕ, гр.ЕЕ-41		
Затверд.		Волинець В.І.						

Структуру металообробного підприємства та характеристики його об'єктів представлено в таблиці 1.1; загальні характеристики електричної системи заводу – в таблиці 1.2.

Таблиця 1.1 – Характеристики цехів заводу

Назва об'єкту	Розміри будівлі			Встановлена потужність, кВт
	Довжина, м	Ширина, м	Площа будівлі, м ²	
1. Збірно-зварювальний цех	60	48	2880	320
2. Цех рамних і ґратчастих конструкцій	84	36	3024	325
3. Цех конструкцій з листової сталі	60	36	2160	315
4. Металообробний цех	60	30	1800	290
5. Цех фарбування та корозійного захисту	24	36	864	255
6. Насосна станція	18	24	432	185
7. Складські приміщення	60	36	2160	60
Разом			11160	1750

Таблиця 1.2 – Вихідні дані

Назва параметру	Одиниці вимірювання	Значення
Кількість змін	–	3
Тривалість роботи електрообладнання в рік τ	год.	5995
Час використання максимального навантаження T_{max}	год.	3050
Джерело живлення	–	РП-10 кВ
Відстань до джерела l	км	4,3
Потужність короткого замикання на шинах джерела живлення $S_{\text{кз}}$	МВА	77
Вхідна реактивна потужність $Q_{\text{е max}}$	кВАр	289
Загальна територія підприємства	м ²	32544
Категорія надійності споживачів:		
І (пристрої пожежної сигналізації, евакуаційне освітлення)	%	0,5
II (приймачі основних виробничих цехів)	%	71,2
III (приймачі складських приміщень, приймачі, що виконують допоміжні функції)	%	28,3

РОЗДІЛ 2

ОСНОВНІ ПРОЄКТНІ РІШЕННЯ

2.1. Розрахунок силових електричних навантажень

Згідно з [1, 3] розрахунок силових навантажень на рівні розподільних щитів металообробного цеху виконаний в таблиці 2.2; на рівні ввідно-розподільних пристроїв кожного цеху та на шинах 400 В трансформаторної підстанції – в таблиці 2.1. Застосовано метод впорядкованих діаграм [1].

В таблиці 2.1 розраховано окремо середні навантаження з врахуванням коефіцієнтів використання для вибору силових трансформаторів підстанції та розрахункові навантаження з врахуванням коефіцієнтів максимуму для вибору перерізів кабелів та розподільних пристроїв.

Таблиця 2.1 – Розрахунок навантажень силових приймачів підприємства

Номер цеху	P_H , кВт	Середні навантаження за найбільш завантажену зміну			Розрахункові навантаження		
		$P_{ср.зм}$, кВт	$Q_{ср.зм}$, кВАр	$S_{ср.зм}$, кВА	P_p , кВт	Q_p , кВАр	S_p , кВА
1	320	163,20	161,57	229,65	204,00	177,72	270,56
2	325	169,00	170,69	240,20	219,70	187,76	289,00
3	315	163,80	196,56	255,86	229,32	216,22	315,18
4	290	55,00	64,21	84,54	102,41	70,34	124,23
4.1	84	13,60	17,33	22,03	27,75	18,97	33,61
4.2	64	11,30	14,22	18,16	24,30	15,54	28,84
4.3	60	9,60	11,95	15,33	23,71	13,05	27,07
4.4	82	20,50	20,71	29,14	26,65	22,78	35,06
5	255	127,50	126,23	179,41	184,88	138,85	231,21
6	185	129,50	97,13	161,88	297,85	106,84	316,43
7	60	18,00	18,36	25,71	39,60	20,20	44,45
Всього	1750	826,00	834,74	1177,26	1277,75	917,92	1591,06

					ЛНТУ.971023.000 ПЗ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Електропостачання металообробного підприємства встановленою потужністю 1750 кВт. Пояснювальна записка.		
Розроб.		Микитюк Н.Ю.					
Перевір.		Грицюк Ю.В.					
Н. контр.		Ващелюк Ю.І.					
Затверд.		Волинець В.І.					
					Літ.	Арк.	Аркушів
						11	21
					ФАБЕ, гр.ЕЕ–41		

Таблиця 2.2 – Розрахунок силових навантажень дільниці №1
металообробного цеху

Назва електро- приймача	P_n , кВт	n	$P_{н_2}$, кВт	$K_{вик}$	$tg\phi$	m	$\phi_{сф}$	$K_{cos\phi}$	Розрахункові навантаження			
									$P_{сум}$, кВт	$Q_{сум}$, квар	$P_{с_2}$, кВт	$Q_{с_2}$, квар
	Щит 4.1											
	Електроприймачі із змінним графіком навантаження											
Верстат токарний з програмним керуванням 1K62M	10	5	50	0,15	1,33	1,25	9	2,15	7,50	9,98	26,45	17,99
Верстат внутрішньо- шліфувальний 3A227	8	4	32	0,15	1,33				4,80	6,38		
	Електроприймачі з постійним графіком навантаження											
Шафа витяжна	2	1	2	0,65	0,75				1,30	0,98	1,30	0,98
Всього по щиту 4.1		10	84						13,60	17,33	27,75	18,97
	Щит 4.2											
	Електроприймачі із змінним графіком навантаження											
Пилка дискова швидкохідна МП61	5,5	4	22	0,2	1,33	2,25	9	2,3	4,40	5,85	23,00	14,56
Верстат круглошлі- фувальний 3Б161	9	4	36	0,15	1,33				5,40	7,18		
Візок вантажний	4	1	4	0,05	1,03				0,20	0,21		
	Електроприймачі з постійним графіком навантаження											
Шафа витяжна	2	1	2	0,65	0,75				1,30	0,98	1,30	0,98
Всього по щиту 4.2		10	64						11,30	14,22	24,30	15,54
	Щит 4.3											
	Електроприймачі із змінним графіком навантаження											
Верстат токарно- гідрокопіюва- льний 1722	12	2	24	0,15	1,33	3,00	7	2,7	3,60	4,79	22,41	12,08
Верстат токарно- гвинторізний 163	7,5	4	30	0,15	1,33				4,50	5,99		
Візок вантажний підвісний	4	1	4	0,05	1,03				0,20	0,21		
	Електроприймачі з постійним графіком навантаження											
Шафа витяжна	2	1	2	0,65	0,75				1,3	0,98	1,3	0,98
Всього по щиту 4.3		8	60						9,6	11,95	23,71	13,052
Всього по дільниці		28	208						34,5	43,50	75,76	47,56

2.2. Розрахунок освітлювальних навантажень

Тип та характеристики джерел світла, обраних з [4] для кожного цеху, наведено в таблиці 2.3; розрахунок освітлювальних навантажень на рівні щитів освітлення кожного цеху – в таблиці 2.4.

