

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 АВТОРЕМОНТНОГО
ПІДПРИЄМСТВА ВСТАНОВЛЕНОЮ ПОТУЖНІСТЮ
550 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-42
Кузнєцов Олександр Олександрович

(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

КУЗНЄЦОВ О.О. Електропостачання авторемонтного підприємства встановленою потужністю 550 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 авторемонтного підприємства встановленою потужністю 550 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 70 сторінок, 11 рисунків, 24 таблиці, 26 джерел літератури.

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

ANNOTATION

KUZNIETSOV O. Power supply of a car repair plant with an installed capacity of 550 kW. Manuscript.

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

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

A power supply system was developed for a car repair plant an installed capacity of 550 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 70 pages, 11 figures, 24 tables, 26 sources of literature.

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

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ПРОЄКТУВАННЯ	8
2 ОСНОВНІ ПРОЄКТНІ РІШЕННЯ	11
2.1 Розрахунок силових електричних навантажень	11
2.2 Розрахунок освітлювальних навантажень	12
2.2.1 Розрахунок освітлювальних навантажень підприємства	12
2.2.2 Розрахунок освітлювальної мережі слюсарно-механічного цеху	13
2.3 Визначення сумарних навантажень	14
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	18
2.8 Проєктування зовнішньої мережі живлення підприємства	19
2.9 Проєктування внутрішньої розподільної мережі	20
2.10 Вибір схеми електропостачання слюсарно-механічного цеху	22
2.11 Розрахунок струмів короткого замикання	24
2.11.1 Розрахунок струмів короткого замикання на стороні 10 кВ	24
2.11.2 Розрахунок струмів короткого замикання в мережі 0,4 кВ	26
2.12 Вибір обладнання	29
2.12.1 Вибір комірок	29
2.12.2 Вибір роз'єднувачів	30
2.12.3 Вибір вимикачів навантаження та запобіжників	31
2.12.4 Вибір автоматичних вимикачів	31
2.12.5 Вибір вимірювальної апаратури	32
3 РОЗРАХУНОК ВІТРОГЕНЕРАТОРА	34
4 САПР	36
5 ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА	38
ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ	40
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	41
ДОДАТКИ	44

					<i>ЛНТУ.971043.000 ПЗ</i>			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		Кузнецов О.О.			Електропостачання авторемонтного підприємства встановленою потужністю 550 кВт. Пояснювальна записка	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірив		Волинець В.І.				Д	6	70
						ФАБЕ, гр. ЕЕ-42		
Н. контр.		Ващелюк Ю.І.						
Затвердив		Волинець В.І.						

ВСТУП

Основою проєктування промислового енергогосподарства є побудова раціональної системи електропостачання (СЕП). Це досягається через оптимізацію кількості ступенів трансформації, обґрунтований вибір рівнів напруги, стратегічне розміщення підстанцій та застосування точних методів розрахунку навантажень. Ключовими критеріями при цьому виступають економічна ефективність та якість електроенергії.

У межах даного проєкту розроблено СЕП авторемонтного підприємства. Комплекс реалізованих технічних рішень охоплює: багаторівневий розрахунок силових та освітлювальних навантажень, побудову картограми із визначенням центру споживання, обґрунтування конфігурації ТП з інтегрованою компенсацією реактивної потужності, а також розрахунок струмів КЗ для вибору надійної захисної апаратури. Кожен елемент системи підтверджений техніко-економічним аналізом.

					<i>ЛНТУ.971043.000 ПЗ</i>	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1

КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ПРОЄКТУВАННЯ

Напрямки діяльності проєктованого підприємства такі:

1. Капітальний ремонт: повне розбирання автомобіля або агрегату (двигуна, коробки передач, рами), дефектовка, заміна або відновлення всіх зношених частин.

2. Технічне обслуговування (ТО): комплекс превентивних заходів (щоденне, періодичне, сезонне) для запобігання несправностям.

3. Поточний ремонт: усунення дрібних поломок та заміна окремих деталей для підтримки робочого стану транспортного засобу.

4. Відновлення деталей: механічна обробка, зварювання, наплавлення та інші технологічні процеси для повернення старим деталям їхніх початкових параметрів.

Основні виробничі потужності знаходяться у слюсарно-механічному цеху, дефектувальному цеху, цеху ремонту двигунів, складальному цеху. Також на території підприємства знаходяться електроцех, насосна та склад.

Основними технологічними електроустановками є: різноманітні металорізальні верстати, вантажопідйомні механізми, вентиляційні установки, преса, насоси, зварювальні апарати, освітлювальні установки та інші.

Генеральний план підприємства представлений на рисунку 1.1.

					<i>ЛНТУ.971043.000 ПЗ</i>			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Електропостачання авторемонтного підприємства встановленою потужністю 550 кВт. Пояснювальна записка	Літ.	Арк.	Аркушів
Розробив		Кузнецов О.О.				Д	8	3
Перевірив		Волинець В.І.						
Н. контр.		Ващелюк Ю.І.						
Затвердив		Волинець В.І.				ФАБЕ, гр. ЕЕ-42		

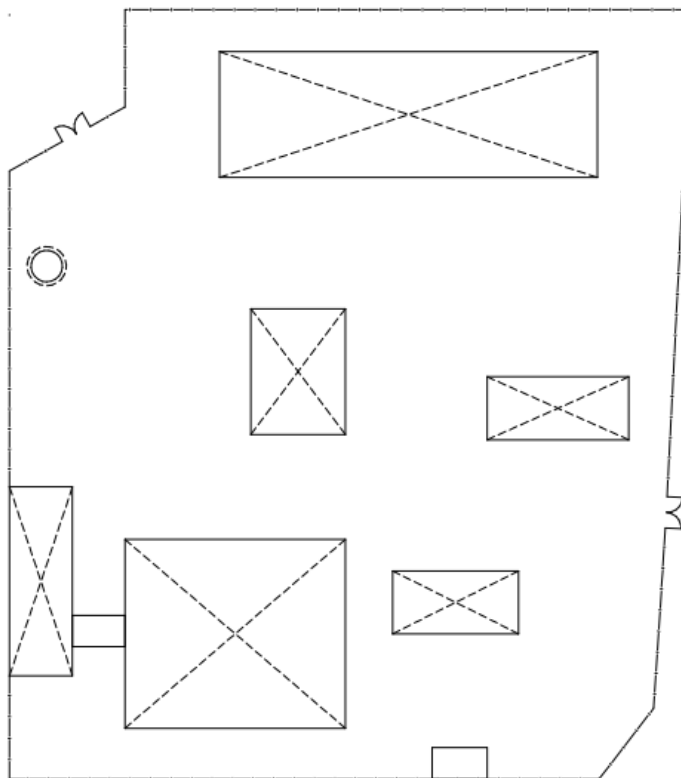


Рисунок 1.1 – Генеральний план підприємства

Вихідними даними для проєктування є такі:

1. Загальна площа підприємства - 16775 м^2 , з яких 4744 м^2 належить до площі будівель.
2. Установлена потужність підприємства - 550 кВт;
3. Відстань до джерела живлення – 1,4 км (РПС).
4. Потужність короткого замикання на шинах джерела живлення - 42 МВА;
5. Режим роботи підприємства - тризмінний.
6. Річна кількість годин роботи електрообладнання - 6000 годин;
7. Число годин роботи обладнання при максимальному навантаженні - 4500 годин;
8. Реактивна потужність, яка дозволена до використання енергосистемою - 165 кВАр.
9. Вартість 1 кВт·год електроенергії – 8,4 грн/кВт·год.

					<i>ЛНТУ.971043.000 ПЗ</i>	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

10. Частка споживачів II категорії надійності – 97%, решта –до III категорії.

