

Міністерство освіти і науки України

Луцький національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет архітектури, будівництва та енергетики

(повне найменування факультету)

Кафедра електричної інженерії

(повна найменування кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНИЙ ПРОЄКТ
ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «БАКАЛАВР»

ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ РЕМОНТНО-
МЕХАНІЧНОГО ЗАВОДУ ВСТАНОВЛЕНОЮ
ПОТУЖНІСТЮ 510 кВт

спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва спеціальності)

освітня програма «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
(назва освітньої програми)

Виконав: здобувач вищої освіти
групи ЕЕ-43
Василевич Артем Васильович

(підпис)

Керівник:
к.т.н., доцент
Волинець Владислав Ігорович

(підпис)

Кваліфікаційний проєкт
допущено до захисту
«__» _____ 2026 р.
Гарант освітньої програми:
канд. техн. наук, доцент
Волинець Владислав Ігорович

(підпис)

Луцьк – 2026 року

АНОТАЦІЯ

ВАСИЛЕВИЧ А.В. Електропостачання ремонтно-механічного заводу встановленою потужністю 510 кВт. Рукопис.

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

Кваліфікаційний проєкт бакалавра складається з вступу, п'яти розділів, висновків та пропозицій, переліку джерел посилення та додатків.

Розроблено систему електропостачання ремонтно-механічного заводу встановленою потужністю 510 кВт.

Розробка СЕП підприємства виконувалася на основі електротехнічних розрахунків. А саме, розрахунок електричних навантажень, розрахунок освітлювальних навантажень, розрахунок навантажень на вищих рівнях СЕП, розрахунок кількості та потужності силових трансформаторів, розрахунок потужності конденсаторних батарей, розрахунок струмів короткого замикання, вибір раціональної схеми зовнішнього та внутрішнього електропостачання.

Кваліфікаційний проєкт містить 73 сторінки, 12 рисунків, 22 таблиці, 27 джерел літератури.

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

ANNOTATION

VASYLEVYCH A. Power supply of a repair and mechanical plant with an installed capacity of 510 kW. Manuscript.

Bachelor's qualification project of EP Electrical energetics, electrical engineering and electromechanics specialties 141 Electrical energetics, electrical engineering and electromechanics. Lutsk National Technical University. Lutsk, 2026.

The bachelor's qualification project consists of an introduction, five sections, conclusions and recommendations, a list of reference sources and appendices.

A power supply system was developed of a repair and mechanical plant an installed capacity of 510 kW.

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

Bachelor's qualification project contains 73 pages, 12 figures, 22 tables, 27 sources of literature.

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

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1 КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ПРОЄКТУВАННЯ	8
РОЗДІЛ 2 ОСНОВНІ ПРОЄКТНІ РІШЕННЯ	11
2.1. Розрахунок силових електричних навантажень	11
2.2. Розрахунок освітлювальних навантажень	13
2.2.1. Розрахунок освітлювальних навантажень підприємства	13
2.2.2. Розрахунок освітлювальної мережі механообробного цеху	13
2.3. Визначення сумарних навантажень	15
2.4. Розрахунок картограми навантажень та визначення теоретичного центру навантажень	15
2.5. Вибір кількості та потужності трансформаторів	16
2.6. Компенсація реактивної потужності	18
2.7. Визначення електричних навантажень на вищих рівнях	19
2.8. Проєктування зовнішньої мережі живлення підприємства	19
2.9. Проєктування внутрішньої розподільної мережі	21
2.10. Вибір схеми електропостачання механообробного цеху	23
2.11. Розрахунок струмів короткого замикання	25
2.11.1. Розрахунок струмів короткого замикання на стороні 10 кВ	25
2.11.2. Розрахунок струмів короткого замикання в мережі 0,4 кВ	27
2.12. Вибір обладнання	31
2.12.1. Вибір комірок	31
2.12.2. Вибір роз'єднувачів	31
2.12.3. Вибір вимикачів навантаження та запобіжників	32
2.12.4. Вибір автоматичних вимикачів	33
2.12.5. Вибір вимірювальної апаратури	34
РОЗДІЛ 3 РОЗРАХУНОК СЕП РАДІАЛЬНО-СВЕРДЛИЛЬНОГО ВЕРСТАТУ	36
РОЗДІЛ 4 САПР	39
РОЗДІЛ 5 ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА	41
ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ	43
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	44
ДОДАТКИ	47

					<i>ЛНТУ.971061.000 ПЗ</i>			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		Василевич А.В.			Електропостачання ремонтно-механічного заводу встановленою потужністю 510 кВт. Пояснювальна записка	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірів		Волинець В.І.				Д	6	73
Н. контр.		Ващелюк Ю.І.				ФАБЕ, гр. ЕЕ-43		
Затвердив		Волинець В.І.						

ВСТУП

Ефективне функціонування промислового комплексу неможливе без надійної бази технічного обслуговування та відновлення засобів виробництва. Ремонтно-механічні заводи (РМЗ) відіграють стратегічну роль у забезпеченні безперебійної роботи інших галузей промисловості, виконуючи капітальний ремонт обладнання, виготовлення запасних частин та модернізацію вузлів. Специфіка енергоспоживання такого підприємства полягає у наявності широкого спектру різномірних електроприймачів: від високоточних металообробних верстатів та зварювальних агрегатів до потужного підйомно-транспортного устаткування та термічних дільниць.

Актуальність даного кваліфікаційного проєкту зумовлена необхідністю створення гнучкої та надійної системи електропостачання (СЕР), яка здатна адаптуватися до змінного характеру навантажень, притаманного ремонтному виробництву. Оскільки робота РМЗ часто пов'язана з дрібносерійними та індивідуальними замовленнями, графіки споживання електроенергії характеризуються значною нерівномірністю, що вимагає особливого підходу до вибору потужності трансформаторів та перерізів живильних ліній.

Метою проєкту є розробка комплексної системи електропостачання ремонтно-механічного заводу, що забезпечить стабільну роботу технологічних дільниць при оптимальних капітальних та експлуатаційних витратах.

Науково-практична значущість проєкту полягає у впровадженні енергоефективних рішень, що дозволяють знизити втрати потужності в мережах РМЗ та забезпечити високий рівень автоматизації обліку енергоресурсів, що є невід'ємною частиною сучасного промислового менеджменту.

					<i>ЛНТУ.971061.000 ПЗ</i>	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1

КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ПРОЄКТУВАННЯ

Технологічний цикл ремонтно-механічного підприємства - це комплекс взаємопов'язаних виробничих процесів, спрямованих на реновацію втрачених експлуатаційних характеристик технічних систем та виготовлення запасних частин.

Технічний алгоритм процесу складається з таких фаз:

1. Діагностично-демонтажна стадія - передбачає розбирання об'єкта на складальні одиниці, їхню очистку та проведення дефектації, тобто, метрологічного контролю параметрів деталей для визначення ступеня їхнього зносу та залишкового ресурсу.

2. Технологія відновлення (реновація) - застосування методів інженерії поверхонь (електродугове наплавлення, термічне напилення, гальванізація) для компенсації фізичного зносу та відновлення геометричних параметрів згідно з конструкторською документацією.

3. Механічна та слюсарна обробка - фінішна доводка відновлених поверхонь або виготовлення нових компонентів шляхом різання, шліфування та термічної обробки для досягнення заданих допусків і посадок.

4. Агрегатування та інтеграція - синхронізація відновлених та нових компонентів у функціональні вузли з дотриманням регламентованих параметрів точності збирання.

5. Верифікація та апробація - проведення стендових випробувань під навантаженням для підтвердження відповідності технічних показників нормативним вимогам ДСТУ або ТУ.

Генеральний план підприємства подано на рисунку 1.1.

					<i>ЛНТУ.971061.000 ПЗ</i>							
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата								
Розробив		Василевич А.В.			Електропостачання ремонтно-механічного заводу встановленою потужністю 510 кВт. Пояснювальна записка		Літ.		Арк.		Аркушів	
Перевірив		Волинець В.І.					Д		8		3	
Н. контр.		Ващелюк Ю.І.					ФАБЕ, гр. ЕЕ-43					
Затвердив		Волинець В.І.										

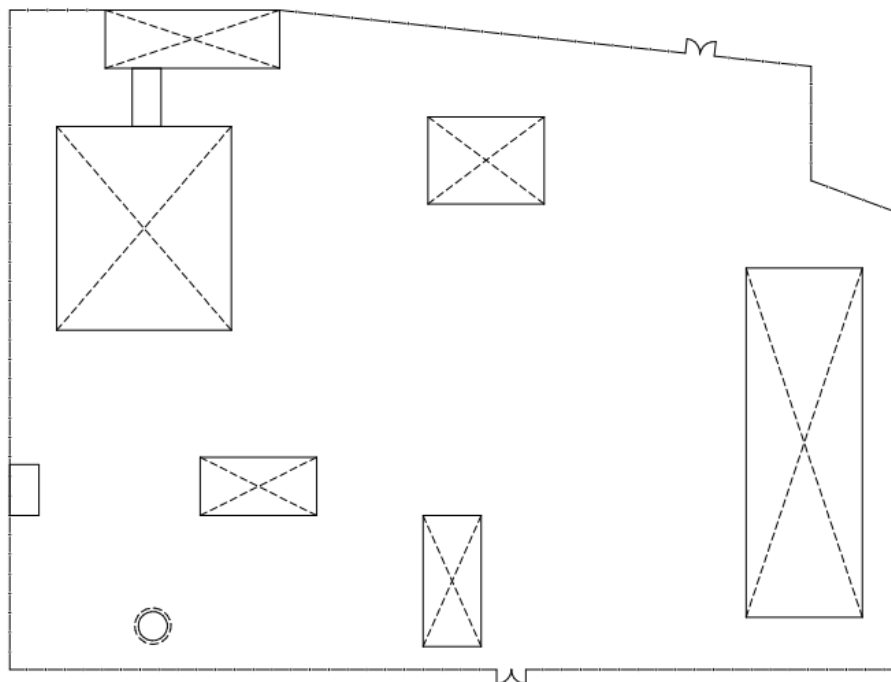


Рисунок 1.1 - Генеральний план підприємства

Виробнича структура підприємства базується на експлуатації потужностей механообробного, розбирально-дефектувального, зварювально-наплавного та складального підрозділів. Інфраструктура об'єкта також охоплює допоміжні споруди: насосну станцію, котельню та складське господарство.