Таблиця 2.3 – Вибір джерел світла

Номер цеху	Розряд зорової роботи	$E_{\text{норм}}$, лк	Тип світильника	F , лм	P , кВт
1	Va	300	LED світильник промисловий SL-SMD 200W	22000	200
2	Va	300	LED світильник промисловий SL-SMD 200W	22000	200
3	Va	300	LED світильник промисловий SL-SMD 200W	22000	200
4	Va	300	LED світильник промисловий SL-SMD 200W	22000	200
5	Va	300	LED світильник промисловий SL-SMD 200W	22000	200
6	VIIIb	75	VS-LHB-O-100W Philips LED	14000	100
7	VIIIb	75	VS-LHB-O-100W Philips LED	14000	100

Таблиця 2.4 – Розрахунок освітлювального навантаження підприємства

Номер цеху	F , м ²	h , м	$P_{\text{пит}}$, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$	P_o , кВт	$K_{\text{пра}}$	$K_{\text{п}}$	$\text{tg}\varphi$	$P_{\text{р.о}}$, кВт	$Q_{\text{р.о}}$, квар
1	2880	8	3,38	9,73	1,2	0,9	0,33	10,51	3,47
2	3024	8	3,38	10,22	1,2	0,9	0,33	11,04	3,64
3	2160	8	3,38	7,30	1,2	0,9	0,33	7,88	2,60
4	1800	8	3,38	6,08	1,2	0,9	0,33	6,57	2,17
5	864	8	3,38	2,92	1,2	0,9	0,33	3,15	1,04
6	432	5	3,07	1,33	1,2	0,9	0,33	1,43	0,47
7	2160	5	3,07	6,63	1,2	0,9	0,33	7,16	2,36
Всього	11160			44,22				47,76	15,76

Для вуличного освітлення приймаємо з [4] джерела світла AN-SLG-40W 40W 6800Lm:

$$\sum \varepsilon = \frac{10^3 \cdot 2,75 \cdot 0,85 \cdot 11}{6800} = 3,78 \text{ лк};$$

$$\frac{L}{h} = 9,5; L = 9,5 \cdot 11 = 104,5 \text{ м};$$

$$L_{\Sigma} = 2976 \text{ м}; N = \frac{2976}{104,5} = 28,5 \Rightarrow N_{\text{прийн}} = 29;$$

$$P_{\text{вст.зовн}} = 29 \cdot 40 \cdot 10^{-3} = 1,16 \text{ кВт};$$

$$P_{\text{розр.зовн}} = 1,2 \cdot 0,9 \cdot 1,16 = 1,25 \text{ кВт};$$

$$Q_{\text{розр.зовн}} = 1,25 \cdot 0,33 = 0,41 \text{ кВАр.}$$

2.3. Визначення результуючих навантажень

Розрахунок сумарних силових та освітлювальних навантажень на рівні ввідно-розподільних пристроїв кожного цеху та на шинах 400 В трансформаторної підстанції виконано в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Розрахунок результуючих навантажень

Номер цеху	$P_{\text{вст}\Sigma}, \text{ кВт}$	$P_{\text{ср.зм}\Sigma}, \text{ кВт}$	$Q_{\text{ср.зм}\Sigma}, \text{ квар}$	$S_{\text{ср.зм}\Sigma}, \text{ кВА}$	$P_{\text{р}\Sigma}, \text{ кВт}$	$Q_{\text{р}\Sigma}, \text{ квар}$	$S_{\text{р}\Sigma}, \text{ кВА}$
1	329,73	173,71	165,04	239,61	214,51	181,19	280,80
2	335,22	180,04	174,33	250,61	230,74	191,40	299,79
3	322,30	171,68	199,16	262,95	237,20	218,82	322,72
4	296,08	61,57	66,38	90,54	108,98	72,50	130,89
4.1	84,00	13,60	17,33	22,03	27,75	18,97	33,61
4.2	64,00	11,30	14,22	18,16	24,30	15,54	28,84
4.3	60,00	9,60	11,95	15,33	23,71	13,05	27,07
4.4	82,00	20,50	20,71	29,14	26,65	22,78	35,06
5	257,92	130,65	127,27	182,39	188,03	139,89	234,36
6	186,33	130,93	97,60	163,31	299,28	107,31	317,94
7	66,63	25,16	20,72	32,60	46,76	22,56	51,92
Освітлення території	1,16	1,25	0,41	1,32	1,25	0,41	1,32
Всього	1795,38	875,01	850,91	1223,32	1326,76	934,09	1639,74

2.4. Побудова картограми навантажень та визначення теоретичного центру навантажень

Радіуси кіл та сектор освітлювальних навантажень для побудови картограми навантажень розраховані в таблиці 2.6.

Також в табл.2.6 визначено координати центру навантажень металообробного підприємства для визначення місця встановлення трансформаторної підстанції.

Таблиця 2.6 – Визначення центру електричних навантажень

№ цеху	x, м	y, м	$P_{\Sigma} \cdot x$	$P_{\Sigma} \cdot y$	$Q_{\Sigma} \cdot x$	$Q_{\Sigma} \cdot y$	r	α
1	54	36	11584	7722	9784	6523	42	18
2	54	162	12460	37380	10336	31007	44	17
3	138	162	32734	38427	30197	35449	45	12
4	165	42	17981	4577	11963	3045	29	22
5	204	126	38358	23692	28537	17626	39	6
6	21	96	6285	28731	2254	10302	45	2
7	150	92	7014	4302	3384	2075	18	55
Всього			126416	144831	96455	106027		
X_{Σ}	99							
Y_{Σ}	111							

2.5. Вибір кількості та потужності трансформаторів ТП з врахуванням компенсації реактивної потужності

Розрахунок питомої густини навантаження та попередній вибір кількості та потужності трансформаторів підстанції [5] наведено в таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 – Вибір трансформаторів

Варіант встановлення	$\sigma, \frac{\text{кВА}}{\text{м}^2}$	$S_T, \text{кВА}$	N	$N_{\min}$	m	$N_{\text{опт}}$	$Q_{\max T}, \text{кВАр}$
I	0,11	1000	1,25	2	0	2	1092,87
II		630	1,98	2	0	2	110,84

Проектування низьковольтної компенсації реактивної потужності [6] виконано в таблиці 2.8.

Таблиця 2.8 – Вибір низьковольтних батарей конденсаторів

Варіант встановлення	$Q_{\text{НБК1}}, \text{кВАр}$	k_{p1}	k_{p2}	γ	$Q_{\text{НБК2}}, \text{кВАр}$	$Q_{\text{НБК}}, \text{кВАр}$	Потужність НБК
I	0,00	11	27	0,29	270,909	270,91	160
II	740	11	27	0,29	0	740,07	400

Технічні характеристики трансформаторів [5] та техніко-економічне порівняння двох варіантів встановлення наведено в таблиці 2.9.

Таблиця 2.9 – Техніко-економічне порівняння можливих варіантів встановлення

Варіант встановлення	$\Delta P_{\text{х}},$ кВт	$\Delta P_{\text{к}},$ кВт	$\tau,$ год	$W,$ тис.кВт·год	$C_e,$ тис.грн	$K,$ тис.грн	$З,$ тис.грн
I	0,95	5,6	1034	9,379	72,219	842,16	177,49
II	1,18	8,5	1034	12,040	92,715	908,00	206,21

Вибираємо $2 \times \text{ТМ} - 630 / 10; 2 \times \text{ККУ} - 0,4 - 400 - 10 - 21\text{У3}$.

Перевіряємо вибрані трансформатори за перевантажувальною здатністю :

$$1,4 \cdot 630 = 882 \text{ кВА} > \frac{2 \cdot (1 - 0,283) \cdot 1223,32}{2} = 877,12 \text{ кВА}.$$

2.6. Компенсація реактивної потужності

Результати розрахунку імовірної потужності конденсаторних батарей, встановлених на стороні 10 кВ підстанції, наведено в таблиці 2.10.

Таблиця 2.10 – Розрахунок компенсації реактивної потужності

Показник	Од.вимір.	Значення
$Q_{\text{ср.зм}\Sigma}$	кВАр	850,91
$Q_{\text{еmax}}$	кВАр	289
$Q_{\text{НБК ф}}$	кВАр	800
$\Delta Q_{\text{Т}}$	кВАр	33
$K_{\text{НС}}$	–	0,85
$Q_{\text{М1}}$	кВАр	723,27
$Q_{\text{К1}}$	кВАр	434,52
$Q_{\text{НС Т}}$	кВАр	116,91
$Q_{\text{ВБК}}$	кВАр	-299,48

$Q_{\text{ВБК}} < 0$, тобто потреби у високовольтній компенсації немає.