Встановлена потужність підрозділів підприємства наведена в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Встановлена потужність цехів

Назва цеху	Встановлена потужність, кВт	Площа цеху, м ²
Слюсарно-механічний цех	171	1512
Дефектувальний цех	86	432
Цех ремонту двигунів	94	288
Насосна	38	28
Електротехнічний цех	70	324
Складальний цех	72	432
Склад	19	1728
Всього	550	4744

					ЛНТУ.971043.000 ПЗ				
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Електропостачання авторемонтного підприємства встановленою потужністю 550 кВт. Пояснювальна записка	Літ.	Арк.	Аркушів	
Розробив		Кузнецов О.О.				д	11	24	
Перевірів		Волинець В.І.							
Н. контр.		Ващелюк Ю.І.							
Затвердив		Волинець В.І.				ФАБЕ, гр. ЕЕ-42			

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
Наждак	4	12	3	0,35	1	1,33	4,2	5,59	3	2	8,4	6,15
Прес гідравлічний	2,5	5	2	0,17	1	1,17	1,36	1,59	2	2,9	3,94	1,75
Зварювальна установка	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	30				26,84	49,21			72,96	54,12
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		171	33				35,73	56,87			81,85	61,78

Таблиця 2.2 – Визначення силових навантажень всього підприємства

Назва цеху	Встановлена потужність $P_{вст}, кВт$	Розрахункові навантаження		
		$P_p, кВт$	$Q_p, кВАр$	$S_p, кВА$
Слюсарно-механічний цех	171	81,85	61,78	102,55
Дефектувальний цех	86	61,92	43,344	75,58
Цех ремонту двигунів	94	67,68	47,376	82,61
Насосна	38	27,36	19,152	33,40
Електротехнічний цех	70	50,4	35,28	61,52
Складальний цех	72	51,84	36,288	63,28
Склад	19	13,68	9,576	16,70
Всього	550	396	277,2	483,38

2.2. Розрахунок освітлювальних навантажень

2.2.1. Розрахунок освітлювальних навантажень підприємства

Визначення параметрів споживання освітлювальної мережі підприємства базується на методі питомої густини навантаження [4] згідно з алгоритмом, наведеним у Додатку А.2. Підсумкові показники

					ЛНТУ.971043.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

освітлювального навантаження для всіх підрозділів підприємства систематизовано в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Визначення освітлювальних навантажень підприємства

Назва підрозділу (цеху)	$E_{норм},$ лк	$F,$ $м^2$	$h,$ м	$P_{нум},$ $\frac{Вт}{м^2}$	$P_0,$ кВт	Тип лампи	$K_{пра}$	K_n	$tg\varphi$	$P_{ро},$ кВт	$Q_{ро},$ кВАр
Слюсарно-механічний цех	250	1512	6	16	24,2	LED	1,2	0,9	0,33	26,1	8,6
Дефектувальний цех	300	432	6	16	6,9	LED	1,2	0,9	0,33	7,5	2,5
Цех ремонту двигунів	250	288	6	16	4,6	LED	1,2	0,9	0,33	5,0	1,6
Насосна	75	28	6	12	0,3	LED	1,2	0,9	0,33	0,4	0,1
Електротехнічний цех	200	324	6	14	4,5	LED	1,2	0,9	0,33	4,9	1,6
Складальний цех	75	432	6	14	6,0	LED	1,2	0,9	0,33	6,5	2,2
Склад	100	1728	9	10	17,3	LED	1,2	0,9	0,33	18,7	6,2
Всього	-	4744	-	-	63,9	-	-	-	-	69,0	22,8

2.2.2. Розрахунок освітлювальної мережі слюсарно-механічного цеху

Виходячи з розрахункової площі цеху 1512 м² та встановленої питомої потужності 16 Вт/м², визначимо параметри освітлювальної установки. Згідно зі схемою планування, передбачено розміщення світильників у три ряди по 10 одиниць у кожному (сумарно 30 одиниць). Шляхом підстановки відомих значень у розрахункову формулу визначається необхідна одинична потужність лампи. Відповідно за таблицею відповідності переведемо питому потужність в значення для світлодіодних ламп:

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

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

Приймаємо до влаштування світлодіодний світильник зі світлодіодами фірми NICHIA (Японія) потужністю 100 Вт типу LE-СПО-11-100-0576-54X [5] (LEDEffect).

Перерахуємо кількість світильників з врахуванням вибраної потужності світильника:

$$n = \frac{1512 \cdot 2,4}{100} = 37,8 \text{ шт.}$$

Отже, приймаємо до встановлення 39 світильників (три ряди по 13 світильників в кожному ряду).

Система освітлення слюсарно-механічного цеху запроектована з поділом на робочу та аварійну мережі. Робоче освітлення отримує живлення від групового щита серії ОЩВ-9 (ІЕК) з номінальним струмом 63 А, укомплектованого автоматичними вимикачами ВА47-29. Розподільна мережа виконана проводом ПВС-3х2,5 (допустимий струм 25 А). Для забезпечення аварійного освітлення обрано промислові світильники LE-СПО-10-010-0387-40Д (LED-Effect), підключені до щита типу ЩАО (ЕКФ) на 16 А. Мережа аварійного живлення реалізована проводом ППВ-3х2,5. Для підвищення надійності живлення основної та аварійної груп передбачено від різних силових трансформаторів ТП.

2.3. Визначення сумарних навантажень

Визначимо повне навантаження на шинах низької напруги трансформаторної підстанції шляхом сумування силового та освітлювального навантаження цехів підприємства [6].

Результати розрахунків сумарного навантаження представлені в таблиці 2.4.

					<i>ЛНТУ.971043.000 ПЗ</i>	Арк.
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.4 – Розрахунок 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
Слюсарно-механічний цех	81,85	61,78	26,1	8,6	143,6	70,4	160,0
Дефектувальний цех	61,92	43,344	7,5	2,5	105,3	45,8	114,8
Цех ремонту двигунів	67,68	47,376	5,0	1,6	115,1	49,0	125,1
Насосна	27,36	19,152	0,4	0,1	46,5	19,3	50,3
Електротехнічний цех	50,4	35,28	4,9	1,6	85,7	36,9	93,3
Складальний цех	51,84	36,288	6,5	2,2	88,1	38,4	96,1
Склад	13,68	9,576	18,7	6,2	23,3	15,7	28,1
Всього	396	277,2	69,0	22,8	673,2	300,0	737,0

2.4. Розрахунок картограми навантажень та визначення теоретичного центру навантажень

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 навантажень

Назва цеху	X, м	Y, м	$P_{р\sum} \cdot x$	$P_{р\sum} \cdot y$	r, см	α
Слюсарно-механічний цех	43	27	6176,1	3878,0	7	65
Дефектувальний цех	6	38	631,6	4000,0	6	26
Цех ремонту двигунів	83	33	9549,6	3796,8	6	16
Насосна	8	98	372,1	4558,2	4	3
Електротехнічний цех	102	70	8739,4	5997,6	5	21
Складальний цех	53	78	4670,8	6874,0	5	27
Склад	72	127	1674,4	2953,5	3	289
Всього	-	-	31814,0	32058,2	-	-

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

$$x_a = \frac{31814,0}{673,2} = 47 \text{ м},$$

$$y_a = \frac{32058,2}{673,2} = 48 \text{ м}.$$

Позначаємо ЦЕН на генеральному плані підприємства. Оскільки ЦЕН припадає на кабельну траншею, то місце встановлення ТП-10/0,4 кВ зміщується на край території підприємства в сторону джерела живлення.

2.5. Вибір кількості та потужності трансформаторів

Визначення оптимальної кількості та одиничної потужності силових трансформаторів здійснюється згідно з методикою Додатка А.4. Вибір базується на порівняльному аналізі двох варіантів потужностей за критерієм мінімуму приведених витрат, що дозволяє знайти найбільш економічно ефективне рішення. Результати даних розрахунків представлені в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 - Розрахунок кількості та потужності силових трансформаторів

Показник	Варіант I	Варіант II
1	2	3
$P_{p\Sigma}$, кВт	673,20	673,20
$Q_{p\Sigma}$, кВАр	300,00	300,00
$S_{p\Sigma}$, кВА	737,02	737,02
F , м ²	4744	4744
σ , кВА/м ²	0,16	0,16
Тип трансформатора	ТМ-630	ТМ-1000
N_{min} , шт	1,5	1
m , шт	0	0

Продовження таблиці 2.6

1	2	3
N_{opt} , шт	2	1
$Q_{max T}$, кВАр	569,85	191,84
$Q_{НБК 1}$, кВАр	-269,85	108,16
K_{p1}	—	11
K_{p2}	—	10
γ	—	0,44
$Q_{НБК 2}$, кВАр	—	-248,16
$Q_{НБК}$, кВАр	—	108,16
Тип НБК	—	2хККУ-0,4-55/4-5-21У3
ΔP_x , кВт	1,05	1,55
ΔP_k , кВт	7,6	10,8
τ_m , год	2786,5	2786,5
ΔW , тис.кВт·год	33,41	30,51
C_e , тис.грн	280,61	256,28
K , тис.грн	884,00	717,60
$З$, тис.грн	391,11	345,98

Затрати на другий варіант менші, але оскільки на підприємстві переважають споживачі II категорії надійності, ми приймаємо до встановлення два трансформатора типу ТМ-630.