До складу ключового технологічного електрообладнання входять: парк металорізальних верстатів, вантажопідйомне устаткування, системи промислової вентиляції, ковальсько-пресові машини, насосні агрегати та мережі внутрішнього освітлення.

Вихідні параметрами:

- загальна площа підприємства - 16775 м², де площа будівель складатиме 4760 м²;
- встановлена потужність підприємства складає 510 кВт;
- відстань до джерела живлення - 1,4 км (джерело живлення - шини 10 кВ РПС);
- потужність короткого замикання на шинах джерела живлення - 30 МВА;

					ЛНТУ.971061.000 ПЗ	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- режим роботи підприємства - двозмінний.
- річна кількість годин роботи електрообладнання - 4000 годин;
- число годин роботи обладнання при максимальному навантаженні складає 3500 годин;
- реактивна потужність, яка дозволена до використання енергосистемою становить 153 кВАр.

Споживачі підприємства за надійністю електропостачання відносяться переважно до II категорії (96%).

Встановлена потужність підрозділів підприємства наведена в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Встановлена потужність цехів підприємства

Назва підрозділу	Встановлена потужність $P_{вст}$, кВт
Механообробний цех	172
Розбирально-дефектувальний цех	68
Зварювально-наплавний цех	100
Насосна	40
Складальний цех	70
Котельня	40
Склад	20
Всього	510

					<i>ЛНТУ.971061.000 ПЗ</i>									
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Електропостачання ремонтно-механічного заводу встановленою потужністю 510 кВт. Пояснювальна записка				Літ.		Арк.		Аркушів	
Розробив	Василевич А.В.								д		11		26	
Перевірив	Волинець В.І.								ФАБЕ, гр. ЕЕ-43					
Н. контр.	Ващелюк Ю.І.													
Затвердив	Волинець В.І.													

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Заточувальний верстат	5	10	2	0,12	1	1,73	1,2	2,08	2	3,3	3,96	2,29
Гартувальна піч	4	12	3	0,35	1	1,33	4,2	5,59	3	2	8,4	6,15
Прес	3	6	2	0,17	1	1,17	1,02	1,19	2	2,9	2,96	1,31
Установка ТВЧ	20	40	2	0,2	1	2,29	8	18,32	2	2,6	20,8	20,15
Тельфер	0,9	1,8	2	0,05	1	1,73	0,09	0,15	2	3,6	0,32	0,16
Всього із змінним графіком навантаження	-	158,9	30	-	-	-	26,5	48,81	-	-	71,98	53,68
Вентилятор	1,7	1,7	1	0,7	1	0,62	1,19	0,73	-	-	1,19	0,73
Насос	5,5	11	2	0,7	1	0,62	7,7	6,93	-	-	7,7	6,93
Всього з постійним графіком навантаження	-	12,7	3	-	-	-	8,89	7,66	-	-	8,89	7,66
Всього	-	172	33	-	-	-	35,39	56,47	-	-	80,9	61,3

Таблиця 2.2 – Визначення силових навантажень усього підприємства

Назва цеху	Встановлена потужність $P_{вст}, кВт$	Розрахункові навантаження		
		$P_p, кВт$	$Q_p, кВАр$	$S_p, кВА$
Механообробний цех	172	80,9	61,3	101,50
Розбирально-дефектувальний цех	68	48,96	34,272	59,76
Зварювально-наплавний цех	100	72	50,4	87,89
Насосна	40	28,8	20,16	35,15
Складальний цех	70	50,4	35,28	61,52
Котельня	40	28,8	20,16	35,15
Склад	20	14,4	10,08	17,58
Всього	510	367,2	257,04	448,22

2.2. Розрахунок освітлювальних навантажень

2.2.1. Розрахунок освітлювальних навантажень підприємства

Розрахунок параметрів електричного освітлення об'єктів підприємства реалізовано методом питомої потужності [4], згідно з алгоритмом, викладеним у додатку А.2. Світлотехнічна частина проєкту передбачає використання енергоефективних світлодіодних джерел випромінювання. Результуючі показники освітлювального навантаження за кожним підрозділом систематизовано та зведено до таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Визначення освітлювальних навантажень підприємства

Назва підрозділу (цеху)	$E_{\text{норм}},$ лк	$F,$ м^2	$h,$ м	$P_{\text{нит}},$ $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$	$P_0,$ кВт	Тип лампи	$K_{\text{пра}}$	K_n	$\text{tg}\varphi$	$P_{\text{ро}},$ кВт	$Q_{\text{ро}},$ кВАр
Механообробний цех	200	1512	9	16	24,2	LED	1,2	0,9	0,33	26,1	8,6
Розбирально- дефектувальний цех	200	438	9	16	7,0	LED	1,2	0,9	0,33	7,6	2,5
Зварювально- наплавний цех	200	290	9	15	4,4	LED	1,2	0,9	0,33	4,7	1,6
Насосна	75	30	9	14	0,4	LED	1,2	0,9	0,33	0,5	0,1
Складальний цех	200	330	9	16	5,3	LED	1,2	0,9	0,33	5,7	1,9
Котельня	75	430	6	10	4,3	LED	1,2	0,9	0,33	4,6	1,5
Склад	100	1730	9	10	17,3	LED	1,2	0,9	0,33	18,7	6,2
Всього	-	4760	-	-	62,9	-	-	-	-	67,9	22,4

2.2.2. Розрахунок освітлювальної мережі механообробного цеху

Освітлення цеху будемо виконувати світлодіодними світильниками.

Проектowana площа виробничого цеху становить 1512 м², при цьому нормативна питома потужність для розрахунку складає 16 Вт/м² (із розрахунковим показником 2,4 Вт/м² при використанні світлодіодних джерел випромінювання). Згідно з розробленою схемою світлотехнічного планування, передбачено встановлення 30 одиниць світлотехнічного

					ЛНТУ.971061.000 ПЗ					Арк.
										13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

обладнання (3 ряди по 10 світильників у кожному). Шляхом підстановки вихідних параметрів у розрахункову формулу визначено одиничну потужність LED-світильника:

$$P_n = \frac{1512 \cdot 2,4}{30} = 120,96 \text{ Вт.}$$

Приймаємо до влаштування світильник промисловий вологозахисний підвісний HERKUL-150 потужністю 150 Вт [5] (Hozor). Конструктивною особливістю світильників серії HERKUL є ефективний термоменеджмент, що запобігає перегріву джерел світла при тривалій експлуатації. Висока термічна стабільність досягається завдяки використанню алюмінієвого корпусу з розвиненою системою пасивної радіаторної тепловіддачі, що забезпечує інтенсивне відведення надлишкового тепла від SMD-діодів. Дане рішення є критично важливим для виробничих об'єктів із багатозмінним або безперервним графіком роботи.

Перерахуємо кількість світильників з врахуванням вибраної потужності світильника:

$$n = \frac{1512 \cdot 2,4}{150} = 24 \text{ шт.}$$

Отже, приймаємо до влаштування в цеху 24 світильників (3 ряди по 8 світильників).

Електропостачання мережі робочого освітлення реалізовано від групового освітлювального щита серії ЩО-12 (виробництва «Вілмах») із номінальним струмом 63 А. Як комутаційно-захисна апаратура в щиті застосовані автоматичні вимикачі серії S201-C10 (ABB). Розподільні лінії до світильників виконані проводом марки ПВС 3х4, допустиме тривале струмове навантаження якого становить 50 А.

					<i>ЛНТУ.971061.000 ПЗ</i>	Арк.
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.3. Визначення сумарних навантажень

Визначення сумарного розрахункового навантаження на шинах 0,4 кВ трансформаторної підстанції (ТП) реалізовано шляхом алгебраїчного підсумовування показників силових та освітлювальних електроприймачів усіх підрозділів підприємства [6]. Результати усіх обчислень повної потужності об'єкта представлені в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Визначення сумарних навантажень

Назва цеху	$P_{ср\ зм},$ кВт	$Q_{ср\ зм},$ кВАр	$P_{ро},$ кВт	$Q_{ро},$ кВАр	$P_{р\sum},$ кВт	$Q_{р\sum},$ кВАр	$S_{р\sum},$ кВА
Механообробний цех	80,9	61,3	26,1	8,6	142,2	69,9	158,5
Розбирально-дефектувальний цех	48,96	34,272	7,6	2,5	83,2	36,8	91,0
Зварювально-наплавний цех	72	50,4	4,7	1,6	122,4	52,0	133,0
Насосна	28,8	20,16	0,5	0,1	49,0	20,3	53,0
Складальний цех	50,4	35,28	5,7	1,9	85,7	37,2	93,4
Котельня	28,8	20,16	4,6	1,5	49,0	21,7	53,6
Склад	14,4	10,08	18,7	6,2	24,5	16,2	29,4
Всього	367,2	257,04	67,9	22,4	624,2	279,4	683,9

2.4. Розрахунок картограми навантажень та визначення теоретичного центру навантажень

Картограма навантажень є графічним методом відображення розподілу споживання електричної енергії по території підприємства, де кожен виробничий підрозділ представлений у вигляді кола, площа якого пропорційна його розрахунковій потужності. Визначення теоретичного центру навантажень полягає у знаходженні умовної точки «центру мас» енергоспоживання, що дозволяє максимально наблизити джерело живлення до основних споживачів. Такий підхід забезпечує оптимальне розміщення головної знижувальної підстанції, що мінімізує сумарну довжину живильних ліній, скорочує витрати провідникових матеріалів та суттєво знижує технічні

втрати напруги й потужності в електричних мережах об'єкта. Картограма електричних навантажень та центр електричних навантажень визначається за методикою наведеною в Додатку А.3. Усі результати розрахунків зведемо в таблицю 2.5.