2.7. Визначення електричних навантажень на вищих рівнях

Результати розрахунку навантажень на рівні 10 кВ підстанції для вибору кабельних ліній зовнішнього електропостачання наведено в таблиці 2.11.

Таблиця 2.11 – Розрахунок навантажень на рівні 10 кВ

Розрахункове навантаження	Одиниці вимірювання	Значення
P_{p3}	кВт	875,01
Q_{p2}	кВАр	850,91
$Q_{НБК}$	кВАр	800
P_{p3}	кВт	875,01
Q_{p3}	кВАр	50,91
S_{p3}	кВА	876,49
ΔP_T	кВт	17,53
ΔQ_T	кВАр	87,65
P_{p4}	кВт	892,54
Q_{p4}	кВАр	138,56
S_{p4}	кВА	903,23

2.8. Проектування мережі живлення підприємства

Вибір типу та перерізу кабелів мережі живлення металообробного підприємства виконуємо з [8] за навантаженнями на рівні 10 кВ підстанції, визначеними в п.2.7, та економічною густиною струму [7] в таблиці 2.12.

Результати порівняння кабелів різного перерізу наведено в таблиці 2.13.

$$j_e = 1,7 \frac{A}{mm^2};$$

$$I_{норм} = \frac{903,23}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 2} = 26,07 \text{ А}; I_{п.ав} = \frac{903,23}{\sqrt{3} \cdot 10} = 52,15 \text{ А};$$

$$F_e = \frac{26,07}{1,7} = 15,34 \text{ мм}^2; \text{ розглядаємо перерізи від } 35 \text{ мм}^2 \text{ включно.}$$

Таблиця 2.12 – Вибір кабельних ліній високої напруги

F, мм ²	I _{доп} , А	I' _{доп} , А	r ₀ , $\frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	x ₀ , $\frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	$\Delta U_{\text{норм}}$, В	$\Delta U_{\text{норм}}$, %	$\Delta U_{\text{П АВ}}$, %
35	143	147,29	0,641	0,09	110,07	1,10	2,20
50	169	174,1	0,58	0,086	100,13	1,00	2,00
70	211	217,3	0,45	0,084	79,70	0,80	1,59
95	260	267,8	0,31	0,083	57,83	0,58	1,16

Таблиця 2.13 – Техніко-економічне порівняння кабелів різного перерізу

F, мм ²	K _{зл}	$\Delta P_{\text{н}}$, кВт	$\Delta P_{\text{д}}$, кВт	C _е , тис. грн.	K, тис. грн.	З, тис. грн.
35	0,177	135,17	4,236	49,510	4153,8	568,735
50	0,150	170,82	3,833	44,799	5091,2	681,199
70	0,120	206,59	2,974	34,758	5297,6	696,958
95	0,097	216,10	2,049	23,944	6183,4	796,869

$$Z_{\min} \Rightarrow 2 \times \text{АПВВ} - 10 - 3 \times 35.$$

2.9. Проектування внутрішньої розподільної мережі

Вибір розподільних пристроїв низької напруги [8, 9], встановлених в цехах металообробного підприємства, наведено в таблиці 2.14.

Вибір кабелів низької напруги АВВГ – 0,4, АВВГнгд – 0,4 [11] наведено в таблиці 2.15.

Живлення об'єктів, що належать до II категорії надійності електропостачання, виконане радіально, живлення об'єктів III категорії – магістрально. Отже, схема внутрішньозаводського електропостачання – радіально-магістральна (змішана).

Таблиця 2.14 – Вибір розподільних пристроїв 0,4 кВ

Назва РП	$S_{p\sum}$, кВА	$I_{п.ав}$, А	Тип розподільного пристрою	$I_{доп.РП}$, А	$n_{прийм}$	$n_{мод}$
ВРП1	280,80	426,63	ЕУ – ВРП2 – 1 – 630 У4	630	4	4
ВРП2	299,79	455,49	ЕУ – ВРП2 – 1 – 630 У4	630	4	4
ВРП3	322,72	490,32	ЕУ – ВРП2 – 1 – 630 У4	630	4	4
ВРП4	130,89	198,87	ЕУ – ВРП2 – 1 – 250 У4	250	4	4
РП4.1	33,61	51,07	ПР11 – 1034 – 21 У3	100	10	12
РП4.2	28,84	43,82	ПР11 – 1034 – 21 У3	100	10	12
РП4.3	27,07	41,12	ПР11 – 1034 – 21 У3	100	8	12
РП4.4	35,06	53,26	ПР11 – 1034 – 21 У3	100	10	12
ВРП5	286,28	434,95	ЕУ – ВРП2 – 1 – 630 У4	630	4	4
РП6	317,94	483,06	ПР11 – 7123 – 21 У3	630	12	12
РП7	51,92	78,88	ПР11 – 1034 – 21 У3	100	11	12

Таблиця 2.15 – Вибір кабелів 0,4 кВ

Назва КЛ	n	$S_{p\sum}$, кВА	$I_{норм}$, А	$I_{п.ав}$, А	Переріз кабелю	$I_{доп}$, А	$I'_{доп}$, А	$I''_{доп}$, А	l , км	r_0 , Ом/км	x_0 , Ом/км	$\Delta U_{норм}$, %	$\Delta U_{п.ав}$, %
ТП – ВРП1	2	280,80	213,31	426,63	4×240	490	505	529	0,082	0,125	0,047	1,02	2,04
ТП – ВРП2	2	299,79	227,74	455,49	4×240	490	505	529	0,056	0,125	0,047	0,75	1,49
ТП – ВРП3	2	322,72	245,16	490,32	4×240	490	505	529	0,052	0,125	0,047	0,74	1,49
ТП – ВРП4	2	130,89	99,43	198,87	5×120	200	206	216	0,116	0,125	0,047	0,67	1,35
ВРП4 – РП4.1	2	33,61	25,53	51,07	5×16	60	62	65	0,006	2,08	0,07	0,12	0,23
ВРП4 – РП4.1	2	28,84	21,91	43,82	5×16	60	62	65	0,003	2,08	0,07	0,05	0,11
ВРП4 – РП4.1	2	27,07	20,56	41,12	5×16	60	62	65	0,040	2,08	0,07	0,63	1,27
ВРП4 – РП4.1	2	35,06	26,63	53,26	5×16	60	62	65	0,032	2,08	0,07	0,66	1,33
ТП – ВРП5	2	286,28	217,48	434,95	4×240	490	505	529	0,115	0,125	0,047	1,46	2,93
ТП – РП6	2	317,94	241,53	483,06	4×240	490	505	529	0,082	0,125	0,047	1,16	2,31
ВРП5 – РП7	1	51,92	78,88	78,88	4×25	75	77	81	0,052	1,33	0,07	2,05	2,05

2.10. Розрахунок струмів короткого замикання

Розрахунок струму короткого замикання у мережі високої напруги наведено в таблиці 2.16.