Необхідно перевірити вибрані трансформатори на перевантажувальну здатність з врахуванням відключення споживачів III категорії надійності, потужність яких складає 28,1 кВА:

$$1,4 \cdot 630 = 882 > \frac{2 \cdot (737,02 - 28,1)}{2} = 708,92 \text{ кВА.}$$

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

					ЛНТУ.971043.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

2.6. Компенсація реактивної потужності

Вибір високовольтних конденсаторних батарей (10 кВ) базується на визначенні дефіциту реактивної потужності в системі. При цьому обов'язково враховується ефект від компенсації, вже реалізованої на рівні низької напруги (0,4 кВ). Алгоритм обчислень наведено у Додатку А.5, а підсумкові показники систематизовано в таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 – Розрахунок потужності ВБК

Показник	Одиниці вимірювання	Значення
Q_p	кВАр	300
$Q_{етак}$	кВАр	165
$Q_{НБК}$	кВАр	0
ΔQ_T	кВАр	21,08
$k_{НС}$	–	0,85
Q_{M1}	кВАр	255,00
Q_{K1}	кВАр	90,00
$Q_{НСТ}$	кВАр	321,08
$Q_{ВБК}$	кВАр	111,08

На основі показників таблиці 2.7 встановлено, що розрахункове реактивне навантаження на стороні 10 кВ складає 111,08 кВАр. Використання високовольтних КУ номіналом 450 кВАр призведе до надлишкової генерації реактивної енергії (перекомпенсації). Тому, з метою дотримання балансу потужності, обрано варіант встановлення НБК на стороні низької напруги як більш раціональний. Приймаємо до встановлення на стороні 0,4 кВ трансформаторів наступні низьковольтні конденсаторні батареї 2хККУ-04-60/4-10-21УЗ [8] (УКРЕлком).

2.7. Визначення електричних навантажень на вищих рівнях

Порядок визначення електричних навантажень на вищих рівнях СЕП подано в додатку А.6. Розрахункове навантаження на стороні 10 кВ ТП за виразами (А.6.1, А.6.2) дорівнює:

					<i>ЛНТУ.971043.000 ПЗ</i>	Арк.
						18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$S_{p4} = \sqrt{(673,2 + 3,96)^2 + (300 + 21,08 - 120)^2} = 706,4 \text{ кВА},$$

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

2.8. Проектування зовнішньої мережі живлення підприємства

Раціональна напруга живлення нашого проєктованого підприємства визначається за [9]:

$$U = \sqrt{0,7064 \cdot (100 + 15 \cdot \sqrt{1,4})} = 9,12 \text{ кВ}.$$

Згідно з техніко-економічними міркуваннями та стандартним рядом напруг, живлення підприємства передбачено на напрузі 10 кВ від шин РПС ($L = 1,4$ км). Параметри кабельних ліній визначаються виходячи з навантажень нормального та післяаварійного режимів роботи. Методологія вибору та перевірки перерізів за нагрівом деталізована в Додатку А.7. Зокрема, розрахунок струму для післяаварійного стану виконується за виразом:

$$I_{нав} = \frac{706,4}{\sqrt{3} \cdot 10} = 40,8 \text{ А}.$$

Для мережі зовнішнього електропостачання вибираємо кабель марки АПвЕгаПу-10 - «кабель силовий з алюмінієвими СПЖ, ізоляцією зі зшитого поліетилену, поздовжньою та поперечною герметизацією екрану та посиленою зовнішньою оболонкою з поліетилену» [10].

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

$$I_{норм} = \frac{706,4}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 2} = 20,4 \text{ А}.$$

					ЛНТУ.971043.000 ПЗ	Арк.
						19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Результати розрахунків представлені в таблиці 2.8.

Таблиця 2.8 – Розрахунок приведених затрат КЛ

$F, \text{мм}^2$	$I_{\text{доп}}, A$	$I'_{\text{доп}}, A$	$r_0, \frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	$x_0, \frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	$\Delta U_{\text{норм}}, B$	$\Delta U_{\text{норм}}, \%$	$\Delta U_{\text{п ав}}, \%$	K_3	$\Delta P_H, \text{кВт}$	$\Delta P_D, \text{кВт}$	$C_e, \text{тис. грн.}$	$K, \text{тис. грн.}$	$3, \text{тис. грн.}$
35	119	119,33	0,894	0,095	16,08	0,16	0,32	0,17	26,73	0,78	18,942	2202,62	294,27
50	140	140,39	0,625	0,09	11,54	0,12	0,23	0,15	25,87	0,55	13,242	2339,44	305,67
70	171	171,48	0,447	0,086	8,52	0,09	0,17	0,12	27,60	0,39	9,471	2760,77	354,57
95	203	203,57	0,329	0,083	6,52	0,07	0,13	0,10	28,63	0,29	6,971	2862,76	364,82
120	232	232,65	0,261	0,081	5,36	0,05	0,11	0,09	29,67	0,23	5,530	3238,37	410,33

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

2.9. Проектування внутрішньої розподільної мережі

Електропостачання приймачів підприємства здійснюється напругою 0,4 кВ за змішаною схемою (рис.2.1). Для відповідальних об'єктів передбачено радіальне живлення, тоді як споживачі III категорії підключаються магістрально. Розрахунок перерізів кабелів виконано відповідно до методики, наведеної в Додатку А.8. Для схеми внутрішньозаводського електропостачання попередньо вибираємо кабель марки АПвББШп [11] «кабель силовий з алюмінієвою струмонесучою жилою, з ізоляцією з шитого поліетилену, броньований сталевими оцинкованими стрічками, із захисним шлангом з поліетилену». Кабель прокладається в землі в траншеї на глибині 0,7 м.

Для живлення окремих електроприймачів обрано розподільні пункти напругою 0,4 кВ. До встановлення прийнято обладнання серії ПР-11 (виробник ІЕК) [12], укомплектоване ввідними автоматами ВА88 та ВА47-100. Визначення розрахункових струмів виконується за формулою (А.8.1), а підсумкові дані наведено в таблицях 2.9 та 2.10.

					ЛНТУ.971043.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

Таблиця 2.9 – Розрахунок внутрішньої мережі підприємства

Назва цеху	$S_{p\Sigma},$ кВА	К-сть живл. ліній	$I_p,$ А	$I_{доп РП},$ А	Кіль- кість приймачів	Кіль- кість ліній	Кіль- кість РП	Позн. на рис.2.1	Тип автома- тичного вимикача
Слюсарно-механічний цех	160,0	2	115,61	400	33	36	1	ПР3	ВА88-37
Дефектувальний цех	114,8	2	82,95	400	7	12	1	ПР1	ВА88-33
Цех ремонту двигунів	125,1	2	90,39	400	10	12	1	ПР5	ВА88-33
Насосна	50,3	2	36,34	400	4	6	1	ПР2	ВА88-33
Електротехнічний цех	93,3	2	67,41	400	11	12	1	ПР7	ВА88-35
Складальний цех	96,1	2	69,44	400	9	12	1	ПР4	ВА88-37
Склад	28,1	1	40,61	400	6	9	1	ПР6	ВА88-33