Таблиця 2.5 – Розрахунок картограми електричних навантажень

Назва цеху	$X, \text{ м}$	$Y, \text{ м}$	$P_{p\Sigma} \cdot x$	$P_{p\Sigma} \cdot y$	$R, \text{ см}$	α
Механообробний цех	29	90	4123,8	12798,0	7	66
Розбирально-дефектувальний цех	36	130	2996,4	10820,2	5	33
Зварювально-наплавний цех	51	37	6242,4	4528,8	6	14
Насосна	29	8,5	1419,8	416,2	4	3
Складальний цех	91	18	7796,9	1542,2	5	24
Котельня	98	105	4798,1	5140,8	4	34
Склад	163	47	3990,2	1150,6	3	275
Всього	-	-	31367,6	36396,7	-	-

Згідно виразів (А.3.2)-(А.3.3) визначаємо координати центру активного навантаження:

$$X = \frac{31367,6}{624,2} = 50 \text{ м},$$

$$Y = \frac{36396,7}{624,2} = 58 \text{ м}.$$

2.5. Вибір кількості та потужності трансформаторів

Визначення оптимальної кількості та одиничної потужності силових трансформаторів здійснюється на основі розрахункового навантаження об'єкта згідно з методикою, викладеною у додатку А.4. Для обґрунтування вибору проводиться техніко-економічне порівняння двох альтернативних варіантів потужностей за критерієм мінімуму приведених затрат. Цей метод дозволяє врахувати не лише капітальні вкладення у придбання та монтаж обладнання, а й щорічні експлуатаційні витрати, зокрема вартість компенсації технологічних втрат електроенергії в обмотках та сталі

					<i>ЛНТУ.971061.000 ПЗ</i>	Арк.
						16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

трансформаторів протягом усього терміну їх експлуатації. Результати даних розрахунків зведемо в таблицю 2.6.

Таблиця 2.6 – Визначення потужності силового трансформатора

Показник	Варіант I	Варіант II
$P_{p\Sigma}$, кВт	624,20	624,20
$Q_{p\Sigma}$, кВАр	279,40	279,40
$S_{p\Sigma}$, кВА	683,88	683,88
F , м ²	4760	4760
σ , кВА/м ²	0,14	0,14
Тип трансформатора	ТМ-630	ТМ-1000
N_{min} , шт	1,4	0,9
m , шт	0	0
N_{ont} , шт	2	1
$Q_{max T}$, кВАр	623,14	316,82
$Q_{НБК 1}$, кВАр	-343,74	-37,42
K_{p1}	—	—
K_{p2}	—	—
γ	—	—
$Q_{НБК 2}$, кВАр	—	—
$Q_{НБК}$, кВАр	—	—
Тип НБК	—	—
ΔP_x , кВт	1,05	0,83
ΔP_k , кВт	7,6	5,5
τ_M , год	1886,0	1886,0
ΔW , тис.кВт·год	27,21	23,52
C_e , тис.грн	228,56	197,56
K , тис.грн	884,00	694,00
$З$, тис.грн	339,06	284,31

Приведені затрати другого варіанту менші. Але так як використання двох трансформаторів потужності 1000 кВА є не доцільним, то приймаємо до встановлення в ТП два трансформатора типу ТМ-630/10.

Перевіримо вибрані трансформатори на перевантажувальну здатність з врахуванням відключення споживачів III категорії надійності, потужність яких складає 29,4 кВА:

$$1,4 \cdot 630 = 882 > \frac{2 \cdot (683,9 - 29,4)}{2} = 654,5 \text{ кВА.}$$

Отже, умова виконується і ми приймаємо до встановлення трансформатор ТМ-630.

2.6. Компенсація реактивної потужності

Для вибору конденсаторних батарей на стороні високої напруги (10 кВ) необхідно обчислити дефіцит реактивної потужності, що підлягає компенсації, з урахуванням потужності вже встановлених низьковольтних пристроїв компенсації на стороні 0,4 кВ. Розрахунковий алгоритм базується на методиці, наведеній у Додатку А.5, що дозволяє оптимізувати баланс реактивної енергії в системі електропостачання підприємства. Усі отримані параметри та характеристики вибраного обладнання систематизовано й представлено в таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 – Визначення потужності ВБК на стороні 10кВ

Показник	Одиниці вимірювання	Значення
Q_p	кВАр	279,4
$Q_{етак}$	кВАр	153
$Q_{НБК}$	кВАр	0
ΔQ_T	кВАр	21,08
$k_{НС}$	—	0,85
Q_{M1}	кВАр	237,49
Q_{K1}	кВАр	84,49
$Q_{НСТ}$	кВАр	300,48
$Q_{ВБК}$	кВАр	105,57

Результати розрахунків свідчать про необхідність компенсації реактивної потужності величиною 105,57 кВАр на стороні 10 кВ. Проте інсталяція двох високовольтних конденсаторних установок одиничною потужністю 450 кВАр призведе до критичного рівня перекомпенсації та небажаного генерування реактивної енергії в мережу. З огляду на це, техніко-економічно доцільнішим рішенням є перенесення засобів компенсації на сторону низької напруги 0,4 кВ, що забезпечить точніше регулювання балансу потужності безпосередньо біля споживачів. Встановлюємо на стороні 0,4 кВ ТП низьковольтні конденсаторні батареї УКРМ (АКУ)-0,4-55-10У3 [8] Славгор).

2.7. Визначення електричних навантажень на вищих рівнях

Алгоритм визначення параметрів електричних навантажень на ієрархічно вищих рівнях системи електропостачання (СЕП) деталізовано у додатку А.6. Обчислення розрахункового навантаження на стороні високої напруги (ВН) трансформаторної підстанції реалізовано з використанням математичних залежностей (А.6.1) та (А.6.2):

$$S_{P4} = \sqrt{(624,2 + 3,96)^2 + (279,4 + 21,08 - 110)^2} = 656,4 \text{ кВА},$$

$$\Delta P_{T630} = 2 \cdot 1,05 + \frac{1}{2} \cdot 0,7^2 \cdot 7,6 = 3,96 \text{ кВт}.$$

2.8. Проектування зовнішньої мережі живлення підприємства

Джерелом живлення підприємства є шини 10 кВ районної ТП, яка знаходиться на відстані 1,4 км. Рациональна напруга визначається за формулою:

$$U = \sqrt{0,6564 \cdot (100 + 15 \cdot \sqrt{1,4})} = 8,79 \text{ кВ}.$$

					<i>ЛНТУ.971061.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

Найближчою з ряду стандартних напруг є напруга 10 кВ, тому вибираємо її для живлення підприємства.

Визначати переріз кабельних ліній будемо за розрахунковим струмом та струмом післяаварійного режиму. Методика визначення перерізів кабельних ліній та перевірка їх за нагрівом наведена в додатку А.7. Тому струм післяаварійного режиму визначаємо з виразу:

$$I_{n\text{ ав}} = \frac{656,4}{\sqrt{3} \cdot 10} = 37,9 \text{ А.}$$

Попередньо вибираємо кабель марки АПвЕгаПу-10 «кабелі силові з алюмінієвими струмопровідними жилами, з паперовою ізоляцією, просоченою ізоляційним складом, що не стікає, в алюмінієвій оболонці, броньовані сталевими стрічками» [10].

Розрахунковий струм в нормальному режимі за (А.7.5):

$$I_{\text{норм}} = \frac{656,4}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 2} = 18,97 \text{ А.}$$

Результати розрахунків зведемо в таблицю 2.8.

Таблиця 2.8 – Вибір КЛ 10 кВ марки АПвЕгаПу

F , мм ²	$I_{\text{доп}}$, А	$I'_{\text{доп}}$, А	r_0 , $\frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	x_0 , $\frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	$\Delta U_{\text{норм}}$, В	$\Delta U_{\text{норм}}$, %	$\Delta U_{n\text{ ав}}$, %	K_3	ΔP_H , кВт	ΔP_{ϕ} , кВт	C_e , тис. грн.	K , тис. грн.	3 , тис. грн.
35	110	116,739	0,894	0,095	35,48	0,35	0,71	0,16	51,17	1,35	22,339	2202,62	297,67
50	134	137,34	0,625	0,09	25,45	0,25	0,51	0,14	49,51	0,94	15,618	2339,44	308,05
70	162	167,751	0,447	0,086	18,80	0,19	0,38	0,11	52,83	0,68	11,170	2760,77	356,27
95	192	199,143	0,329	0,083	14,38	0,14	0,29	0,10	54,80	0,50	8,221	2862,76	366,07
120	218	227,592	0,261	0,081	11,83	0,12	0,24	0,08	56,78	0,39	6,522	3238,37	411,32

Оскільки приведені затрати на кабель перерізом 35 мм² найменші, то приймаємо кабель марки АПвЕгаПу-10-3×35 (Південкабель).

					ЛНТУ.971061.000 ПЗ				Арк.
									20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

2.9. Проектування внутрішньої розподільної мережі

Електропостачання споживачів підприємства здійснюється на номінальній напрузі 0,4 кВ. Проектом передбачено реалізацію змішаної схеми розподілу електроенергії: для живлення відповідальних електроприймачів застосовано радіальну конфігурацію мережі, тоді як підключення об'єктів III категорії надійності виконано за магістральним принципом (схематичне зображення наведено на рисунку 2.1). Вибір перерізів кабельних ліній здійснимо за методом, яка представлена в Додатку А.8. Попередньо для створення схеми приймаємо кабель марки АВВГнг «кабель силовий з алюмінієвими струмопровідними жилами, з ізоляцією з ПВХ пластикату, з зовнішньою оболонкою з ПВХ пластикату зниженого горіння» [11].

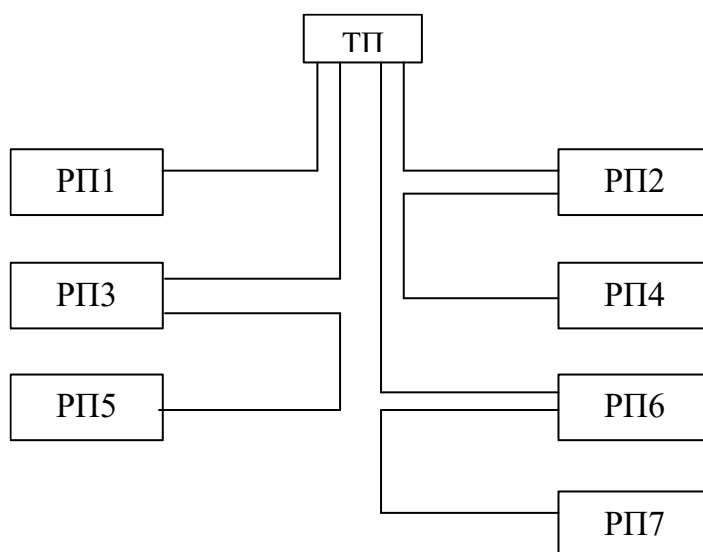


Рисунок 2.1 - Схема з'єднань внутрішньозаводської мережі

Для розподілу електричної енергії між кінцевими споживачами на напрузі 0,4 кВ передбачено встановлення силових розподільних пунктів. До експлуатації прийнято комплектні пристрої серії ПР-11 (виробництва «Нафтаенергопром»), оснащені ввідними та лінійними автоматичними вимикачами серій Chint NXMS-630S та Chint NXB-125 відповідно.

