

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 ПІДПРИЄМСТВА З
ВИРОБНИЦТВА ГІДРОТЕХНІЧНИХ СПОРУД
ВСТАНОВЛЕНОЮ ПОТУЖНІСТЮ 1000 кВт

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

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

Виконав: здобувач вищої освіти
групи ЕЕ-41
Турчак Владислав Володимирович

(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

ТУРЧАК В. В. Електропостачання підприємства з виробництва гідротехнічних споруд встановленою потужністю 1000 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 підприємства з виробництва гідротехнічних споруд встановленою потужністю 1000 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 72 сторінки, 11 рисунків, 23 таблиці, 29 джерел літератури.

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

ANNOTATION

TURCHAK V. Power supply of the enterprise for the production of hydraulic structures with an installed capacity of 1000 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 enterprise for the production of hydraulic structures an installed capacity of 1000 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 72 pages, 11 figures, 23 tables, 29 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	12
2.2.1. Розрахунок освітлювальних навантажень підприємства	12
2.2.2. Розрахунок освітлювальної мережі бетонно-формуального 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	17
2.7. Визначення електричних навантажень на вищих рівнях	18
2.8. Проєктування зовнішньої мережі живлення підприємства	18
2.9. Проєктування внутрішньої розподільної мережі	19
2.10. Вибір схеми електропостачання бетонно-формуального цеху	21
2.11. Розрахунок струмів короткого замикання	22
2.11.1. Розрахунок струмів короткого замикання на стороні 10 кВ	22
2.11.2. Розрахунок струмів короткого замикання в мережі 0,4 кВ	24
2.12. Вибір обладнання	27
2.12.1. Вибір комірок	27
2.12.2. Вибір роз'єднувачів	28
2.12.3. Вибір вимикачів навантаження та запобіжників	28
2.12.4. Вибір автоматичних вимикачів	29
2.12.5. Вибір вимірювальної апаратури	30
РОЗДІЛ 3 РОЗРАХУНОК ГІБРИДНОЇ (СОНЦЕ-ВІТЕР) ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ	32
РОЗДІЛ 4 САПР	36
РОЗДІЛ 5 ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА	38
ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ	40
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	41
ДОДАТКИ	44

					<i>ЛНТУ.971029.000 ПЗ</i>			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Електропостачання підприємства з виробництва гідротехнічних споруд встановленою потужністю 1000 кВт. Пояснювальна записка	Літ.	Арк.	Аркушів
Розробив	Турчак В.В.					Д	6	72
Перевірив	Волинець В.І.							
Н. контр.	Ващелюк Ю.І.					ФАБЕ, гр. ЕЕ-41		
Затвердив	Волинець В.І.							

ВСТУП

Виробництво гідротехнічних споруд - це складний технологічний процес, що охоплює роботу потужного зварювального обладнання, вантажопідйомних механізмів, металообробних верстатів та систем антикорозійного захисту.

Специфіка такого підприємства полягає у наявності великої кількості споживачів I та II категорій надійності, що вимагає безперебійного живлення для запобігання виробничому браку та гарантування безпеки праці. Ефективна система електропостачання має не лише забезпечувати передачу енергії, а й мінімізувати її втрати, підтримувати стабільний рівень напруги та враховувати можливості майбутнього розширення потужностей.

Актуальність теми зумовлена необхідністю проектування електричних мереж із використанням енергоефективного обладнання, впровадженням систем автоматизації та компенсації реактивної потужності для зниження собівартості готової продукції в умовах ринку.

Метою кваліфікаційного проєкту є розробка системи електропостачання підприємства з виробництва гідротехнічних споруд, яка забезпечить техніко-економічну ефективність, надійність та безпеку експлуатації електроустановок.