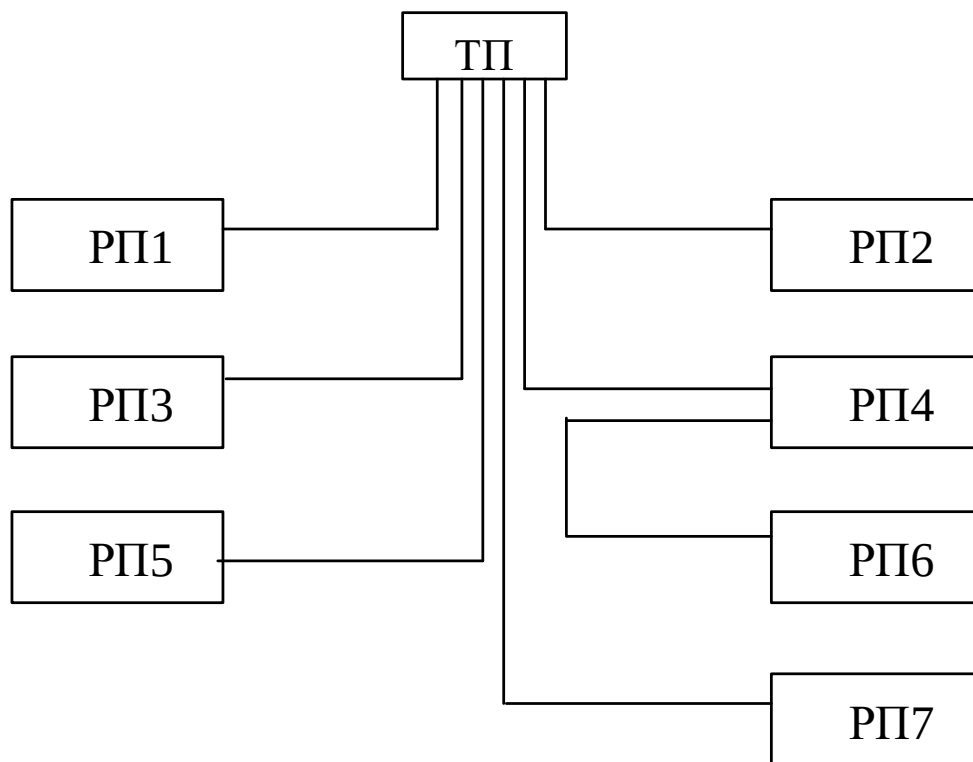


Рисунок 2.1 – Внутрішньозаводська мережа

Таблиця 2.10 – Перевірка внутрішньозаводської мережі на втрати напруги

Назва КЛ	n	$S_{p\Sigma},$ кВА	$I_p,$ А	Переріз кабелю АПвББШп	$l,$ км	$I_{доп},$ А	$F_e,$ мм ²	$I_{наг},$ А	$I'_{наг},$ А	$r_0,$ $\frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	$x_0,$ $\frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	$U_{норм},$ В	$\Delta U_{норм},$ %	$\Delta U_{наг},$ %
ТП-РП1	2	114,8	82,95	4x95	0,027	216	49	165,90	195,76	0,329	0,081	2,42	0,60	1,21
ТП-РП2	2	50,3	36,34	4x25	0,018	104	21	72,69	78,50	1,25	0,091	2,39	0,60	1,19
ТП-РП3	2	160	115,61	4x150	0,052	278	68	231,21	272,83	0,208	0,079	4,45	1,11	2,22
ТП-РП4	2	124,2	89,74	4x95	0,06	216	53	179,48	211,79	0,329	0,081	5,81	1,45	2,90
ТП-РП5	2	125,1	90,39	4x95	0,112	216	53	180,78	213,32	0,329	0,081	10,92	2,73	5,46
ТП-РП7	2	93,3	67,41	4x70	0,132	181	40	134,83	159,10	0,447	0,082	12,52	3,13	6,26
РП4-РП6	1	28,1	40,61	4x25	0,03	104	24	81,21	95,83	1,25	0,091	2,22	0,56	1,11

Так як усі перерізи КЛ пройшли перевірку успішно, то приймаємо ці перерізи остаточно.

2.10. Вибір схеми електропостачання слюсарно-механічного цеху

Перелік приймачів електричної енергії слюсарно-механічного цеху, їхня кількість та номінальна потужність наведені в таблиці 2.1 даного проєкту. Для живлення технологічного устаткування застосовується радіальна схема живлення.

Розрахункове навантаження слюсарно-механічного цеху становить $S_p=160$ кВА. Визначаємо струм в живлячій лінії:

$$I_p = \frac{160}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 2} = 115,61 \text{ А.}$$

Згідно п. 2.9 даного проєкту, в якості живлячого кабелю вибрано кабель марки АПвББШп-1-4x150 з допустимим струмом $I_{доп} = 278$ А.

					ЛНТУ.971043.000 ПЗ		Арк.
							22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Згідно табл. 2.9 було вибрано розподільчий пункт ПР11 з вбудованими автоматичними вимикачами типу ВА47-100 для якого $I_{дон}=400$ А, кількість ліній, що відходять 36.

Кабель ВВГнгд, який живить приймачі цеху, прокладено в підлозі в металоконструкціях.

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

Таблиця 2.11 – Вибір перерізів КЛ цеху

Назва обладнання	Номінальна потужність P_H , кВт	Кількість, шт	$\cos \varphi$	I_p , А	$I_{дон}$, А	Переріз кабелю ВВГнгд
Верстат токарно-гвинторізний	4	6	0,5	4,62	33	5x2,5
Верстат токарний	10	1	0,5	11,56	33	5x2,5
Верстат токарний	6,3	1	0,5	7,28	33	5x2,5
Верстат вертикально-свердлильний	1,1	3	0,5	1,27	33	5x2,5
Верстат вертикально-свердлильний	7	1	0,5	8,09	33	5x2,5
Верстат радіально-свердлильний	4	2	0,5	4,62	33	5x2,5
Верстат універсально-фрезерний	9,23	1	0,6	8,89	33	5x2,5
Верстат круглошліфувальний	6	2	0,6	5,78	33	5x2,5
Верстат хонінгувальний	2,8	1	0,6	2,70	33	5x2,5
Заточувальний верстат	4	1	0,5	4,62	33	5x2,5
Наждак	5	2	0,5	5,78	33	5x2,5
Прес гідравлічний	4	3	0,6	3,85	33	5x2,5
Зварювальна установка	2,5	2	0,65	2,22	33	5x2,5
Тельфер	20	2	0,4	28,90	33	5x2,5
Верстат радіально-свердлильний	0,9	2	0,5	1,04	33	5x2,5
Вентилятор	1,7	1	0,85	1,16	33	5x2,5
Насос	5,5	2	0,85	3,74	33	5x2,5

Приймаємо до встановлення вибрані перерізи кабелів, так як перевірки виконуються.

2.11. Розрахунок струмів короткого замикання

2.11.1. Розрахунок струмів короткого замикання на стороні 10 кВ

Розрахунок струмів КЗ на стороні 10 кВ будемо проводити у відносних наближеним методом одиниць за методою Додатку А.9.

Вихідні дані: $S_6=100$ МВА; $U_6 = U_{cp} = 10,5$ кВ; $S_{K3} = 42$ МВА.

Опір системи:

$$\dot{X}_{C^*} = \frac{100}{42} = 2,38.$$

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

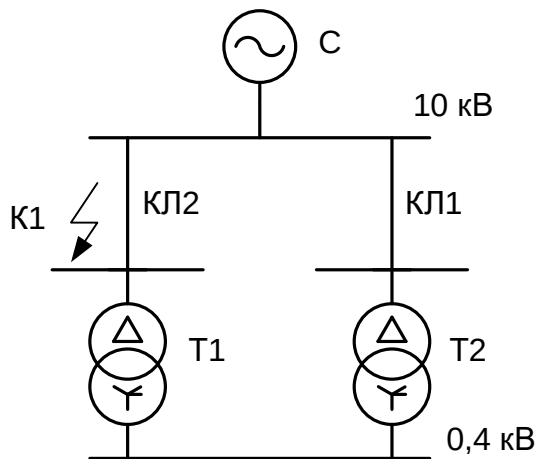


Рисунок 2.2 – Розрахункова схема

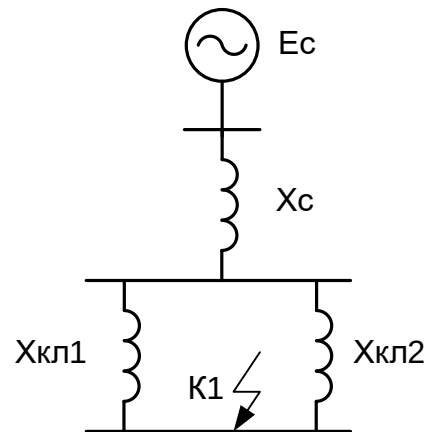


Рисунок 2.3 – Схема заміщення

Опір кабельної лінії:

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

Опір паралельних ліній за формулою (рис. 2.4):

$$x_{KL12^*} = \frac{0,12}{2} = 0,06.$$

Результуючий опір послідовних елементів становить:

$$x_{рез*} = 2,38 + 0,06 = 2,44.$$

Схема набуває вигляду, зображеного на рисунку 2.5.

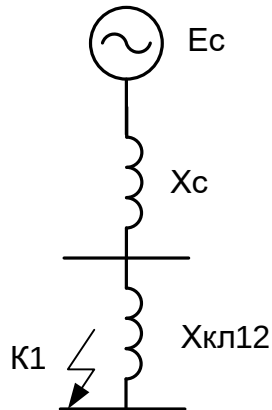


Рисунок 2.4 – Перетворена схема

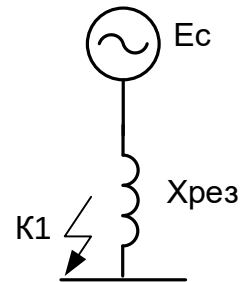


Рисунок 2.5 – Еквівалентна схема

Струм КЗ в точці К1 становить:

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

$$I_{no} = \frac{5,5}{2,44} = 2,254 \text{ кА}.$$

$$i_y = \sqrt{2} \cdot 1,3 \cdot 2,254 = 3,545 \text{ кА}.$$

Мінімальний переріз, який стійкий до термічної дії струмів КЗ:

$$F_{\min} = \frac{2254}{65} \cdot \sqrt{0,25} = 17,33 \text{ мм}^2.$$

Таким чином, обраний переріз кабелю 10 кВ (35 мм²) повністю відповідає вимогам термічної стійкості до струмів короткого замикання. Для подальшого монтажу остаточно прийнято кабель марки АПвЕгаПу-10-3х35.