					<i>ЛНТУ.971061.000 ПЗ</i>	Арк.
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначення розрахункових параметрів струмових навантажень для вибору апаратури захисту реалізовано за залежністю (А.8.1). Результати розрахунків зведемо в таблиці 2.9 і 2.10.

Таблиця 2.9 – Розрахунок струмів КЛ 0,4 кВ

Назва цеху	$S_{p\Sigma},$ кВА	$I_p,$ А	$I_{доп\ РП},$ А	Кіль- кість приймачів	Кіль- кість ліній	Кіль- кість РП	Позн. на рис.2.1	Тип автома- тичного вимикача Chint
Механообробний цех	158,5	114,50	630	33	2	1	РП4	NXMS-630S
Розбирально-дефектувальний цех	91,0	65,75	630	7	2	1	РП1	NXMS-630S
Зварювально-наплавний цех	133,0	96,08	630	10	2	1	РП7	NXMS-630S
Насосна	53,0	38,30	630	4	2	1	РП2	NXMS-630S
Складальний цех	93,4	67,48	630	11	2	1	РП5	NXMS-630S
Котельня	53,6	38,69	630	9	2	1	РП3	NXMS-630S
Склад	29,4	42,46	630	6	1	1	РП6	NXMS-630S

Таблиця 2.10 – Вибір КЛ 0,4 кВ

$U_{норм}$	Назва КЛ	n	$S_{p\Sigma},$ $кВА$	$I_p,$ A	Переріз кабелю ААБЛ- 1	$F_e,$ мм	$l,$ км	$I_{доп},$ A	$I_{наг},$ A	$I'_{наг}, A$	$r_0,$ $\frac{Ом}{км}$	$x_0,$ $\frac{Ом}{км}$	$U_{норм},$ В	$\Delta U_{норм},$ %	$\Delta U_{наг},$ %
ТП-РП1		2	91,0	65,75	4x70	0,03	165	39	131,50	135,45	0,447	0,082	2,78	0,69	1,39
ТП-РП4		2	158,5	114,52	4x150	0,044	254	67	229,05	238,21	0,208	0,079	3,73	0,93	1,86
ТП-РП7		2	133,0	96,10	4x120	0,094	226	57	192,20	199,88	0,261	0,08	8,03	2,01	4,01
ТП-РП2		2	53,0	38,29	4x35	0,165	94	23	76,59	79,65	0,894	0,088	16,79	4,20	8,40
ТП-РП5		2	93,4	67,49	4x70	0,112	165	40	134,97	140,37	0,447	0,082	10,64	2,66	5,32
ТП-РП3		2	83,0	59,97	4x50	0,024	132	35	119,94	124,74	0,625	0,085	2,74	0,69	1,37
РП3-РП6		1	29,4	42,46	4x25	0,1	94	25	42,46	44,16	1,25	0,095	7,76	1,94	3,88

					ЛНТУ.971061.000 ПЗ					Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						22

Так як $I_{\text{дон}} > I'_{\text{наб}}$ для всіх ліній і втрата напруги не перевищує нормовані значення, то приймаємо вибрані перерізи.

2.10. Вибір схеми електропостачання механообробного цеху

Повний перелік електроприймачів механообробного цеху із зазначенням їхньої кількості та встановленої номінальної потужності представлено в таблиці 2.1 даного проєкту. Електропостачання технологічних одиниць від розподільного пункту організовано за радіальною схемою, що дозволяє забезпечити селективність захисту та зручність експлуатації кожної лінії окремо. Розрахункове навантаження механообробного цеху становить $S_p = 158,5 \text{ кВА}$. Струм в живлячій лінії буде визначатись з виразу:

$$I_p = \frac{158,5}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 2} = 114,52 \text{ А.}$$

Згідно п. 2.9 даного проєкту, в якості живлячого кабелю вибрано кабель марки АВВГнг-1-4х150 з допустимим струмом $I_{\text{дон}} = 254 \text{ А}$.

Згідно табл. 2.9 було вибрано розподільний пункт ПР11 з вбудованими автоматичними вимикачами типу Chint NXB-125 для якого $I_{\text{дон}} = 630 \text{ А}$, кількість ліній, що відходять 36. Вибираємо кабель марки ВВГнгд [13] (Південкабель): «кабелі силові з мідними СПЖ, з ізоляцією з ПВХ пластикату зниженої пожежо небезпеки, із зовнішньою оболонкою з ПВХ пластикату зниженої пожежонебезпеки». Спосіб прокладання кабелю в підлозі в трубах.

Вибір перерізів кабелів здійснимо за розрахунковим струмом за виразом (А.8.1). Результати вибору кабелю зведемо в таблицю 2.11.

					ЛНТУ.971061.000 ПЗ	Арк.
						23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.11 – Вибір КЛ механообробного цеху

Назва обладнання	Номинальна потужність P_H , кВт	Кількість , шт	$\cos \varphi$	I_p , А	I_{don} , А	Переріз кабелю ВВГнгд
Верстат токарно-карусельний	4	6	0,5	11,49	43	5x4
Верстат горизонтально-фрезерний	10	1	0,5	28,74	43	5x4
Верстат горизонтально-фрезерний	6,3	1	0,5	18,1	43	5x4
Верстат горизонтально-розточувальний	7/1,1	3	0,5	3,16	43	5x4
Верстат горизонтально-розточувальний	7/1,1	1	0,5	20,11	43	5x4
Верстат горизонтально-розточувальний	4	2	0,5	11,49	43	5x4
Верстат радіально-свердильний М-RS 3050	11,7	1	0,89	28,2	43	5x4
Верстат зубофрезерний	6	2	0,6	14,37	43	5x4
Верстат стругальний	2,8	1	0,6	6,7	43	5x2,5
Верстат довбальний	4	1	0,5	11,49	43	5x4
Заточувальний верстат	5	2	0,5	14,37	43	5x4
Гартувальна піч	4	3	0,6	9,58	43	5x4
Прес	3	2	0,65	6,67	43	5x4
Установка ТВЧ	20	2	0,4	71,84	73	5x10
Тельфер	0,9	2	0,5	2,59	43	5x4
Вентилятор	1,7	1	0,85	2,87	43	5x4
Насос	5,5	2	0,85	9,3	43	5x4

Обрані перерізи кабельно-провідникової продукції прийняті до експлуатації, оскільки за результатами розрахункової перевірки вони повністю задовольняють нормативним вимогам щодо допустимого тривалого

					ЛНТУ.971061.000 ПЗ	Арк.
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

нагріву, втрат напруги та термічної стійкості до струмів короткого замикання.

2.11. Розрахунок струмів короткого замикання

2.11.1. Розрахунок струмів короткого замикання на стороні 10 кВ

Розрахунок параметрів струмів короткого замикання реалізовано в системі відносних одиниць за методом наближених обчислень, згідно з алгоритмом, викладеним у Додатку А.9. Вихідні дані: $S_{\delta}=100$ МВА; $U_{\delta}=U_{cp}=10,5$ кВ. $S_{K3}=30$ МВА.

Опір системи:

$$\dot{X}_{C^{*}} = \frac{100}{30} = 3,33.$$

Розрахункова схема та схема заміщення показана на рисунках 2.2 та 2.3.

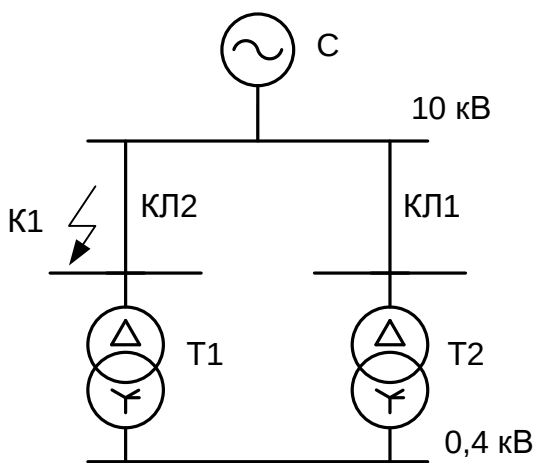


Рисунок 2.2 – Розрахункова схема

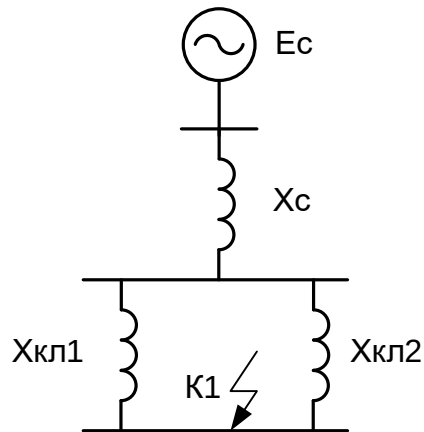


Рисунок 2.3 – Схема заміщення

Опір кабельної лінії:

$$x_{KL1^{*}} = 1,4 \cdot 0,095 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,12.$$

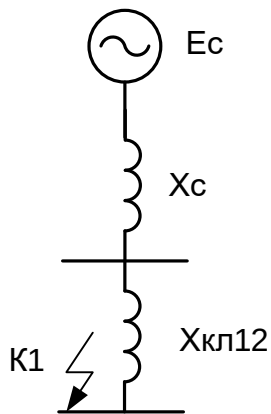


Рисунок 2.4 – Перетворена схема

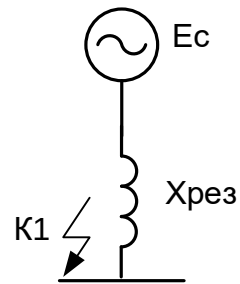


Рисунок 2.5 – Результируюча схема

Опір паралельних ліній за формулою (рис. 2.4):

$$x_{K/I12*} = \frac{0,12}{2} = 0,06.$$

Результирующий опір послідовних елементів становить:

$$x_{рез*} = 3,33 + 0,06 = 3,36.$$

Схема набуває вигляду, зображеного на рисунку 2.5.