					ЛНТУ.971023.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

Застосовуємо відносно наближене зведення :

$$S_{\text{г}} = 100 \text{ МВА}; U_{\text{г}} = 10,5 \text{ кВ}.$$

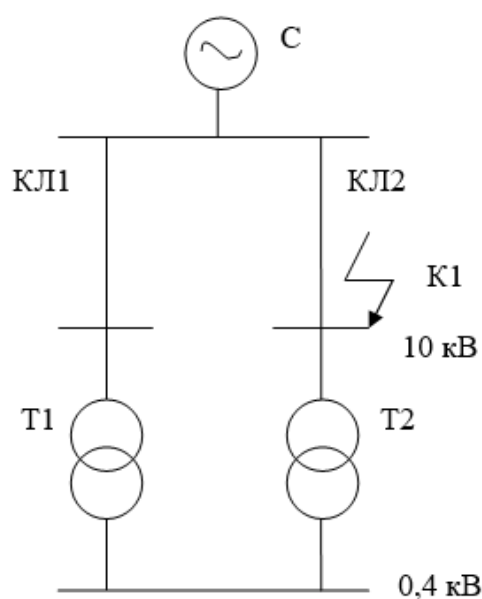


Рисунок 2.1 – Електрична схема короткозамкненого кола

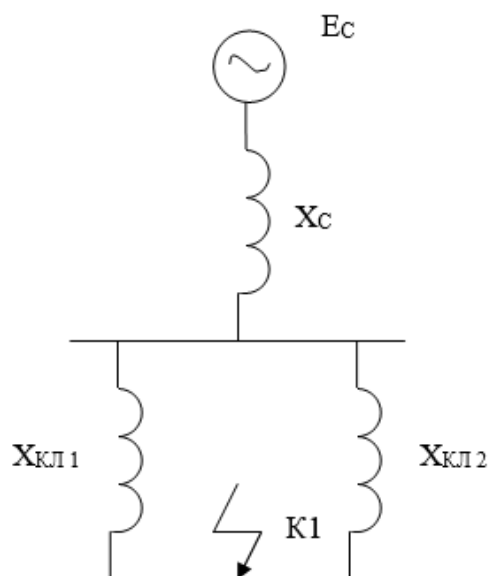


Рисунок 2.2 – Заступна схема короткозамкненого кола

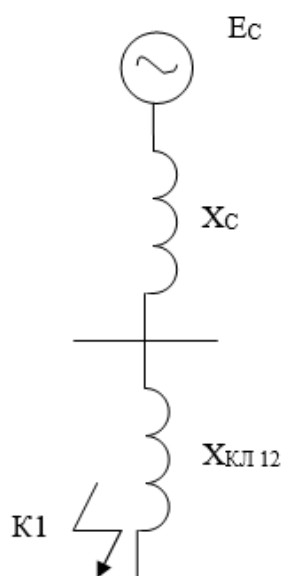


Рисунок 2.3 – Схема короткозамкненого кола після об'єднання паралельних ліній

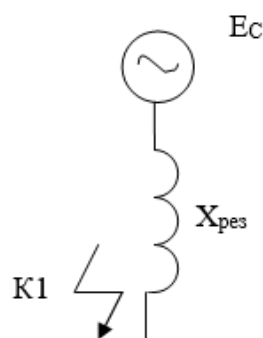


Рисунок 2.4 – Спрощена схема короткозамкненого кола

Таблиця 2.16 – Розрахунок струмів КЗ. Перевірка вибраних КЛ за термічною стійкістю

Показник	Одиниці вимірювання	Значення
S_{K3}	МВА	77
$\dot{X}_{C*}$	—	1,299
$\dot{R}_{KL1*}, \dot{R}_{KL2*}$	—	2,500
$\dot{X}_{KL1*}, \dot{X}_{KL2*}$	—	0,351
$\dot{R}_{KL12*}$	—	1,250
$\dot{X}_{KL12*}$	—	0,176
$\dot{R}_{рез*}$	—	1,250
$\dot{X}_{рез*}$	—	1,474
$\dot{Z}_{рез*}$	—	1,933
$I_б$	кА	5,50
$I_{н0}$	кА	2,845
k_y	—	1,42
i_y	кА	5,713
K_T	$\frac{A \cdot c^{1/2}}{мм^2}$	125
t_n	с	0,25
F_{min}	мм ²	11,4
Тип та переріз кабелю з п.2.8	—	АПвВ – 10 – 3 × 35
B_K	кА ² · с	2,02

2.11. Вибір обладнання

Вибір оладнання напругою 10 кВ виконуємо за струмами нормального та післяаварійного навантаження (п.2.8), електродинамічною та термічною стійкістю до струмів короткого замикання (п.2.10).

2.11.1. Вибір комплектних розподільчих пристроїв

Тип та харатекристики розподільних пристроїв – комірок на напругу 10 кВ КСО – 399 [14] та панелей ЩО – 99 – з [15] – наведено в таблиці 2.17.

Таблиця 2.17 – Технічні характеристики комплектних розподільних пристроїв трансформаторної підстанції

Призначення	Обладнання	Кількість	Каталожний номер
Комірки КСО 399 10 кВ			
Ввідні	Комірка КСО 399-03106 УЗ з вимикачем навантаження ВН-РА 030-10-630 УЗ	2	03
Комутація і захист силових трансформаторів	Комірка КСО 399-04061 УЗ з вимикачем навантаження ВН-РА 03П-10-630 УЗ і запобіжником	2	04
Секційна	Комірка КСО 399-01106 УЗ роз'єднувачами РВ030-10-630 УЗ	1	01
Розподільчі панелі ЩО 99 0,4 кВ			
Ввідні	ЩО 99-2101 УЗ	2	–
Лінійні	ЩО 99-2308 УЗ	4	–
Секційна	ЩО 99-2208 УЗ	1	–

$$10 = 10 \text{ кВ};$$

$$26,07 < 630 \text{ А};$$

$$52,15 < 630 \text{ А};$$

$$5,713 < 51 \text{ кА};$$

$$2,02 < 400 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

2.11.2. Вибір роз'єднувачів

Вибираємо з [16] роз'єднувачі:

РВ030 – 10 – 630

$$10 = 10 \text{ кВ};$$

$$26,07 < 630 \text{ А};$$

$$52,15 < 630 \text{ А};$$

$$5,713 < 41 \text{ кА};$$

$$2,02 < 1024 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

2.11.3. Вибір вимикачів навантаження та запобіжників

Вибираємо з [17] вимикачі навантаження:

Ввідні комірки
ВН – РА 030 – 10 – 630 УЗ:

$$10 = 10 \text{ кВ};$$

$$26,07 < 630 \text{ А};$$

$$52,15 < 630 \text{ А};$$

$$2,845 < 31,5 \text{ кА};$$

$$5,713 < 80 \text{ кА};$$

$$2,02 < 992,3 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

Трансформаторні комірки
ВН – РА 03П – 10 – 630 УЗ:

$$10 = 10 \text{ кВ};$$

$$26,07 < 630 \text{ А};$$

$$52,15 < 630 \text{ А};$$

$$2,845 < 31,5 \text{ кА};$$

$$5,713 < 80 \text{ кА};$$

$$2,02 < 992,3 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

Вибираємо з [18] запобіжники:

ПКТ – 10 – 63 – 12,5 УЗ:

$$52,15 < 63 \text{ А};$$

$$2,845 < 12,5 \text{ кА};$$

$$49,27 < 217 \text{ кА},$$

$$S'' = \sqrt{3} \cdot 10 \cdot 2,845 = 49,27 \text{ МВА}.$$

2.12. Розрахунок низьковольтної мережі цеху

Розрахунок низьковольтної мережі металообробного цеху виконуємо на основі даних, що входять до технічного завдання до проєкту: плану розміщення обладнання та інформації про окремі струмоприймачі.