Тепловий імпульс струму КЗ:

$$B_K = 2,254^2 \cdot 0,25 = 1,27 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

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

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

Вихідні дані: $U_0 = 0,4 \text{ кВ}$; $I_{KB} = 2,254 \text{ кА}$; $U_{CBH} = 10,5 \text{ кВ}$; $S_T = 630 \text{ кВА}$, $\Delta P_K = 7,6 \text{ кВт}$, $u_K = 5,5\%$; параметри лінії показані в таблиці 2.12.

Розрахунок будемо робити за методикою Додатку А.10.

Опір системи:

- реактивний:

$$x_c = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 2,254} = 2,692 \text{ Ом};$$

- активний:

$$r_c = r_o \cdot l = 0,894 \cdot 1,4 = 1,25 \text{ Ом}.$$

Опір системи, який приведений до нижчої напруги:

- реактивний:

$$x_c^o = 2,692 \cdot \left(\frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 3,906 \text{ мОм};$$

					ЛНТУ.971043.000 ПЗ	Арк.
						26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- активний:

$$r_c^o = 1,25 \cdot \left(\frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 1,81 \text{ мОм.}$$

Опоры трансформатора:

– активний:

$$r_T = \frac{7,6 \cdot 10^{-3} \cdot 0,4^2}{0,63^2} = 3,06 \text{ мОм;}$$

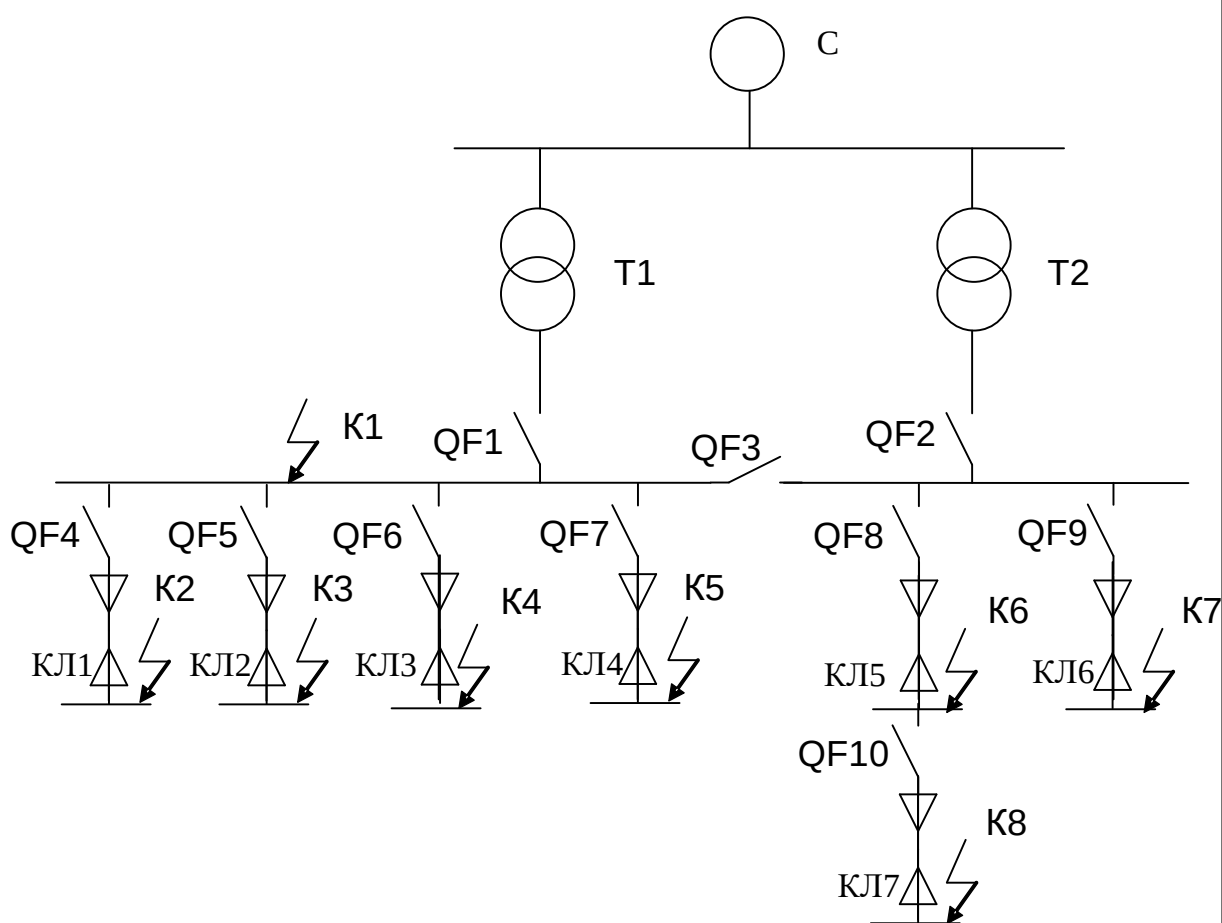


Рисунок 2.6 – Розрахункова схема

– реактивний:

$$x_T = \frac{7,6}{100} \cdot \frac{0,4^2}{630} = 0,019 \text{ мОм.}$$

Результуючі опори до точки К1:

– реактивний:

$$x_{рез1}^o = 3,906 + 0,019 = 3,925 \text{ мОм};$$

– активний:

$$r_{рез1}^o = 1,81 + 3,06 + 15 = 19,87 \text{ мОм}.$$

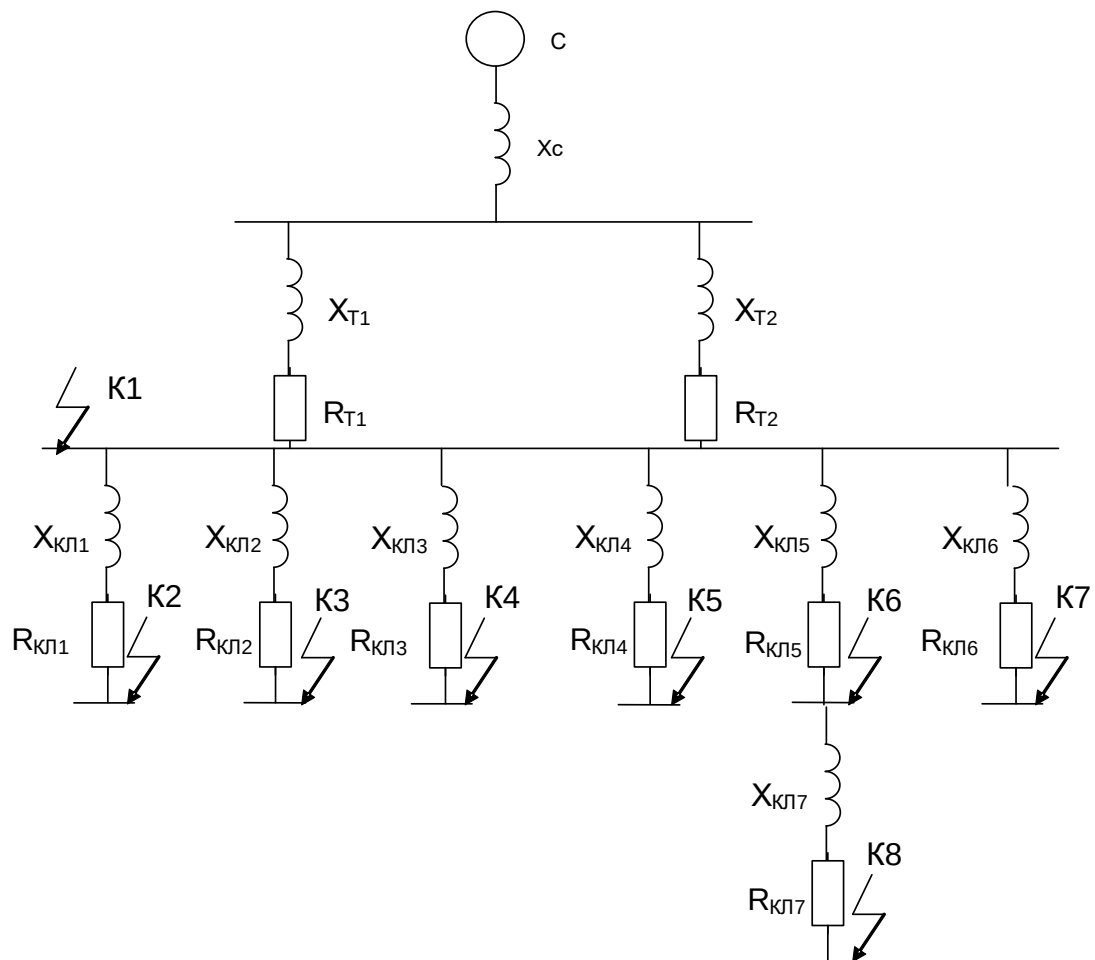


Рисунок 2.7 - Схема заміщення короткозамкненого кола

Розрахунок опорів КЛ зведемо в таблицю 2.12.