Струм КЗ в точці К1 становить:

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

$$I_{no} = \frac{5,5}{3,36} = 1,64 \text{ кА}.$$

$$i_y = \sqrt{2} \cdot 1,3 \cdot 1,64 = 3,01 \text{ кА}.$$

Мінімальний переріз, який стійкий до термічної дії струмів КЗ:

$$F_{\min} = \frac{1640}{65} \cdot \sqrt{0,25} = 12,6 \text{ мм}^2.$$

Таким чином, розрахунковий переріз кабельної лінії напругою 10 кВ площею 35 мм² повністю відповідає критеріям термічної стійкості до впливу струмів короткого замикання. На підставі отриманих результатів до інсталяції остаточно прийнято кабель марки АПвЕгаПу-10-3×35.

Тепловий імпульс струму короткого замикання:

$$B_K = 1,64^2 \cdot 0,25 = 0,67 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

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

На рисунках 2.6 та 2.7 зображено розрахункову схему ТП та схему заміщення короткозамкненого кола.

Вихідні дані: $U_{\phi} = 0,4 \text{ кВ}$; $I_{KB} = 1,64 \text{ кА}$; $U_{CBH} = 10,5 \text{ кВ}$; параметри трансформатора: $S_T = 630 \text{ кВА}$, $\Delta P_K = 7,6 \text{ кВт}$, $u_K = 5,5\%$; параметри лінії показані в таблиці 2.12.

Розрахунок будемо робити за методикою Додатку А.10.

Опір системи:

- реактивний:

$$x_c = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 1,64} = 3,7 \text{ Ом};$$

- активний:

$$r_c = r_o \cdot l = 0,894 \cdot 1,4 = 1,251 \text{ Ом}.$$

					<i>ЛНТУ.971061.000 ПЗ</i>	Арк.
						27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Опір системи, який приведений до нижчої напруги:

- реактивний:

$$x_c^o = 3,7 \cdot \left(\frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 5,37 \text{ мОм};$$

- активний:

$$r_c^o = 1,251 \cdot \left(\frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 1,81 \text{ мОм}.$$

Опори трансформатора:

— активний:

$$r_T = \frac{7,6 \cdot 10^{-3} \cdot 0,4^2}{0,63^2} = 3,064 \text{ мОм};$$

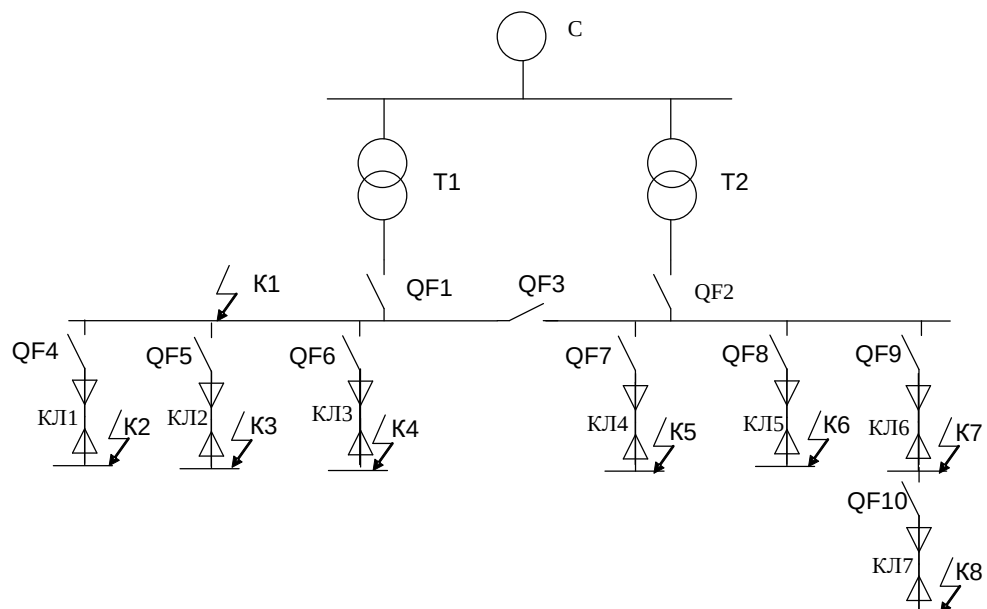


Рисунок 2.6 – Розрахункова схема

— реактивний:

					ЛНТУ.971061.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

$$x_T = \frac{5,5}{100} \cdot \frac{0,4^2}{630} = 0,014 \text{ мОм.}$$

Результуючі опори до точки К1:

– реактивний:

$$x_{рез1}^o = 5,37 + 0,014 = 5,384 \text{ мОм;}$$

– активний:

$$r_{рез1}^o = 1,81 + 3,064 + 15 = 19,874 \text{ мОм.}$$

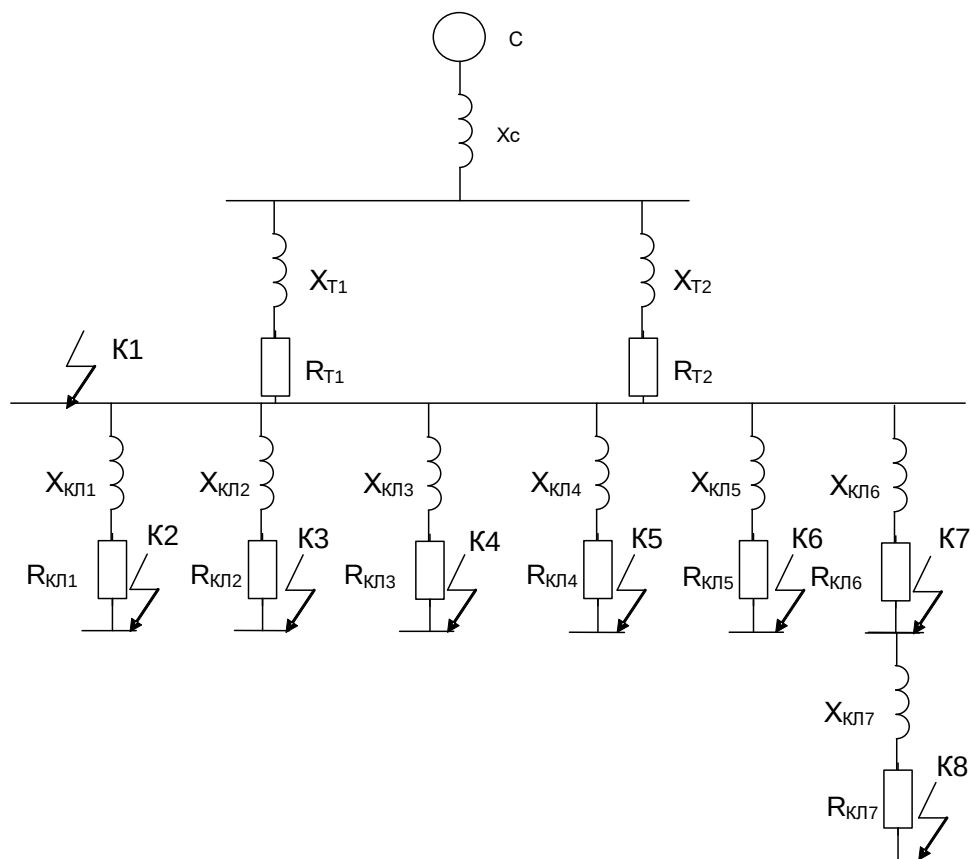


Рисунок 2.7 - Схема заміщення короткозамкненого кола

Розрахунок опорів КЛ зведемо в таблицю 2.12.

					ЛНТУ.971061.000 ПЗ	Арк.
						29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.12 – Розрахунок опорів КЛ

Назва КЛ	l , км	r_o , Ом/км	r , Ом	x_o , Ом/км	x , Ом
КЛ1	0,03	0,447	13,41	0,082	2,46
КЛ2	0,044	0,208	9,152	0,079	3,476
КЛ3	0,094	0,261	24,534	0,08	7,52
КЛ4	0,165	0,894	147,51	0,088	14,52
КЛ5	0,112	0,447	50,064	0,082	9,184
КЛ6	0,024	0,625	15	0,085	2,04
КЛ7	0,1	1,25	125	0,095	9,5

Здійснимо верифікацію обраних перерізів кабельних ліній напругою 0,4 кВ на відповідність умовам термічної стійкості до впливу струмів короткого замикання, використовуючи розрахункову залежність (А.9.7), що наведена в даному проекті. Результати розрахунку зводимо в таблицю 2.13.

Таблиця 2.13 – Результати розрахунку КЛ 0,4 кВ

Точка КЗ	$x_{рез}$, МОм	$r_{доп}$, МОм	$r_{рез}$, МОм	$z_{рез}$, МОм	I_k , кА	k_y	i_y , кА	F_{min} , мм ²	$F_{нр}$, мм ²
К1	5,38	15,00	19,87	20,59	11,23	1,05	16,67	—	—
К2	7,84	20,00	53,28	53,86	4,29	1	6,07	30,7	70
К3	8,86	20,00	49,03	49,82	4,64	1	6,56	33,1	150
К4	12,90	20,00	64,41	65,69	3,52	1	4,98	25,1	120
К5	19,90	20,00	187,38	188,44	1,23	1	1,73	8,8	35
К6	14,57	20,00	89,94	91,11	2,54	1	3,59	18,1	70
К7	7,42	20,00	54,87	55,37	4,18	1	5,90	29,8	50
К8	16,92	25,00	204,87	205,57	1,12	1	1,59	8,0	25

Всі умови виконуються, приймаємо вибрані перерізи кабелів до встановлення.