2.12.1. Вибір схеми електропостачання

Живлення приймачів цеху виконане за допомогою кабелів на напругу 400 В з мідними жилами [19], за радіальною схемою.

Таблиця 2.18 – Вибір кабелів внутрішньоцехової мережі

Назва електроприймача	P _н , кВт	cos φ	I, А	F, мм ²	I _{тр доп} , А	Кабель
Щит 4.1						
Верстат токарний з програмним керуванням 1K62M	10	0,60	25,28	2,5	26	ВВГнгд-5×2,5
Верстат внутрішньо-шліфувальний 3A227	8	0,60	20,23	2,5	26	ВВГнгд-5×2,5
Шафа витяжна	2	0,80	3,80	2,5	26	ВВГнгд-5×2,5
Щит 4.2						
Пилка дискова швидкохідна МП61	5,5	0,60	13,91	2,5	26	ВВГнгд-5×2,5
Верстат круглошліфувальний 3Б161	9	0,60	22,75	2,5	26	ВВГнгд-5×2,5
Візок вантажний	4	0,70	8,72	2,5	26	ВВГнгд-5×2,5
Шафа витяжна	2	0,80	3,80	2,5	26	ВВГнгд-5×2,5
Щит 4.3						
Верстат токарно-гідрокіювальний 1722	12	0,60	30,34	4	34	ВВГнгд-5×4
Верстат токарно-гвинторізний 163	7,5	0,60	18,96	2,5	26	ВВГнгд-5×2,5
Візок вантажний підвісний	4	0,70	8,72	2,5	26	ВВГнгд-5×2,5
Шафа витяжна	2	0,80	3,80	2,5	26	ВВГнгд-5×2,5

Таблиця 2.19 – Перевірка кабелів за втратами напруги

Назва електроприймача	n	r ₀ , Ом/км	x ₀ , Ом/км	l, км	ΔU%	Кабель
Щит 4.1						
Верстат токарний з програмним керуванням 1K62M	5	8	0,09	0,005	0,281	ВВГнгд-5×2,5
		8	0,09	0,011	0,619	ВВГнгд-5×2,5
		8	0,09	0,017	0,956	ВВГнгд-5×2,5
		8	0,09	0,023	1,293	ВВГнгд-5×2,5
		8	0,09	0,029	1,631	ВВГнгд-5×2,5
Верстат внутрішньо-шліфувальний 3A227	4	8	0,09	0,006	0,270	ВВГнгд-5×2,5
		8	0,09	0,014	0,630	ВВГнгд-5×2,5
		8	0,09	0,022	0,990	ВВГнгд-5×2,5
		8	0,09	0,03	1,350	ВВГнгд-5×2,5
Шафа витяжна	1	8	0,09	0,006	0,067	ВВГнгд-5×2,5
Щит 4.2						
Пилка дискова швидкохідна МП61	4	8	0,09	0,006	0,186	ВВГнгд-5×2,5
		8	0,09	0,013	0,402	ВВГнгд-5×2,5
		8	0,09	0,02	0,619	ВВГнгд-5×2,5
		8	0,09	0,027	0,835	ВВГнгд-5×2,5
Верстат круглошліфувальний 3Б161	4	8	0,09	0,008	0,405	ВВГнгд-5×2,5
		8	0,09	0,015	0,759	ВВГнгд-5×2,5
		8	0,09	0,022	1,113	ВВГнгд-5×2,5
		8	0,09	0,029	1,468	ВВГнгд-5×2,5
Візок вантажний	1	8	0,09	0,005	0,112	ВВГнгд-5×2,5
Шафа витяжна	1	8	0,09	0,012	0,134	ВВГнгд-5×2,5
Щит 4.3						
Верстат токарно-гідрокіювальний 1722	2	5	0,09	0,007	0,298	ВВГнгд-5×4
		5	0,09	0,013	0,553	ВВГнгд-5×4
Верстат токарно-гвинторізний 163	4	8	0,09	0,005	0,211	ВВГнгд-5×2,5
		8	0,09	0,013	0,548	ВВГнгд-5×2,5
		8	0,09	0,021	0,886	ВВГнгд-5×2,5
		8	0,09	0,027	1,139	ВВГнгд-5×2,5
Візок вантажний підвісний	1	8	0,09	0,004	0,090	ВВГнгд-5×2,5
Шафа витяжна	1	8	0,09	0,027	0,302	ВВГнгд-5×2,5

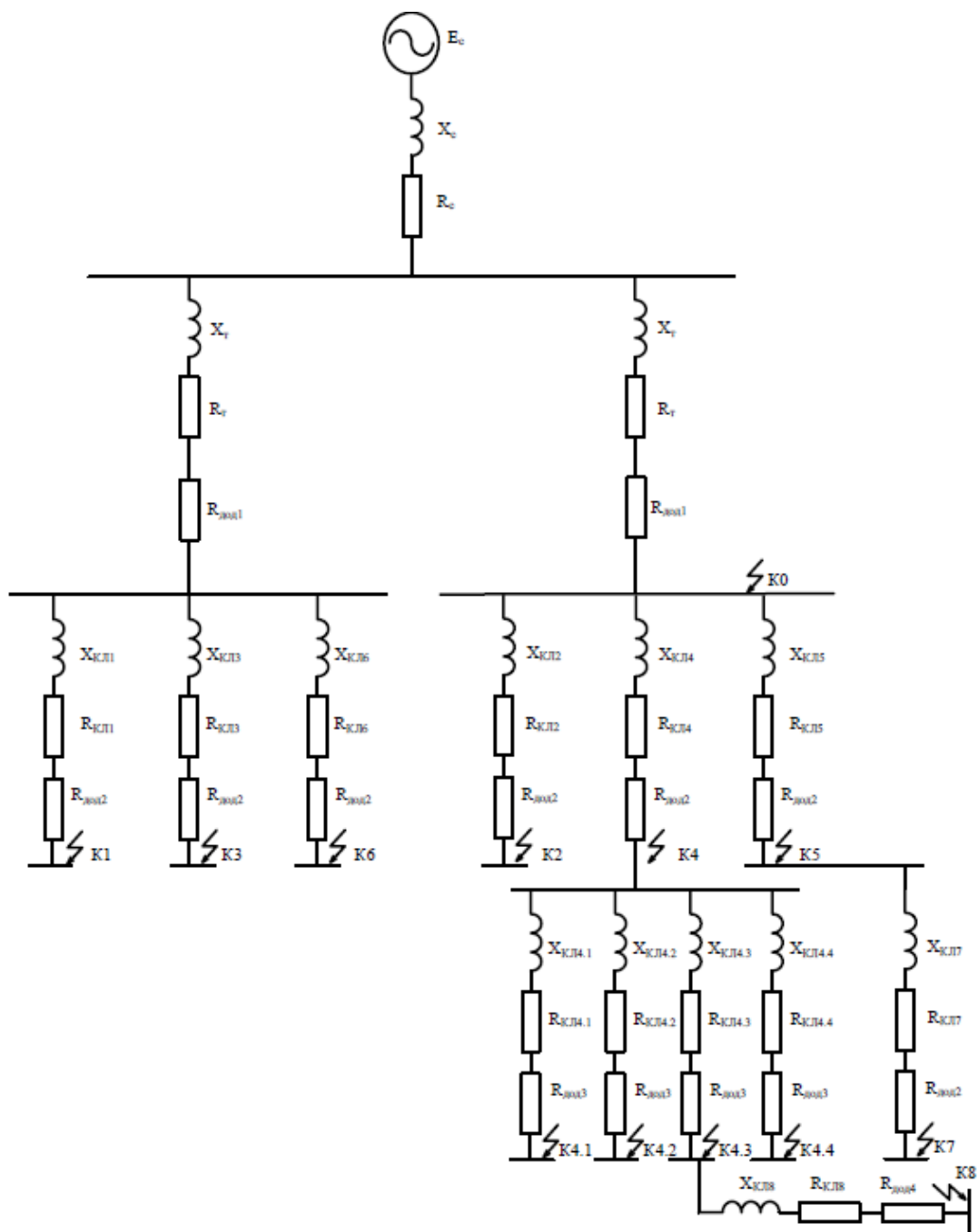


Рисунок 2.6 – Заступна схема НВ мережі

Таблиця 2.20 – Вихідні дані для розрахунку струмів КЗ в мережі 0,4 кВ

Показник	Одиниці вимірювання	Значення
U_6	кВ	0,4
$I_{к10}$	кА	2,845
$U_{с10}$	кВ	10,5
$S_{ном.Т}$	кВА	630
ΔP_k	кВт	8,5
u_k	%	6