Таблиця 2.12 – Розрахунок опорів КЛ

Назва КЛ	l , км	r_o , Ом/км	r , Ом	x_o , Ом/км	x , Ом
КЛ1	0,027	0,329	8,883	0,081	2,187
КЛ2	0,052	0,208	10,816	0,079	4,108
КЛ3	0,112	0,329	36,848	0,081	9,072
КЛ4	0,132	0,447	59,004	0,082	10,824
КЛ5	0,06	0,329	19,74	0,081	4,86
КЛ6	0,018	1,25	22,5	0,091	1,638
КЛ7	0,03	1,25	37,5	0,091	2,73

Перевіримо вибрані перерізи КЛ-0,4 кВ на термічну стійкість до струмів КЗ згідно виразу (А.9.7), даного проєкту. Результати розрахунку зводимо в таблицю 2.13.

Таблиця 2.13 – Перевірка КЛ на термічну стійкість

Точка КЗ	$x_{рез}$, мОм	$r_{дод}$, мОм	$r_{рез}$, мОм	$z_{рез}$, мОм	I_k , кА	k_y	i_y , кА	F_{min} , мм ²	F_{np} , мм ²
K1	3,925	15	19,87	20,254	11,416	1,3	20,984	—	—
K2	6,112	20	48,753	49,135	4,706	1,1	7,319	31,4	95
K3	8,033	20	50,686	51,319	4,505	1,1	7,008	30,0	150
K4	12,997	20	76,718	77,811	2,971	1,1	4,622	19,8	95
K5	14,749	20	98,874	99,968	2,313	1,1	3,597	15,4	70
K6	8,785	20	59,61	60,254	3,837	1,1	5,969	25,6	95
K7	5,563	20	62,37	62,618	3,692	1,1	5,743	24,6	25
K8	11,515	30	127,11	127,631	1,812	1,1	2,818	12,1	25

Всі умови виконуються, приймаємо вибрані перерізи кабелів до встановлення.

2.12. Вибір обладнання

2.12.1. Вибір комірок

Розміщення обладнання 10 кВ передбачено в комірках серії КСО-399 (виробництва «Укрелектрокомплект») [16]. Їх вибір та перевірка виконані за методикою Додатка А.11 (формули А.11.1–А.11.5). До встановлення

					ЛНТУ.971043.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

прийнято комірки КСО-399УЗ, результати розрахункової перевірки яких наведено в таблиці 2.14.

Таблиця 2.14 - Вибір комірок

Каталожні дані	Розрахункові дані
$U_{\text{ном.крп}}=10 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}}=10 \text{ кВ}$
$I_{\text{ном.крп}}=630 \text{ А}$	$I_{\text{р.мах}}=40,8 \text{ А}$
$I_{\text{ном.відкл.крп}}=20 \text{ кА}$	$I_{\text{к.мах}}=2,254 \text{ кА}$
$i_{\text{ном.дин.крп}}=51 \text{ кА}$	$i_{\text{у.мах}}=3,545 \text{ кА}$
$B_{\text{т}}=20^2 \cdot 1=400 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_{\text{к}}=2,254^2 \cdot 0,25= 1,27 \text{ кА}^2\text{с}$

Результати перевірки підтверджують відповідність обраного обладнання заданим вимогам, що дозволяє остаточно затвердити використання комірок КСО-399УЗ.

2.12.2. Вибір роз'єднувачів

Для внутрішнього встановлення попередньо обрано роз'єднувачі серії РВ-10 (виробництва «Укрелектрокомплект») [17], що оснащені заземлюючими ножами. Підсумкові дані їх перевірки наведено в таблиці 2.15.

Таблиця 2.15 - Вибір роз'єднувачів

Розрахункові дані	Каталожні дані
$U_{\text{уст}}=10 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}}=10 \text{ кВ}$
$I_{\text{норм}}=20,4 \text{ А}$ $I_{\text{макс}}=40,8 \text{ А}$	$I_{\text{ном}}=630 \text{ А}$
$i_{\text{у}}=3,545 \text{ кА}$	$i_{\text{гр наскр}}=51 \text{ кА}$
$B_{\text{к}}=2,254^2 \cdot 0,25= 1,27 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_{\text{т}}=20^2 \cdot 1=400 \text{ кА}^2\text{с}$

За результатами перевірки параметрів обране обладнання (РВ-3-10-630 УЗ) повністю відповідає заданим вимогам і прийняте до експлуатації.

					<i>ЛНТУ.971043.000 ПЗ</i>	Арк.
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.12.3. Вибір вимикачів навантаження та запобіжників

Для захисту та комутації обрано обладнання ВН-РА із запобіжниками та без них [18]. Підсумкові результати перевірки обраних апаратів представлені у таблиці 2.16.

Таблиця 2.16 - Вибір вимикачів навантаження та запобіжників

Розрахункові дані	Каталожні дані
$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
$I_{ном} = 20,4 \text{ А}$ $I_{макс} = 40,8 \text{ А}$	$I_{ном} = 630 \text{ А}$
$i_y = 3,545 \text{ кА}$	$i_{гр наскр} = 20 \text{ кА}$
$I_{но} = 2,254 \text{ кА}$	$I_{гр наскр} = 10 \text{ кА}$
$B_k = 2,254^2 \cdot 0,25 = 1,27 \text{ кА}^2\text{с}$	$I_m^2 t_m = 20^2 \cdot 1 = 400 \text{ кА}^2\text{с}$
$I_{макс} = 40,8 \text{ А}$	$I_{ном.з} = 100 \text{ А}$
$I_{макс} = 40,8 \text{ А}$	$I_{вимк з} = 630 \text{ кА}$
$S'' = 22,54 \text{ МВА}$	$S_{вимк з} = 200 \text{ МВА}$

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

2.12.4. Вибір автоматичних вимикачів

Для розподілу електроенергії на стороні 0,4 кВ трансформаторної підстанції передбачено встановлення панелей типу ЩО-99 (виробництва «Укрелектрокомплект») [19]. У даних комірках застосовано автоматичні вимикачі серії ВА88 (ІЕК) [20], перевірка яких виконана згідно з вимогами та методикою Додатка А.12.

Вибір та перевірку зведемо в таблицю 2.17.

Таблиця 2.17 - Вибір автоматичних вимикачів

Назва вимикача	Тип вимикача	Каталожні дані			Розрахункові дані		
		$U_{ном. АВ}, \text{кВ}$	$I_{ном. розщ}, \text{А}$	$I_{гр. вимк}, \text{кА}$	$U_{ном}, \text{кВ}$	$I_p, \text{А}$	$I_K, \text{кА}$
QF1	ВА88-40	0,4	630	35	0,4	523	11,416
QF2	ВА88-40	0,4	630	35	0,4	523	11,416
QF3	ВА88-32	0,4	125	25	0,4	82,95	4,706
QF4	ВА88-32	0,4	125	25	0,4	36,34	4,505
QF5	ВА88-32	0,4	125	25	0,4	115,61	2,971
QF6	ВА88-32	0,4	125	25	0,4	89,74	2,313
QF7	ВА88-32	0,4	125	25	0,4	90,39	3,837
QF8	ВА88-32	0,4	125	25	0,4	67,41	3,692
QF9	ВА88-40	0,4	630	35	0,4	523	11,416
QF10	ВА88-32	0,4	125	25	0,4	82,95	4,706
QF11	ВА88-32	0,4	125	25	0,4	36,34	4,505
QF12	ВА88-32	0,4	125	25	0,4	115,61	2,971
QF13	ВА88-32	0,4	125	25	0,4	89,74	2,313
QF14	ВА88-32	0,4	125	25	0,4	90,39	3,837
QF15	ВА88-32	0,4	125	25	0,4	67,41	3,692

Отже, приймаємо до встановлення вибрані вимикачі.

2.12.5. Вибір вимірювальної апаратури

Для організації комерційного обліку на вводах низької напруги (НН) обрано трифазні електронні лічильники серії NIK2303 [21]. Їх підключення до мережі, а також технічний контроль реактивної енергії на низьковольтних батареях конденсаторів (НБК), здійснюється через вимірювальні трансформатори струму (ТС). До встановлення прийнято трансформатори типу ТШ-0,66 та Т-0,66 виробництва ПАТ «Мегомметр» [22], перевірка яких виконана згідно з методикою, наведеною в Додатку А.13.