					ЛНТУ.971061.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

2.12. Вибір обладнання

2.12.1. Вибір комірок

Розміщення електрообладнання на стороні 10 кВ передбачено в камерах збірних одностороннього обслуговування серії КСО-399 (виробництва «Укрелектрокомплект») [17]. Верифікація та вибір даних комірок за технічними параметрами реалізовані згідно з регламентом Додатка А.11 із застосуванням розрахункових умов (А.11.1)–(А.11.5). Результати перевірки зведемо в таблицю 2.14.

Таблиця 2.14 – Перевірка та вибір комірок

Каталожні дані	Розрахункові дані
$U_{\text{ном.крп}}=10 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}}=10 \text{ кВ}$
$I_{\text{ном.крп}}=630 \text{ А}$	$I_{\text{р.мах}}=37,9 \text{ А}$
$I_{\text{ном.відкл.крп}}=20 \text{ кА}$	$I_{\text{к.мах}}=1,64 \text{ кА}$
$i_{\text{ном.дин.крп}}=51 \text{ кА}$	$i_{\text{у.мах}}=3,01 \text{ кА}$
$B_{\text{т}}=20^2 \cdot 1=400 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_{\text{к}}=1,64^2 \cdot 0,25=0,67 \text{ кА}^2\text{с}$

Всі умови виконуються, отже, приймаємо остаточно комірки типу КСО-399 УЗ.

2.12.2. Вибір роз'єднувачів

До встановлення попередньо прийняті роз'єднувачі внутрішнього виконання серії РВ-10, оснащені заземлювальними ножами (виробництва «Укрелектрокомплект») [18]. Результати верифікації обраних апаратів за параметрами електродинамічної та термічної стійкості систематизовано в таблиці 2.15.

Таблиця 2.15 – Перевірка та вибір роз'єднувачів

Розрахункові дані	Каталожні дані
$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
$I_{норм} = 18,97 \text{ А}$ $I_{макс} = 37,9 \text{ А}$	$I_{ном} = 630 \text{ А}$
$i_y = 3,01 \text{ кА}$	$i_{гр наскр} = 51 \text{ кА}$
$B_k = 1,64^2 \cdot 0,25 = 0,67 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_m = 20^2 \cdot 1 = 400 \text{ кА}^2\text{с}$

Так як умови виконуються, приймаємо остаточно роз'єднувачі типів РВ-03-10-630 УЗ.

2.12.3. Вибір вимикачів навантаження та запобіжників

Вибираємо вимикач навантаження ВН-РА (Укрелектрокомплект) [19] із запобіжниками. Результати перевірки вимикачів навантаження та запобіжників зведемо в таблицю 2.16.

Таблиця 2.16 – Перевірка та вибір вимикачів навантаження

Розрахункові дані	Каталожні дані
$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
$I_{норм} = 18,97 \text{ А}$ $I_{макс} = 37,9 \text{ А}$	$I_{ном} = 630 \text{ А}$
$i_y = 3,01 \text{ кА}$	$i_{гр наскр} = 20 \text{ кА}$
$I_{но} = 1,64 \text{ кА}$	$I_{гр наскр} = 10 \text{ кА}$
$B_k = 1,64^2 \cdot 0,25 = 0,67 \text{ кА}^2\text{с}$	$I_m^2 t_m = 20^2 \cdot 1 = 400 \text{ кА}^2\text{с}$
$I_{макс} = 37,9 \text{ А}$	$I_{ном.з} = 100 \text{ А}$
$I_{макс} = 37,9 \text{ А}$	$I_{вимк з} = 630 \text{ кА}$
$S'' = 30 \text{ МВА}$	$S_{вимк з} = 200 \text{ МВА}$

Приймаємо остаточно вимикач навантаження ВН-РА-03-П-10-630УЗ із запобіжником та ВН-РА-03-0-10-630УЗ без нього.

2.12.4. Вибір автоматичних вимикачів

На стороні 0,4 кВ силових трансформаторів ТП встановлюємо розподільні комірки типу ЩО-99 виробника (Укрелектрокомплект) [20], де встановлено автоматичні вимикачі виробника ЕТІ [21], які перевіряємо за умовами, як наведено в додатку А.12.

Вибір та перевірку зведемо в таблицю 2.17.

Таблиця 2.17 – Перевірка та вибір вимикачів 0,4 кВ

Назва вимикача	Тип вимикача ЕТІ	Каталожні дані			Розрахункові дані		
		$U_{ном.АВ},$ кВ	$I_{ном.розщ},$ А	$I_{гр.вимк},$ кА	$U_{ном},$ кВ	$I_p,$ А	$I_K,$ кА
QF1	EB2 630 / 3LE	0,4	630	35	0,4	484,6	11,23
QF2	EB2 630 / 3LE	0,4	630	35	0,4	484,6	11,23
QF3	EB2 125 / 3L	0,4	125	25	0,4	65,75	4,29
QF4	EB2 125 / 3L	0,4	125	25	0,4	114,52	4,64
QF5	EB2 125 / 3L	0,4	125	25	0,4	96,10	3,52
QF6	EB2 125 / 3L	0,4	125	25	0,4	38,29	1,23
QF7	EB2 125 / 3L	0,4	125	25	0,4	67,49	2,54
QF8	EB2 125 / 3L	0,4	125	25	0,4	59,97	4,18
QF9	EB2 630 / 3LE	0,4	630	35	0,4	484,6	11,23
QF10	EB2 125 / 3L	0,4	125	25	0,4	65,75	4,29
QF11	EB2 125 / 3L	0,4	125	25	0,4	114,52	4,64
QF12	EB2 125 / 3L	0,4	125	25	0,4	96,10	3,52
QF13	EB2 125 / 3L	0,4	125	25	0,4	38,29	1,23
QF14	EB2 125 / 3L	0,4	125	25	0,4	67,49	2,54
QF15	EB2 125 / 3L	0,4	125	25	0,4	59,97	4,18

Отже, приймаємо до встановлення вибрані вимикачі.

2.12.5. Вибір вимірювальної апаратури

Для реалізації комерційного обліку електричної енергії на вводах 0,4 кВ ТП встановлюємо трифазний електронний лічильник NIK2303 [22], який підключається до вимірювальних кіл через трансформатор струму. Також даний лічильник використовується для технічного контролю реактивної енергії на низьковольтних компенсуючих засобах.

Лічильники підключатись будуть через трансформатори струму типу ТШ-0,66 та Т-0,66 [23] (Мегомметр). Перевіряти будемо за методикою Додатку А.13. Результати перевірки зведемо в таблицю 2.18.

Таблиця 2.18 – Перевірка та вибір шинних ТС

Каталожні дані	Розрахункові дані
$I_{ном\text{ТС}}=630\text{ А}$ $U_{ном\text{ТС}}=0,72\text{ кВ}$ $i_{ном\text{дин}}=51\text{ кА}$ $B_m = I_m^2 t_m = 100\text{ кА}^2\cdot\text{с}$ $s_{2ном}=1,9\text{ ВА}$	$I_{p\text{ max}}= 484,6\text{ А}$ $U_{ном}=0,4\text{ кВ}$ $i_{y\text{ max}}= 16,67\text{ кА}$ $B_k = I_{k\text{ max}}^2 t_n = 11,23^2 \cdot 0,25 = 31,5\text{ кА}^2\cdot\text{с}$ $s_{2p}=0,286\text{ ВА}$

Розрахунок номінального навантаження трансформатора струму подано в таблиці 2.19.

Таблиця 2.19 – Розрахунок навантаження ТС

Назва приладу	Тип приладу	Навантаження, ВА
Електронний лічильник	NIK2303	5
Всього	—	5

Із метою контролю струму на лініях, що відходять встановлюємо амперметр СА3020-5 [24], вибираємо трансформатори струму типу Т-0,66. Результати перевірки зведемо в таблицю 2.20.

Таблиця 2.20 – Перевірка та вибір ТС

Каталожні дані	Розрахункові дані
$I_{ном\text{ТС}}=150 \text{ A}$	$I_{p\text{ max}}= 114,52 \text{ A}$
$U_{ном\text{ТС}}=0,72 \text{ кВ}$	$U_{ном}=0,4 \text{ кВ}$
$i_{ном\text{дин}}= 51\text{кА}$	$i_{y\text{ max}}= 6,56 \text{ кА}$
$B_m = I_m^2 t_m=100 \text{ кА}^2\cdot\text{с}$	$B_{\kappa} = I_{\kappa\text{ max}}^2 t_n=4,64^2\cdot0,25= 5,38 \text{ кА}^2\cdot\text{с}$
$s_{2ном}=1,9 \text{ ВА}$	$s_{2p}=0,6 \text{ ВА}$

Отже, приймаємо до встановлення вибрані трансформатори струму.

РОЗДІЛ 3

РОЗРАХУНОК СЕП РАДІАЛЬНО-СВЕРДЛИЛЬНОГО ВЕРСТАТУ

Методика розрахунку СЕП радіально-свердлильного верстату подана в додатку Б. Верстат MAST Metalltechnik M-RS 3050 встановлено в механообробному цеху.

Вихідні дані: $d = 50 \text{ мм}$; $s = 0,04 \text{ мм / об.}$; $T = 110 \text{ хв.}$

Розрахунок основних характеристик:

$$v = \frac{50}{0,04^{0,4} \cdot 110^{0,2}} = 70,8 \text{ м / хв.}$$

$$n_{\text{ун}} = \frac{10^3 \cdot 70,8}{3,14 \cdot 0,04^{0,4}} = 817,1 \frac{\text{об}}{\text{хв.}}$$

$$F_{\text{II}} = 9,81 \cdot 817,1 \cdot 14^1 \cdot 0,04^{0,75} = 10037 \text{ Н.}$$

$$P_{\text{дв}} = \frac{10037 \cdot 50}{60 \cdot 0,91} \cdot 10^{-3} = 9,2 \text{ кВт.}$$

За розрахунковим значення потужності двигуна вибираємо асинхронний двигун WEG W22 132M 2P IE1 9,2 kW [25] з такими технічними даними:

$$P_{\text{дв}} = 9,2 \text{ кВт}; n_{\text{ном}} = 3000 \text{ об / хв}; \eta = 88\%; \cos \varphi = 0,89.$$

Потужність усіх двигунів радіально-свердлильного верстату:

$$P_{\text{дв в}} = 9,2 + 1,5 + 0,25 + 0,25 + 0,5 = 11,7 \text{ кВт.}$$

					<i>ЛНТУ.971061.000 ПЗ</i>			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Електропостачання ремонтно-механічного заводу встановленою потужністю 510 кВт. Пояснювальна записка			
Розробив	Василевич А.В.							
Перевірив	Волинець В.І.							
Н. контр.	Ващелюк Ю.І.				ФАБЕ, гр. ЕЕ-43			
Затвердив	Волинець В.І.							