Розрахунок струму короткого замикання в точці К0, відповідно до схем 2.5, 2.6, наведено в таблиці 2.21.

Таблиця 2.21 – Визначення струмів КЗ в точці К0

Показник	Одиниці вимірювання	Значення
R_c	Ом	1,378
X_c	Ом	2,131
$\dot{R}_c$	МОм	2,000
$\dot{X}_c$	МОм	3,093
$\dot{R}_T$	МОм	1,713
$\dot{X}_T$	МОм	7,619
$\dot{R}_{рез0}$	МОм	18,713
$\dot{X}_{рез0}$	МОм	10,712
$Z_{рез0}$	МОм	21,562
I_K	кА	10,710
k_y	–	1,05
i_y	кА	15,904

Розрахунок опорів кабельних ліній заступної схеми низьковольтної мережі металообробного цеху наведено в таблиці 2.22.

Таблиця 2.22 – Визначення опорів кабельних ліній

Назва кабельної лінії	l, км	$r_0, \frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	R, МОм	$x_0, \frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	X, МОм
ТП – ВРП1	0,082	0,125	10,250	0,047	3,854
ТП – ВРП2	0,056	0,125	7,000	0,047	2,632
ТП – ВРП3	0,052	0,125	6,500	0,047	2,444
ТП – ВРП4	0,116	0,125	14,500	0,047	5,452
ВРП4 – РП4.1	0,006	2,08	12,064	0,07	0,406
ВРП4 – РП4.1	0,003	2,08	6,448	0,07	0,217
ВРП4 – РП4.1	0,040	2,08	82,576	0,07	2,779
ВРП4 – РП4.1	0,032	2,08	66,560	0,07	2,240
ТП – ВРП5	0,115	0,125	14,400	0,047	5,414
ТП – РП6	0,082	0,125	10,250	0,047	3,854
ВРП5 – РП7	0,052	1,33	68,628	0,07	3,612
РП2.1 – Рmax	0,007	5	35,000	0,09	0,630

Розрахунок струмів короткого замикання в решті точок заступної схеми та перевірку кабелів на напругу 400 В за тремічною стійкістю зведено в таблицю 2.23.

Таблиця 2.23 – Визначення струмів КЗ в НВ мережі

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	$F_{\text{min}},$ мм ²	Вибраний переріз
К1	20	33,96	14,57	36,95	6,249	1	8,838	23,1	4×240
К2	20	30,71	13,34	33,49	6,896	1	9,753	25,5	4×240
К3	20	30,21	13,16	32,95	7,008	1	9,911	26,0	4×240
К4	20	38,21	16,16	41,49	5,566	1	7,872	20,6	5×120
К4.1	25	55,28	16,57	57,71	4,002	1	5,660	14,8	5×16
К4.2	25	49,66	16,38	52,29	4,416	1	6,246	16,4	5×16
К4.3	25	125,79	18,94	127,21	1,815	1	2,567	6,7	5×16
К4.4	25	109,77	18,40	111,31	2,075	1	2,934	7,7	5×16
К5	20	38,11	16,13	41,38	5,580	1	7,892	20,7	4×240
К6	20	33,96	14,57	36,95	6,249	1	8,838	23,1	4×240
К7	20	106,74	19,74	108,55	2,127	1	3,009	7,9	4×25
К8	30	130,79	19,57	132,25	1,746	1	2,470	6,5	5×4

Приймаємо для КЛ8 кабель ВВГнгд – 5 × 10.

2.12.3. Вибір трансформаторів струму

Перелік вимірювальних приладів, підключених до вторинних обмоток трансформаторів струму [21]:

лічильники електричної енергії комерційного та технічного обліку
НІК 2307 АПЗТ, вибрані з [20];

амперметри АСКО – УКРЕМ 400А.

Для вибору обладнання на напругу 400 В розрахуємо струми навантажень відповідно до даних таблиці 2.5:

$$I_{\text{норм}} = \frac{1639,74}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 2} = 1245,66 \text{ А}; I_{\text{max}} = \frac{1639,74}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 2491,32 \text{ А}.$$

Вторинне навантаження трансформаторів струму :

$$r_k = 0,05 \text{ Ом}; \text{ тоді згідно з [10]}; S_{\text{прил}} = 10 \text{ ВА};$$

$$r_{\text{прил}} = \frac{10}{5^2} = 0,4 \text{ Ом};$$

$$r_{np} = \frac{0,0283 \cdot 4}{2,5} = 0,045 \text{ Ом};$$

$$z_2 \approx r_2 = 0,4 + 0,045 + 0,05 = 0,495 \text{ Ом}.$$

Комерційний облік :

CHINT BH-0.66 120 I 2500/5A

$$0,38 < 0,66 \text{ кВ};$$

$$1245,66 < 2500 \text{ А};$$

$$2491,32 < 2500 \text{ А};$$

$$15,904 < 51 \text{ кА};$$

$$28,68 < 100 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

$$0,495 < 5,0 \text{ Ом}.$$

Технічний облік :

$$T - 0,66 \text{ 600 / 5}$$

$$0,38 < 0,66 \text{ кВ};$$

$$490,32 < 600 \text{ А};$$

$$7,872 < 51 \text{ кА};$$

$$7,75 < 100 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

$$0,495 < 5,0 \text{ Ом}.$$

2.12.4. Вибір автоматичних вимикачів

Результати вибору автоматичних вимикачів [22] за значеннями напруги, номінального струму розщеплювача та граничного струму вимкнення наведено в таблиці 2.24.

Автоматичні вимикачі встановлено у ввідних, лінійних та секційній панелях розподільного пристрою 400 В підстанції та на вводі кожного ввідно-розподільного (розподільного) пристрою цеху. Також за допомогою автоматичних вимикачів захищено кабельні лінії, що живлять низьковольтні конденсаторні батареї.