					<i>ЛНТУ.971029.000 ПЗ</i>	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1

КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ПРОЄКТУВАННЯ

Структура промислового об'єкта включає низку основних підрозділів: бетонно-формуvalьний, механообробний, зварювально-складальний цехи, а також цеху металоконструкцій та спецпокриттів. Допоміжна інфраструктура представлена складським господарством, котельнею, лабораторією неруйнівного контролю та адміністрацією. Генеральний план підприємства зображено на рисунку 1.1.

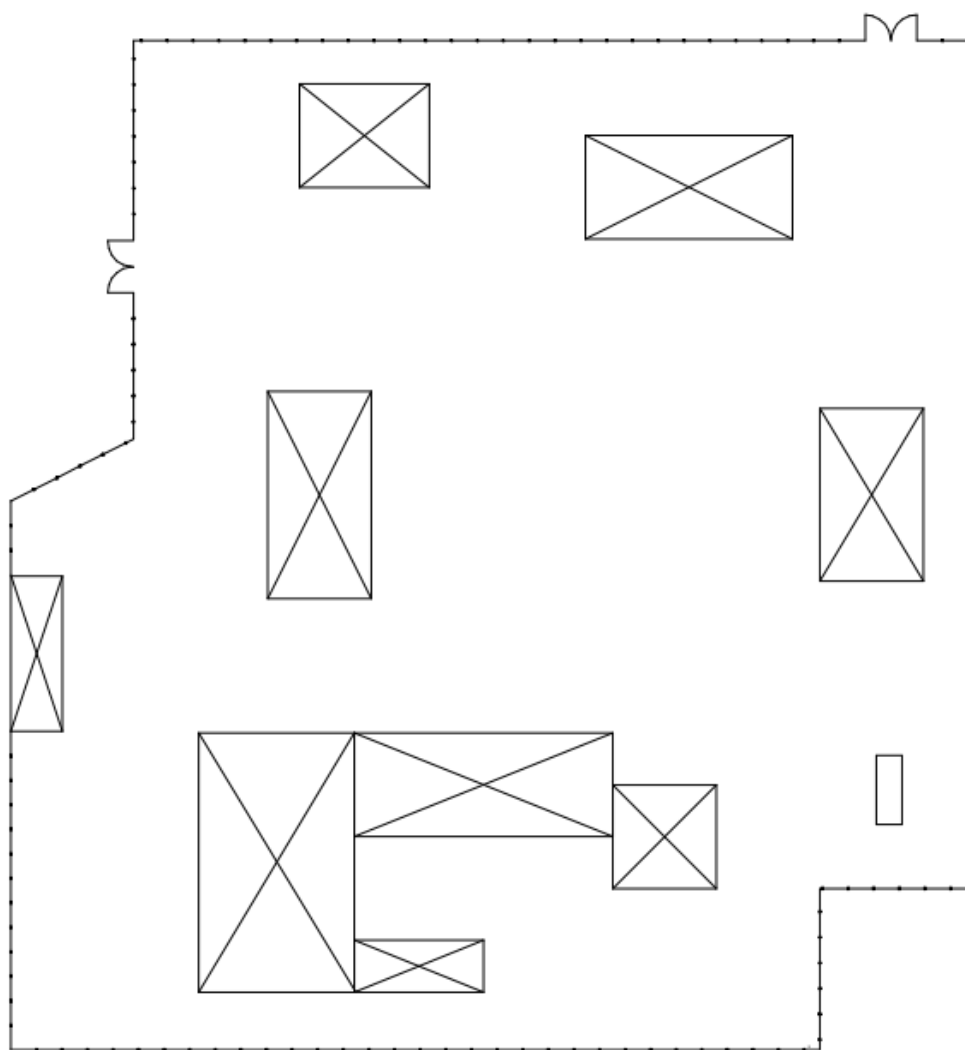


Рисунок 1.1 – Генеральний план заводу з виробництва бетонних сумішей

					<i>ЛНТУ.971029.000 ПЗ</i>		
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Електропостачання підприємства з виробництва гідротехнічних споруд встановленою потужністю 1000 кВт. Пояснювальна записка		
Розробив	Турчак В.В.						
Перевірив	Волинець В.І.						
Н. контр.	Ващелюк Ю.І.						
Затвердив	Волинець В.І.						
					Літ.	Арк.	Аркушів
					Д	8	3
					ФАБЕ, гр. ЕЕ-41		