Напруга живлення верстату дорівнює 380 В. Живлення верстату здійснюється кабелем ВВГнгд-1 від розподільного пункту механообробного цеху. Вибрано було розподільний пункт 0,4 кВ марки ПР-11.

$$I_{\text{об}} = \frac{11,7}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,89 \cdot 0,88} = 21,6 \text{ А.}$$

Вибираємо для живлення нашого радіально-свердлильного верстату кабель ВВГнгд-5х4-1.

$$\Delta U_r = \frac{7,6}{1000} \cdot 100\% = 0,76\%.$$

$$\Delta U_x = \sqrt{7,6^2 - 1,0^2} = 7,53 \text{ \%}.$$

$$\Delta U_{TP} = 0,7 \cdot (0,76 \cdot 0,8 + 7,53 \cdot 0,6) = 3,58\%.$$

Втрати напруги в лінії від ТП до РП4 $\Delta U_{кл} = 0,93\%$. Тоді втрати напруги в КЛ ВВГнгд-5х4-1 розрахуємо за формулою:

$$\Delta U_{КЛ} = \sqrt{3} \cdot 21,6 \cdot 0,033 \cdot (4,63 \cdot 0,8 + 0,102 \cdot 0,6) = 4,64 \text{ В} \approx 1,16\%.$$

$$\Delta U = 3,58 + 0,93 + 1,16 = 5,67\% \leq \Delta U_{\text{дон}} = 6 \div 8\%.$$

Електрообладнання верстата базується на багатодвигунній системі привода, що охоплює п'ять функціональних одиниць: головний привод обертання шпинделя (М2), механізм переміщення траверси (М3), електропривод гідравлічного затискача (М4), вузол позиціонування шпиндельної головки (М5) та агрегат електронасоса системи охолодження (М1). Чотири з п'яти двигунів, розташовані на поворотній частині, отримують живлення 380 В через SF1 та спеціалізований кільцевий струмознімач (ХА1...ХА3), що забезпечує передачу напруги на рухому розподільну шафу.

					<i>ЛНТУ.971061.000 ПЗ</i>	Арк.
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Керування виконавчими механізмами М2 та М3 реалізовано за допомогою уніфікованого хрестового перемикача SA, що забезпечує селективний вибір одного з чотирьох векторів руху (ліворуч, праворуч, вгору або вниз).

Система релейного захисту та автоматики включає наступні функціональні блоки:

1. Селективний захист від надструмів: реалізований на базі плавких запобіжників (FU1–FU10), що забезпечують захист силових кіл та кіл керування від струмів короткого замикання.

2. Тепловий захист: термореле KK1 інтегроване в коло живлення шпіндельного двигуна (М2) для запобігання термічному пошкодженню при тривалих перевантаженнях.

3. Нульове блокування: реалізоване на базі реле KL1, що унеможливорює самовільний запуск приводів М2 та М3 після відновлення напруги живлення (якщо орган керування SA залишився в робочому положенні). Алгоритм безпеки передбачає обов'язкову деблокацію системи шляхом повторного натискання кнопки SB1. Схема керування радіально-свердлильним верстатом зображено на рисунку 3.1.

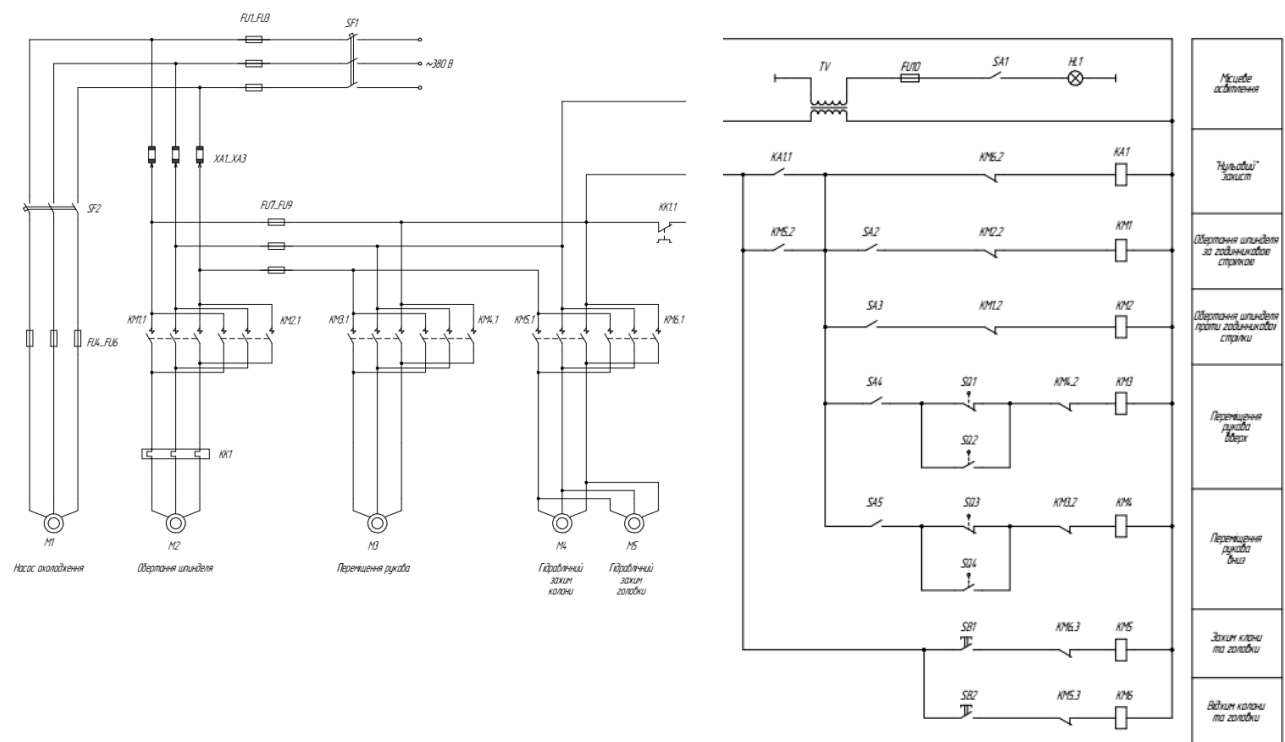


Рисунок 3.1 - Схема керування радіально-свердлильним верстатом

РОЗДІЛ 4

САПР

Розрахуємо центр електричних навантажень за допомогою *Mathcad*. На рисунках 4.1-4.3 зображено лістинг програми розрахунку ЦЕН для проєктованого ремонтно-механічного заводу.

Mathcad - [визначення ЦЕН]

Файл Правка Вид Вставка Формат Інструменти Символьные операции Окно Справка

Normal Arial 10 **B** *I* U 100% ?

Мой веб-узел Go

Розрахунок ЦЕН електричних навантажень ремонтно-механічного підприємства

Приймаємо кількість цехів підприємства: $n := 7$

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

$$X := \begin{pmatrix} 29 \\ 36 \\ 51 \\ 29 \\ 91 \\ 98 \\ 163 \end{pmatrix} \quad Y := \begin{pmatrix} 90 \\ 130 \\ 37 \\ 8.5 \\ 18 \\ 105 \\ 47 \end{pmatrix}$$

Формуємо матриці активної та реактивної потужності цехів підприємства:

$$P := (142.2 \ 83.2 \ 122.4 \ 49 \ 85.7 \ 49 \ 24.5)$$

$$Q := (69.9 \ 36.8 \ 52 \ 20.3 \ 37.2 \ 21.7 \ 16.2)$$

Рисунок 4.1 – Визначення ЦЕН проєктованого підприємства

					<i>ЛНТУ.971061.000 ПЗ</i>			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		Василевич А.В.			Електропостачання ремонтно-механічного заводу встановленою потужністю 510 кВт. Пояснювальна записка	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірив		Волинець В.І.				Д	39	2
Н. контр.		Ващелюк Ю.І.				ФАБЕ, гр. ЕЕ-43		
Затвердив		Волинець В.І.						

Mathcad - [визначення ЦЕН]

Файл Правка Вид Вставка Формат Инструменты Символьные операции Окно Справка

Normal Arial 10 B I U

Мой веб-узел Go

Здійснюємо визначення сумарної активної та реактивної потужності всього підприємства:

$$\text{sumP}(n) := \begin{cases} s \leftarrow 0 \\ \text{for } i \in 0..n-1 \\ s \leftarrow s + P_{0,i} \end{cases} \quad \text{sumQ}(n) := \begin{cases} s \leftarrow 0 \\ \text{for } i \in 0..n-1 \\ s \leftarrow s + Q_{0,i} \end{cases}$$

$\text{sumP}(n) = 556$ $\text{sumQ}(n) = 254.1$

Здійснюємо визначення суми добутків активної та реактивної потужності на координати центрів цехів:

$$\text{dobPX}(n) := \begin{cases} s \leftarrow 0 \\ \text{for } i \in 0..n-1 \\ s \leftarrow s + P_{0,i} \cdot X_{i,0} \end{cases} \quad \text{dobPY}(n) := \begin{cases} s \leftarrow 0 \\ \text{for } i \in 0..n-1 \\ s \leftarrow s + P_{0,i} \cdot Y_{i,0} \end{cases}$$

$\text{dobPX}(n) = 3.138 \times 10^4$ $\text{dobPY}(n) = 3.64 \times 10^4$

$$\text{dobQX}(n) := \begin{cases} s \leftarrow 0 \\ \text{for } i \in 0..n-1 \\ s \leftarrow s + Q_{0,i} \cdot X_{i,0} \end{cases} \quad \text{dobQY}(n) := \begin{cases} s \leftarrow 0 \\ \text{for } i \in 0..n-1 \\ s \leftarrow s + Q_{0,i} \cdot Y_{i,0} \end{cases}$$