					ЛНТУ.971023.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

Таблиця 2.24 – Вибір автоматичних вимикачів

Номер вимикача	Тип вимикача	Каталожні дані			Розрахункові дані			
		U _{ном} , кВ	I _{ном розц} , А	I _{гр вимк} , кА	U _{уст} , кВ	I _{ном} , А	I _{п.ав} , А	I _к , А
QF1	Chint NA1-3200-2500M	0,4	2500	40	0,4	1245,66	2491,32	10,710
QF2	Chint NA1-3200-2500M	0,4	2500	40	0,4	1245,66	2491,32	10,710
QF3	Chint NA1-3200-2500M	0,4	2500	40	0,4	1245,66	2491,32	10,710
QF4	BA 88 – 40	0,4	500	35	0,4	213,31	426,63	6,249
QF5	BA 88 – 40	0,4	500	35	0,4	213,31	426,63	6,249
QF6	BA 88 – 40	0,4	500	35	0,4	227,74	455,49	6,896
QF7	BA 88 – 40	0,4	500	35	0,4	227,74	455,49	6,896
QF8	BA 88 – 40	0,4	500	35	0,4	245,16	490,32	7,008
QF9	BA 88 – 40	0,4	500	35	0,4	245,16	490,32	7,008
QF10	BA 88 – 35	0,4	200	35	0,4	99,43	198,87	5,566
QF11	BA 88 – 35	0,4	200	35	0,4	99,43	198,87	5,566
QF12	BA 88 – 33	0,4	63	35	0,4	25,53	51,07	4,002
QF13	BA 88 – 33	0,4	63	35	0,4	25,53	51,07	4,00
QF14	BA 88 – 33	0,4	50	35	0,4	21,91	43,82	4,416
QF15	BA 88 – 33	0,4	50	35	0,4	21,91	43,82	4,42
QF16	BA 88 – 33	0,4	50	35	0,4	20,56	41,12	1,815
QF17	BA 88 – 33	0,4	50	35	0,4	20,56	41,12	1,82
QF18	BA 88 – 33	0,4	63	35	0,4	26,63	53,26	2,075
QF19	BA 88 – 33	0,4	63	35	0,4	26,63	53,26	2,07
QF20	BA 88 – 40	0,4	500	35	0,4	217,48	434,95	5,580
QF21	BA 88 – 40	0,4	500	35	0,4	217,48	434,95	5,580
QF22	BA 88 – 40	0,4	500	35	0,4	241,53	483,06	6,249
QF23	BA 88 – 40	0,4	500	35	0,4	241,53	483,06	6,249
QF24	BA 88 – 33	0,4	80	35	0,4	78,88	78,88	2,127
QF25	BA 88 – 33	0,4	80	35	0,4	78,88	78,88	2,13
QF26	BA 88 – 32	0,4	32	25	0,4	30,34	30,34	1,746

2.12.5. Вибір рубильників

З [23] вибираємо рубильники, встановлені в секційних панелях секційної перемички (для виведення в ремонт секційного автоматичного вимикача) та у ввідних панелях (для відкремлення шини 400 В):

$$PE\ 19 - 45; 2500\ A;$$

$$0,38 < 0,66\ кВ;$$

$$1245,66 < 2500\ A;$$

$$2491,32 < 2500\ A;$$

$$15,904 < 50\ кА;$$

$$28,68 < 900\ кА^2 \cdot с.$$

					ЛНТУ.971023.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

РОЗДІЛ 3

ВИБІР ПОЛОЖЕННЯ ПБЗ ТРАНСФОРМАТОРІВ

Для регулювання напруги в межах 5% первинні обмотки силових трансформаторів оснащені пристроями перемикання без збудження (ПБЗ). Дані пристрої дають можливість змінювати кількість ввімкнених витків первинної обмотки, впливаючи таким чином на рівень напруги. Перемикання відбувається без навантаження:

з пп.2.12.2 використовуємо такі дані та методику [Д.2]

$$R_T = 1,71 \cdot 10^{-3} = 0,002 \text{ Ом}; X_T = 76,2 \cdot 10^{-3} = 0,076 \text{ Ом.}$$

$$P_{cp} = 875,01 \text{ кВт}; Q_{cp} = 850,91 \text{ кВт}; n_T = 2;$$

$$U_{норм} = \pm 5\% \cdot U_{ном}; U_{норм} = (0,95 \div 1,05) \cdot 380 = 360 \div 399 \text{ В};$$

$$\Delta U_T = \frac{875,01 \cdot 0,002 + 850,91 \cdot 0,076}{2 \cdot 10} = 0,4 \text{ кВ};$$

$$U_{нн.6} = (1 - 0,05) \cdot 400 \cdot 10^{-3} = 0,38 \text{ кВ}; K_{Т.ном} = \frac{10}{0,4} = 25,0;$$

$$K_{Т.6} = \frac{10 - 0,4}{0,38} = 25,27;$$

Таблиця 3.1 – Визначення положень ПБЗ та відповідних їм коефіцієнтів трансформації

Положення ПБЗ	Додаткове число витків, %	Відносне число витків	Коефіцієнт трансформації
1	5	1,050	26,53
2	2,5	1,025	25,90
3	0	1,000	25,27
4	-2,5	0,975	24,63
5	-5	0,950	24,00

$$U_{нн.д} = \frac{10 - 0,38}{25,27} = 0,38 \text{ кВ}; \frac{0,38 - 0,38}{0,38} \cdot 100 = 0\%.$$

					ЛНТУ.971023.000 ПЗ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Микитюк Н.Ю.			Електропостачання металообробного підприємства встановленою потужністю 1750 кВт. Пояснювальна записка.	Літ.	Арк.
Перевір.		Грицюк Ю.В.					32
						ФАБЕ, гр.ЕЕ-41	
Н. контр.		Ващелюк Ю.І.					
Затверд.		Волинець В.І.					
						Аркушів	1

РОЗДІЛ 4

САПР

Усі розрахунки, виконані в процесі проєктування системи електропостачання металообробного підприємства, є автоматизованими в середовищі Microsoft Excel 2003. Нижче наведено приклад автоматизації розрахунків, виконаних в п.2.5, 2.6 даного проєкту (рис. 4.1).

В431															
18	Scp	1223,32	площа	11160						змін	Кр1				
19	sigma	0,11	Рсп/1,4	625,01						1	24				
20										2	12				
21		St	N	Nmin	m	Nonr	Qmax r			3	11				
22	Варіант I	1000	1,25	2	0	2	1092,87			живляча лінія, км					
23	Варіант II	630	1,98	2	0	2	110,84			тр-р	до 0,5	0,5-1	1-1,5	1,5-2	більше 2
24										400	2	4	7	10	17
25										630	2	7	10	15	27
26										1000	2	7	10	15	27
27		Qнбк1	Кр1	Кр2	gamma	Qнбк2	Qнбк	Пот НБК							
28	Варіант I	0,00	11	27	0,29	270,91	270,91	160							
29	Варіант II	740	11	27	0,29	0	740,07	400							
30		-241,96				270,91									
31		740,07				-254,56									
32															
33		Px	Pk	tau	W	Ce	K	З							
34	Варіант I	1,7	12,2	1612	25,202	182,71	1192,08	331,72		882					
35	Варіант II	1,18	8,5	1612	17,506	126,916	1180,00	274,42		877,12	α=	28,30			
36															
37															
38	Qcp	850,91	Qe=	289		ΔQt				Галузь	Кис				
39	Qe max	289				250	11			текстиль	0,95				
40	Qнбк ф	800				400	20			харчова	0,9				
41	ΔQt	33				630	33			металообр	0,85				
42	Кис	0,85				1000	49			деревобр	0,8				
43	Qм1	723,27								інші	0,75				
44	Qк1	434,52													
45	Qнс r	116,91													
46	Qвбк	-299,48													
47						НБК	400								
							400-10								

Рисунок 4.1 – Вибір силових трансформаторів з врахуванням компенсації реактивної потужності

					ЛНТУ.971023.000 ПЗ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.	Микитюк Н.Ю.				Електропостачання металообробного підприємства встановленою потужністю 1750 кВт. Пояснювальна записка.		
Перевір.	Грицюк Ю.В.						
Н. контр.	Ващелюк Ю.І.						
Затверд.	Волинець В.І.						
					Літ.	Арк.	Аркушів
						33	1
					ФАБЕ, гр.ЕЕ-41		