Результати перевірки зведемо в таблицю 2.18.

					ЛНТУ.971043.000 ПЗ	Арк.
						32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.18 – Вибір ТС

Каталожні дані	Розрахункові дані
$I_{ном1TC}=600 \text{ А}$ $U_{номТС}=0,72 \text{ кВ}$ $i_{ном \text{ дин}}=51 \text{ кА}$ $B_m = I_m^2 t_m = 100 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$ $s_{2ном} = 5 \text{ ВА}$	$I_{p \text{ max}} = 523 \text{ А}$ $U_{ном} = 0,4 \text{ кВ}$ $i_{y \text{ max}} = 20,9 \text{ кА}$ $B_k = I_{k \text{ max}}^2 t_n = 11,42^2 \cdot 0,25 = 32,6 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$ $s_{2p} = 0,286 \text{ ВА}$

Розрахунок номінального навантаження трансформатора струму подано в таблиці 2.19.

Таблиця 2.19 – Вибір лічильників

Назва приладу	Тип приладу	Навантаження, ВА
Електронний лічильник	НІК2303	5
Всього	—	5

Із метою контролю струму на лініях, що відходять встановлюємо амперметр СА3020-5 [23], вибираємо трансформатори струму типу Т-0,66. Результати перевірки зведемо в таблицю 2.20.

Таблиця 2.20 – Вибір ТС фідерів

Каталожні дані	Розрахункові дані
$I_{ном1TC}=200 \text{ А}$ $U_{номТС}=0,72 \text{ кВ}$ $i_{ном \text{ дин}} = 51 \text{ кА}$ $B_m = I_m^2 t_m = 100 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$ $s_{2ном} = 5 \text{ ВА}$	$I_{p \text{ max}} = 115,61 \text{ А}$ $U_{ном} = 0,4 \text{ кВ}$ $i_{y \text{ max}} = 7,3 \text{ кА}$ $B_k = I_{k \text{ max}}^2 t_n = 4,71^2 \cdot 0,25 = 5,54 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$ $s_{2p} = 0,6 \text{ ВА}$

Отже, приймаємо до встановлення вибрані трансформатори струму.

РОЗДІЛ 3

РОЗРАХУНОК ВІТРОГЕНЕРАТОРА

Основним завданням розрахунку вітроелектричної установки є забезпечення автономного живлення насосної станції об'єкта. Відповідно до розрахункових даних (п. 2.1.3), активне навантаження станції складає 46,5 кВт. Проектом передбачено роботу вітрогенератора безпосередньо на мережу підприємства, без застосування систем накопичення енергії (акумуляторів). За даними спостережень середньорічна швидкість вітру в регіоні становить 4,25 м/с [24].

Потужність генератора збільшується на 10 % від потужності, яку він повинен забезпечувати:

$$P_{\Gamma} = 1,1 \cdot 46,5 = 51,15 \text{ кВт.} \quad (3.1)$$

Вибираємо за потужністю вітрогенератор з [25] Estar-H 60 кВт (Estar). Технічні характеристики вітрогенератора представлені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Технічні параметри вітрогенератора

№з/п	Параметр	Значення
1	Потужність генератора, кВт	60
2	Початкова швидкість вітру, м/с	2,5
3	Номинальна швидкість вітру, м/с	9
4	Рівень шуму, дБА	55
6	Напруга вітрогенератора, В	400
7	Кількість лопатей, шт	3
8	Діаметр ротора, м	22,5
9	ККД	0,9

					<i>ЛНТУ.971043.000 ПЗ</i>						
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Електропостачання авторемонтного підприємства встановленою потужністю 550 кВт.				Літ.	Арк.	Аркушів
Розробив	Кузнецов О.О.								Д	34	2
Перевірив	Волинець В.І.										
Н. контр.	Ващелюк Ю.І.										
Затвердив	Волинець В.І.				Пояснювальна записка				ФАБЕ, гр. ЕЕ-42		

Значення розрахункового струму:

$$I_p = \frac{60}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 86,7 \text{ A.} \quad (3.2)$$

Переріз за економічною густиною струму:

$$q_e = \frac{86,7}{1,6} = 54 \text{ мм}^2, \quad (3.3)$$

де $J_e = 1,6 \text{ А/мм}^2$ (для кабелів з гумовою та пластиковою ізоляцією та алюмінієвими жилами [8, табл.Т.1]).

Вибираємо кабель марки АВВГ-1-4х70 (Південкабель) для якого $I_{\text{доп}} = 165 \text{ А}$.

Перевіримо вибраний кабель за втратами напруги за виразом:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot 86,7 \cdot 0,05 \cdot (0,447 \cdot 0,8 + 0,082 \cdot 0,6) = 3,05 \text{ В}, \quad (3.4)$$

де $l = 50 \text{ м}$; $r_0 = 0,447 \text{ Ом/км}$, $x_0 = 0,082 \text{ Ом/км}$ [8, табл.С.2]; $\cos \varphi = 0,8$ – коефіцієнт потужності.

Значення втрат напруги у відсотках визначимо за виразом:

$$\Delta U \% = \frac{3,05}{400} \cdot 100 \% = 0,76 \%$$

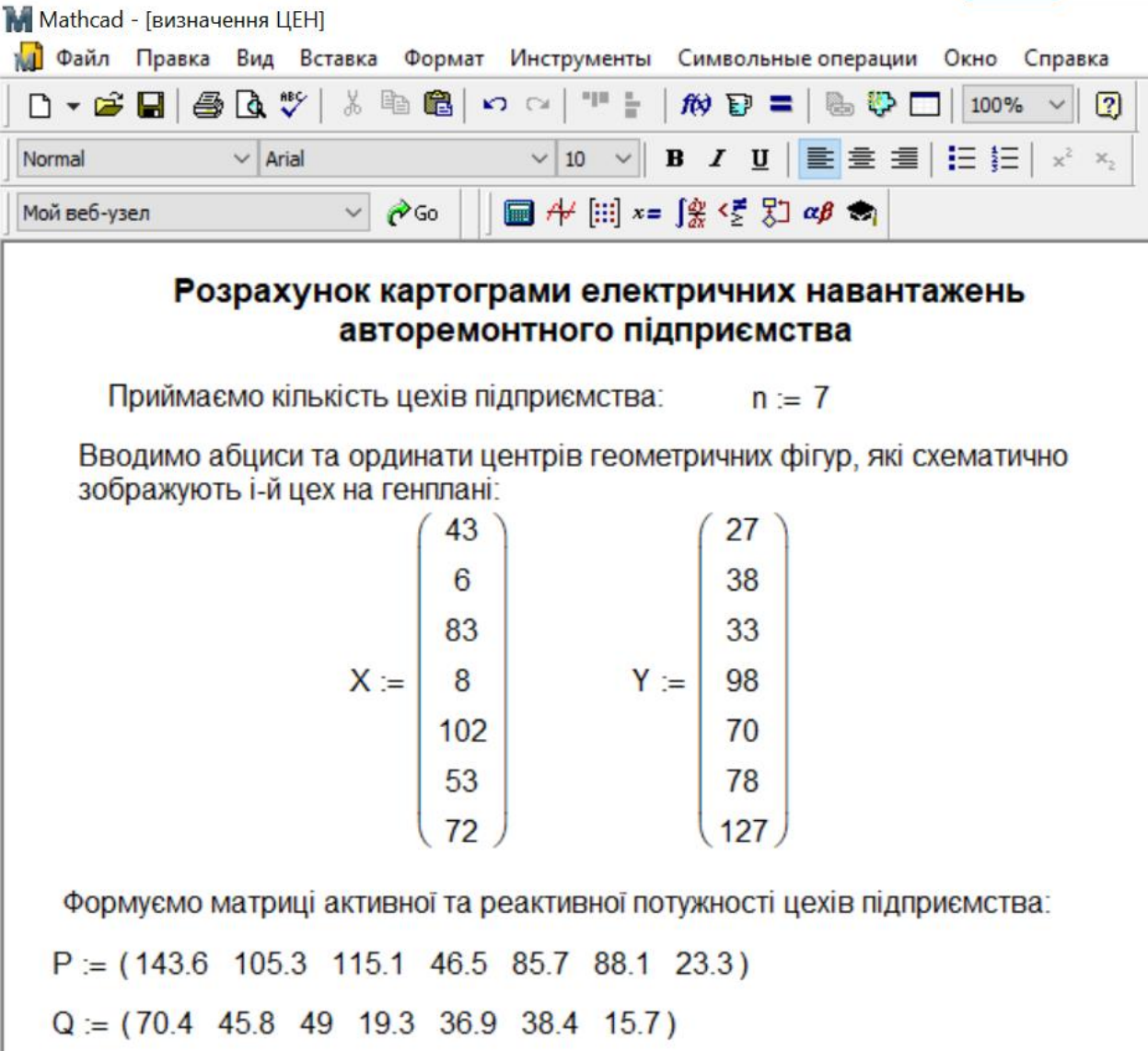
Оскільки розраховані втрати напруги не перевищують гранично допустимих 5%, обраний переріз кабелю є доцільним та відповідає нормативним вимогам..