$\text{dobQX}(n) = 1.474 \times 10^4$ $\text{dobQY}(n) = 1.688 \times 10^4$

Рисунок 4.2 - Визначення ЦЕН проєктованого підприємства

Mathcad - [визначення ЦЕН]

Файл Правка Вид Вставка Формат Инструменты Символьные операции Окно Справка

Normal Arial 10 B I U

Мой веб-узел Go

Визначаємо координати центрів активного та реактивного навантажень:

$$X_{ца} := \frac{\text{dobPX}(n)}{\text{sumP}(n)} \quad X_{ца}=50 \text{ м}$$

$$Y_{ца} := \frac{\text{dobPY}(n)}{\text{sumP}(n)} \quad Y_{ца}=58 \text{ м}$$

$$X_{цр} := \frac{\text{dobQX}(n)}{\text{sumQ}(n)} \quad X_{цр}=54 \text{ м}$$

$$Y_{цр} := \frac{\text{dobQY}(n)}{\text{sumQ}(n)} \quad Y_{цр}=61 \text{ м}$$

Рисунок 4.3 - Визначення ЦЕН проєктованого підприємства

РОЗДІЛ 5

ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА

Розрахунок контуру заземлення закритої трансформаторної підстанції

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

Таблиця 5.1 – Вхідні параметри розрахунку

Вхідні параметри	
Назва	Значення
Спосіб розташування вертикальних заземлювачів	в ряд
Розміри цеху, м	6x10
Матеріал та форма заземлювачів	сталь, труба
Розмір заземлювачів:	
- довжина, м	2,5
- зовнішній діаметр, м	0,08
Ширина шини, м	0,08
Вид ґрунту	чорнозем
Глибина залягання заземлюючого пристрою, м	0,7

Результати розрахунку згідно вимог додатку В та [27] зведені в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Результати розрахунку захисного заземлення

Параметр, од.вим.	Отримане значення
1	2
Питомий опір ґрунту, Ом·м	10
Кліматичний коефіцієнт φ_2 [27, т.5.2]	1,5
Розрахунковий питомий опір ρ_p , Ом·м	15
Відстань від поверхні землі до середини заземлювача t , м	1,95
Опір розтіканню струму однієї вертикальної труби R_{od} , Ом	4,27

					<i>ЛНТУ.971061.000 ПЗ</i>						
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Електропостачання ремонтно-механічного заводу встановленою потужністю 510 кВт. Пояснювальна записка				Літ.	Арк.	Аркушів
Розробив	Василевич А.В.								Д	41	2
Перевірив	Волинець В.І.										
Н. контр.	Ващелюк Ю.І.								ФАБЕ, гр. ЕЕ-43		
Затвердив	Волинець В.І.										

Продовження таблиці 5.2

Орієнтовна відстань між трубами a , м	37
Кількість заземлювачів n' , шт.	1
Коефіцієнт використання стержньових заземлювачів η [27, т.5.3]	0,9
Необхідна кількість заземлювачів з врахуванням коефіцієнта використання n , шт.	1
Коефіцієнт використання для шин $\eta_{ш}$ [27, т.5.4]	0,9
Опір розтіканню струму з'єднувальної шини $R_{ш}$, Ом	5,74
Опір заземлюючого пристрою без врахування опору шини $R_{ст}$, Ом	4,94
Загальний опір заземлюючого пристрою R , Ом	2,65

Оскільки загальний опір заземлюючого пристрою менший за нормативне значення 4 Ом, то приймаємо розроблену систему контуру заземлення до впровадження. Кількість заземлювачів - 1.

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

Необхідний рівень надійності електропостачання споживачів II категорії забезпечено проєктуванням двотрансформаторної підстанції з силовими трансформаторами марки ТМ-630/10 та застосуванням радіальної схеми розподілу електроенергії. Зовнішнє живлення підприємства реалізовано кабельною лінією АПвЕгаПу-10-3×35, прокладеною траншейним способом на нормативній глибині 0,7 м. З метою підтримки показників якості електроенергії та автоматичного регулювання реактивної потужності, на секціях шин 0,4 кВ передбачено встановлення автоматичних конденсаторних установок УКРМ (АКУ)-0,4-55-10У3. Обрана комутаційно-захисна апаратура відповідає сучасним вимогам щодо стійкості та надійності функціонування як у номінальному, так і в післяаварійному режимах роботи мережі.

В індивідуальному розділі виконано розрахунок системи електропостачання радіально-свердлильного верстату MAST Metalltechnik M-RS 3050 механообробного цеху; як головний привід обрано асинхронний електродвигун WEG W22 132M 2P IE1 номінальною потужністю 9,2 кВт.

За допомогою математичного середовища Mathcad розроблено алгоритм та визначено координати центру електричних навантажень підприємства.

Питання безпечної експлуатації електроустановок опрацьовано в розділі «Електробезпека», де розраховано контур захисного заземлення закритої ТП: отримане значення загального опору заземлювального пристрою $R = 2,65 \text{ Ом}$ повністю задовольняє вимогам нормативних документів.

					<i>ЛНТУ.971061.000 ПЗ</i>	Арк.
						43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. ДСТУ-Н Б В.2.5-80:2015. Настанова з проектування систем електропостачання промислових підприємств. [Чинний від 01.07.2016]. Вид. офіц. К: Мінрегіон України, 2016. 49 с.
2. Бурбело, М. Й. Розрахунок внутрішнього електропостачання : навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2017. 122 с.
3. Суворова К. І. Промислове освітлення : конспект лекцій для магістрів денної форми навчання спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка освітньо-професійної програми «Світлотехніка і джерела світла» / К. І. Суворова ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. 82 с.
4. ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення. [Чинний від 01.03.2019]. Вид. офіц. К: Мінрегіон України, 2018. 137 с.
5. Освітлювальне обладнання. URL: <https://horozua.com/cvetilnik-promishlennij-vlagozashhishhennij-podvesnoj-herkul-150/>
6. Бурбело М.Й. Проектування систем електропостачання. Приклади розрахунків. Навчальний посібник. Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. 148 с.
7. Рудницький В.Г. Внутрішньозаводське електропостачання. Курсове проектування: навчальний посібник 2-ге вид., перероб. та доповн. Київ : Освіта України, 2013. 287 с.
8. Конденсаторні установки. URL: <https://slavgoenergy.com.ua/ua/p1397782839-avtomaticheskie-kondensatornye-ustanovki.html>
9. Калужний Д.М. Конспект лекцій з курсу «Електропостачання та електрозбереження» (для студентів 4 курсу денної та заочної форм навчання за напрямом підготовки 6.050701 – Електротехніка та електротехнології та слухачів другої вищої освіти зі спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Електротехнічні системи

					<i>ЛНТУ.971061.000 ПЗ</i>	Арк.
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

електроспоживання) / Д. М. Калюжний, А. О. Карюк, І. Є. Щербак; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2016. 124 с.

10. Кабелі силові 10 кВ з ізоляцією з поліетилену. URL:

<https://www.yuzhcable.info/index.php?CAT=10&MRI=100107&UN=10>

11. Кабелі силові АBBГнг. URL:

<https://www.yuzhcable.info/index.php?CAT=18&MRI=180114>

12. Пункт розподільний 0,4 кВ. URL:

<https://electrocontrol.com.ua/ua/elektroshhitovoe-oborudovanie/punkt-raspredelitelnyj-pr11-pr11d>

13. Кабель ВВГнгд. URL: <https://www.yuzhcable.info/cat/18/mri/180117>

14. Правила улаштування електроустановок. Видання офіційне. Міненерговугілля України. Х. : Видавництво «Форт», 2017. 760 с.

15. Мілих В.І. Електропостачання промислових підприємств: Підручник для студентів електромеханічних спеціальностей / В.І. Мілих, Т.П. Павленко. Харків: ФОП Панов А.М., 2018. 269 с.

16. Перехідні процеси в системах електропостачання: підручник для ВНЗ / Г.Г. Півняк та ін. ; за заг. ред. Г.Г. Півняка. 5-е вид., доопрац. і допов. Дніпро : НГУ, 2016. 600 с.

17. Камера збірна одностороннього обслуговування КСО-399. URL:

<https://uelko.com/kso399.pdf>

18. Роз'єднувач РВ-10. URL: https://www.uelko.com/rv-10-630_1000.pdf

19. Вимикач навантаження ВН-РА. URL: <https://www.uelko.com/vn-ra.pdf>

20. Розподільчі комірки ЩО-99. URL: <https://uelko.com/so99.pdf>

21. Автоматичні вимикачі ВА88. URL: <https://uek.com.ua/product-category/sylovi-avtomatychni-vymykachi/avtomatychni-vymykachi-va88/>

22. Лічильник електроенергії NIK2303. URL: <https://nik-el.com/media/1933/%D0%9D%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%B0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%B0-%D0%B7->

					<i>ЛНТУ.971061.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

[%D0%B5%D0%BA%D1%81%D0%BF%D0%BB%D1%83%D0%B0%D1%82%D0%B0%D1%86%D1%96%D1%97-NIK-2303.pdf](#)

23. Трансформатори струму ТШ-0,66, Т-0,66. URL:

<https://www.megommetr.com/product-category/production-uk/transformers/>

24. Амперметр електронний трифазний СА3020-5. URL:

<https://principal.ua/ua/p710081373-ampermetr-trehfaznyj-elektronnyj.html?srsId=AfmBOoqJ0xFVotHBGe9FdojInRNX6yq9MO6Q7GcY3P8KxSSYxjE5SH94>

25. Асинхронний двигун WEG. URL:

<https://systemax.ua/ua/elektrodivigateli/trehfaznye-obshepromyshlennye-elektrodivigateli/w22-ie1/w22-132m-2p-ie1-9-2.html>

26. Інформаційні технології: Системи комп'ютерної математики [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / І. В. Кравченко, В. І. Микитенко. КПІ ім. Ігоря Сікорського . Електронні текстові дані (1 файл: 5,57 Мбайт). Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. 243с.

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

					<i>ЛНТУ.971061.000 ПЗ</i>	Арк.
						46
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		