РОЗДІЛ 5

ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА

Для виключення можливості ураження персоналу металообробного цеху електричним струмом обладнання цеху приєднане до контуру захисного заземлення [25]:

$$l = (60 + 30) \cdot 2 = 180 \text{ м};$$

$$R_{\Gamma} = \frac{180}{2 \cdot 3,14 \cdot 180} \cdot \ln \frac{180^2}{0,4 \cdot 0,04} = 2,4 \text{ Ом};$$

$$R_H = 10 \text{ Ом};$$

$$R_B = \frac{2,4 \cdot 10}{2,4 + 10} = 1,95 \text{ Ом};$$

$$R_{BO} = \frac{120}{2 \cdot 3,14 \cdot 2,5} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot 2,5}{0,016} + \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{4 \cdot 0,7 + 1}{4 \cdot 0,7 - 1} \right) = 55 \text{ Ом};$$

$$\eta_B = 0,65; \eta_{\Gamma} = 0,3;$$

$$n_B = \frac{55}{1,95 \cdot 0,65} = 43,3 \text{ шт} \Rightarrow n_B = 44 \text{ шт};$$

$$R_{шт} = \frac{55 \cdot 2,4}{0,3 \cdot 55 + 0,65 \cdot 44 \cdot 2,4} = 1,55 \text{ Ом} < 10 \text{ Ом}.$$

					ЛНТУ.971023.000 ПЗ						
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Микитюк Н.Ю.			Електропостачання металообробного підприємства встановленою потужністю 1750 кВт. Пояснювальна записка.			Літ.	Арк.	Аркушів	
Перевір.		Грицюк Ю.В.								34	1
								ФАБЕ, гр.ЕЕ-41			
Н. контр.		Ващелюк Ю.І.									
Затверд.		Волинець В.І.									

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

Електропостачальна система металообробного підприємства відповідає вимогам [2], завдяки таким технічним рішенням:

1. Для трансформаторної підстанції обрано два силових трансформатори та дві лінії живлення напругою 10 кВ; передбачено ремонтну (рівень 10 кВ) та секційну (рівень 400 В) перемички. В результаті з'явилась можливість виведення в ремонт одного з трансформаторів або однієї з кабельних ліній без переривання живлення споживачів II категорії.

2. Підстанцію розташовано в центрі навантажень, що забезпечило мінімальну довжину кабелів на напругу 400 В.

3. На шинах 400 В трансформаторної підстанції встановлено дві конденсаторні батареї, призначені для компенсації частини реактивної потужності, що споживається об'єктами підприємства. Завдяки цьому відбулось часткове розвантаження силових трансформаторів та кабельних ліній 10 кВ, а отже, знизився рівень втрат напруги.

4. Проектом передбачено застосування пристроїв ПБЗ силових трансформаторів для регулювання напруги та підтримання її в допустимих межах.

5. Мережу 10 кВ виконано з ізолюваною нейтраллю для забезпечення безперебійності живлення; мережу 400 В – з глухозаземленою нейтраллю для безпеки експлуатації.

6. Для прокладання в цехах обрано кабелі, що не розповсюджують горіння, та з мінімальним димоутворенням.

7. Живлення приймачів II категорії виконане за радіальною схемою, що підвищує надійність електропостачання.

8. Передбачено контури захисного заземлення, що захищатимуть персонал цехів у разі, коли корпуси електрообладнання знаходяться під напругою через пошкодження ізоляції.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Мілих В.І., Павленко Т.П. Електропостачання промислових підприємств : Підручник для студентів електромеханічних спеціальностей : Харків : ФОП Панов А. М., 2016. 272 с.
2. Правила улаштування електроустановок : видання офіційне. Київ : Міненерговугілля України, 2017. 620 с.
3. Давиденко Л.В., Коменда Н.В, Давиденко В.А., Євсюк М.М. Електропостачання промислових об'єктів : практикум : навчальний посібник. Луцьк : ВІП ЛНТУ, 2022. 244с.
4. Промислові LED світильники : каталог. URL : https://ledmir.com.ua/industrial_led_lights
5. Трансформатори силові типу ТМ. URL : http://cabex.com.ua/ru/produkcija/transformatori/transformatori_silovie_tipa_tm.html
6. Установки компенсації реактивної потужності ККУ-0,4. URL : <https://avelectric.com.ua/ua/g77561771-ustanovki-kompensatsii-reaktivnoj>
7. 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.
8. Силові кабелі з ізоляцією із зшитого поліетилену : каталог. URL : <https://amperia.com.ua/ua/g32628816-silovye-kabeli-izolyatsiej>.
9. Пункт розподільний ЕУ-ПР11 : каталог. URL : <https://www.enersys.in.ua/vyrobnystvo/punkt-rozpodilnyi.html>.

- 10.Ввідно-розподільний пристрій : каталог. URL :
<https://www.enersys.in.ua/vyrobnystvo/vvidno-rozpodilnyi-prystrii.html>.
- 11.Кабелі силові АВВГ, АВВГнг, АВВГнгд : каталог. URL :
<https://europan.ua/ru/produkcija/kabeli-silovi/avvg-avvgng-avvgngd/>.
- 12.Грицюк Ю.В. Електрична частина станцій і підстанцій. Методичні вказівки до практичних занять. – Луцьк: ЛНТУ, 2015. – 96 с.
13. Електрична частина станцій і підстанцій : методичні вказівки до виконання курсового проекту ; уклад. Ю.В. Грицюк. Луцьк : Луцький НТУ, 2014. 84с.
14. Камери збірні одностороннього обслуговування КСО 399 УЗ : каталог. ООО Укрелетрокомплект. URL: <http://uelko.com/kso399.pdf>.
15. Панелі розподільних щитів ЩО 99 УЗ : каталог. ООО Укрелетрокомплект. URL: <https://uelko.com/so99.pdf>.
16. Роз'єднувачі РВ, РВО, РВЗ, РВФЗ, РЛВО : каталог. URL: <http://nvacontact.com/category2/razediniteli-10-kv/>.
17. Вимикач навантаження типу ВН-РА-000 : каталог. ООО Укрелетрокомплект URL: <https://uelko.com/vn-ra.pdf>.
18. Високовольтні запобіжники : каталог. URL: https://www.websor.ru/vjsokovoltnje_predohraniteli.html.
19. Кабелі силові ВВГ, ВВГнг, ВВГнгд : каталог. URL :
<https://europan.ua/ru/produkcija/kabeli-silovi/vvg3-vvg3ng-vvg3ngd-vvg5-vvg5ng-vvg5ngd/>.
20. Лічильники електричної енергії НІК2303 : настанова з експлуатації. Київ, 2016. URL: http://www.nik.net.ua/uploads/RE_2303LE.pdf.
21. Трансформатори струму ТШ-0,66 : каталог. URL: <http://bek-ltd.com.ua/transformatory-toka-t-0-66>.
22. Вимикачі автоматичні серії ВА88 : інструкція з експлуатації. ІЕК. URL:

https://www.iek.ru/partners/infobaza/files/docs/passp_re/bc4722f58a17e3fcaaa9ec94fab2307f.pdf

23. Роз'єднувач РЕ-19 : каталог продукції : Промелектросервіс. URL: <http://www.elektro-portal.com/series/show/razedinitel-re19>.
24. 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.
25. Панченко С.В., Акімов О.І., Бабаєв М.М. та ін. Електробезпека : підручник. Харків : УкрДЗТ, 2018. 295 с.