					<i>ЛНТУ.971043.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

РОЗДІЛ 4

САПР

У другому розділі кваліфікаційного проекту визначався ЦЕН авторемонтного підприємства. Усі розрахунки проводились у математичному середовищі *PTC Mathcad*. На рисунках 4.1-4.3 зображено програму розрахунку.



Розрахунок картограми електричних навантажень авторемонтного підприємства

Приймаємо кількість цехів підприємства: $n := 7$

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

$$X := \begin{pmatrix} 43 \\ 6 \\ 83 \\ 8 \\ 102 \\ 53 \\ 72 \end{pmatrix} \quad Y := \begin{pmatrix} 27 \\ 38 \\ 33 \\ 98 \\ 70 \\ 78 \\ 127 \end{pmatrix}$$

Формуємо матриці активної та реактивної потужності цехів підприємства:

$$P := (143.6 \quad 105.3 \quad 115.1 \quad 46.5 \quad 85.7 \quad 88.1 \quad 23.3)$$

$$Q := (70.4 \quad 45.8 \quad 49 \quad 19.3 \quad 36.9 \quad 38.4 \quad 15.7)$$

Рисунок 4.1 – Розрахунок ЦЕН

					<i>ЛНТУ.971043.000 ПЗ</i>		
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			
Розробив	Кузнецов О.О.				Електропостачання авторемонтного підприємства встановленою потужністю 550 кВт. Пояснювальна записка	Літ.	Арк.
Перевірив	Волинець В.І.					Д	36
Н. контр.	Ващелюк Ю.І.					ФАБЕ, гр. ЕЕ-42	
Затвердив	Волинець В.І.						
						Аркушів	2

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:

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

$$\text{sumP}(n) = 607.6 \quad \text{sumQ}(n) = 275.5$$

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

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

$$\text{dobPX}(n) = 3.182 \times 10^4 \quad \text{dobPY}(n) = 3.206 \times 10^4$$

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

$$\text{dobQX}(n) = 1.445 \times 10^4 \quad \text{dobQY}(n) = 1.472 \times 10^4$$

Рисунок 4.2 - Розрахунок ЦЕН (продовження)

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:

$$X_{ца} := \frac{\text{dobPX}(n)}{\text{sumP}(n)} \quad X_{ца}=47 \text{ м}$$

$$Y_{ца} := \frac{\text{dobPY}(n)}{\text{sumP}(n)} \quad Y_{ца}=48 \text{ м}$$

$$X_{цр} := \frac{\text{dobQX}(n)}{\text{sumQ}(n)} \quad X_{цр}=47.2 \text{ м}$$

$$Y_{цр} := \frac{\text{dobQY}(n)}{\text{sumQ}(n)} \quad Y_{цр}=48.1 \text{ м}$$

Рисунок 4.3 - Розрахунок ЦЕН (продовження)

РОЗДІЛ 5

ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА

Розрахунок контуру заземлення ЗТП-10/0,4 кВ

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	3
- зовнішній діаметр, м	0,09
Ширина шини, м	0,09
Вид ґрунту	глина
Глибина залягання заземлюючого пристрою, м	0,9

Результати розрахунку згідно вимог додатку В та [26] зведені в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Результати розрахунку захисного заземлення

Параметр, од.вим.	Отримане значення
1	2
Питомий опір ґрунту, Ом·м	8
Кліматичний коефіцієнт φ_2 [26, т.5.2]	2,4
Розрахунковий питомий опір ρ_p , Ом·м	19,2
Відстань від поверхні землі до середини заземлювача t , м	2,4
Опір розтіканню струму однієї вертикальної труби R_{od} , Ом	4,61

					<i>ЛНТУ.971043.000 ПЗ</i>			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив	Кузнєцов О.О.				Електропостачання авторемонтного підприємства встановленою потужністю 550 кВт. Пояснювальна записка	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірив	Волинець В.І.					Д	38	2
Н. контр.	Ващелюк Ю.І.					ФАБЕ, гр. ЕЕ-42		
Затвердив	Волинець В.І.							

Продовження таблиці 5.2

Орієнтовна відстань між трубами a , м	35
Кількість заземлювачів n' , шт.	1
Коефіцієнт використання стержньових заземлювачів η [26, т.5.3]	0,8
Необхідна кількість заземлювачів з врахуванням коефіцієнта використання n , шт.	1
Коефіцієнт використання для шин $\eta_{ш}$ [26, т.5.4]	0,8
Опір розтіканню струму з'єднувальної шини $R_{ш}$, Ом	6,88
Опір заземлюючого пристрою без врахування опору шини $R_{ст}$, Ом	7,81
Загальний опір заземлюючого пристрою R , Ом	3,66

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

Для двотрансформаторної підстанції 10/0,4 кВ обґрунтовано вибір силових трифазних оливних трансформаторів ТМ-630/10. Зовнішнє електропостачання підприємства забезпечується кабельною лінією на базі кабелю АПвЕгаПу-10-3×35 виробництва заводу «Південкабель». З метою компенсації реактивної потужності на шинах 0,4 кВ інтегровано низьковольтні батареї конденсаторів сумарною потужністю 120 кВАр. Обране комутаційно-захисне обладнання пройшло верифікацію на відповідність параметрам роботи в нормальному та післяаварійному режимах мережі.

В індивідуальному розділі проєкту виконано розрахунок та обґрунтовано вибір вітрогенератора Estar-H потужністю 60 кВт як додаткового джерела енергії.

Використовуючи інструментарій САПР у середовищі Mathcad, визначено координати центру електричних навантажень авторемонтного підприємства, які становлять (47м; 48м).

У розділі «Електробезпека» розраховано параметри контуру захисного заземлення закритої ТП: отримане значення опору 3,66 Ом повністю задовольняє нормативну вимогу, що не перевищує 4 Ом.

					<i>ЛНТУ.971043.000 ПЗ</i>	Арк.
						40
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://ledeffect.com.ua/industrial-lighting/height.html>
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://www.ukrelcom.com/kond_uk.php
9. Калужний Д.М. Конспект лекцій з курсу «Електропостачання та електрозбереження» (для студентів 4 курсу денної та заочної форм навчання за напрямом підготовки 6.050701 – Електротехніка та електротехнології та слухачів другої вищої освіти зі спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Електротехнічні системи електроспоживання) / Д. М. Калюжний, А. О. Карюк, І. Є. Щербак; Харків.

					<i>ЛНТУ.971043.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

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 XLPE. URL:

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

11. Кабелі силові з ізоляцією ШПЕ 1 кВ. URL:

<https://www.yuzhcable.info/index.php?CAT=18&MRI=180125&UN=1>

12. Пункт розподільний 0,4 кВ. URL: <https://www.avtomats.com.ua/3533-pr-11.html>

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

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

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

16. Камера збірна одностороннього обслуговування КСО-399. URL: <https://uelko.com/kso399.pdf>

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

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

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

20. Автоматичні вимикачі ВА88. URL: https://www.avtomats.com.ua/1750-va_88.html?attr_opt=46:2600

21. Лічильник електроенергії NIK2303. URL: <http://www.nik.net.ua/ua/product/NIK-2303-2>

22. Трансформатори струму ТШ-0,66, Т-0,66. URL: <https://www.megommetr.com/index.php/transformatory-toka>

23. Амперметр електронний трифазний СА3020-5. URL: http://usk.ua/amper_sa3020.html

					<i>ЛНТУ.971043.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

24. Основи вітроенергетики: підручник. Г. Півняк, Ф. Шкрабець, Н. Нойбергер, Д. Ципленков : М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. Д. : НГУ, 2015. 335 с.
25. Вітрогенератор Estar-Н. URL: <https://estar.com.ua/ua/p2463202317-gorizontalnyj-vetrogenerator-estar.html>
26. Сивко В.Й. Розрахунки з охорони праці: навчальний посібник. Житомир. ЖІТІ, 2001. 152 с.

					<i>ЛНТУ.971043.000 ПЗ</i>	Арк.
						43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		