У даному проєкті більш детально буде виконано розрахунок мережі бетонно-формуального цеху. В цьому цеху є наявності таке обладнання як бетонно-змішувачі, конвеєри, глибинні вібратори, преса, вентилятори та інші.

Встановлена потужність корпусів та будівель подано в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Значення площі цехів та встановленої потужності

Назва	Встановлена потужність $P_{вст}$, кВт	Площа цехів F , м ²
Бетонно-формувальний цех	91,5	1440
Цех металоконструкцій	194,5	2300
Зварювально-складальний цех	182	1252
Склад	37	450
Цех спецпокриттів	160	576
Котельня	92	650
Лабораторія неруйнівного контролю	15	940
Адміністрація	18	1152
Механообробний цех	210	360
Всього	1000	9120

Проектним завданням задано:

- територія підприємства становить - 46200 м²;
- площа цехів та споруд - 9120 м²;
- встановлена потужність 1000 кВт;
- джерело живлення підприємства - шини 10 кВ районної ТП;
- відстань до джерела живлення – 1,9 км;
- потужність короткого замикання на шинах ДЖ – 82 МВА;
- режим роботи – тризмінний;
- річна кількість годин роботи електрообладнання $T=6000$ годин;
- кількість годин роботи обладнання при максимальному навантаженні -

$T_{\max} = 4700$ годин;

					ЛНТУ.971029.000 ПЗ	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- реактивна потужність, яка дозволена до використання енергосистемою
 $Q_{\text{emax}}=330 \text{ кВАр}$.

Усі приймачі електроенергії на заводі розраховані на напругу 0,4кВ промислової частоти 50 Гц.

Згідно зі ступенем забезпечення надійності електропостачання, структура навантаження підприємства розподіляється наступним чином: переважна більшість споживачів (93%) належить до II категорії, тоді як частка об'єктів III категорії становить лише 7%.

					<i>ЛНТУ.971029.000 ПЗ</i>	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

					<i>ЛНТУ.971029.000 ПЗ</i>						
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Електропостачання підприємства з виробництва гідротехнічних споруд встановленою потужністю 1000 кВт. Пояснювальна записка			Літ.	Арк.	Аркушів	
Розробив	Турчак В.В.							д	11	21	
Перевірив	Волинець В.І.							ФАБЕ, гр. ЕЕ-41			
Н. контр.	Ващелюк Ю.І.										
Затвердив	Волинець В.І.										

Для інших цехів та споруд, які є на балансі заводу розрахуємо аналогічно. Результати розрахунку показані в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Результати розрахунку для заводу вцілому

Назва підрозділу (цеху)	Встановлена потужність $P_{\text{вст}}, \text{кВт}$	Розрахункові навантаження		
		$P_p, \text{кВт}$	$Q_p, \text{кВАр}$	$S_p, \text{кВА}$
Бетонно-формуvalьний цех	91,5	68,73	68,16	96,80
Цех металоконструкцій	194,5	147,82	103,47	180,44
Зварювальнo-складальний цех	182	138,32	96,82	168,84
Склад	37	28,12	19,68	34,32
Цех спецпокриттів	160	121,60	85,12	148,43
Котельня	92	69,92	48,94	85,35
Лабораторія неруйнівного контролю	15	11,40	7,98	13,92
Адміністрація	18	13,68	9,58	16,70
Механообробний цех	210	159,60	111,72	194,82
Всього	1000	759,19	531,43	939,61

2.2. Розрахунок освітлювальних навантажень

2.2.1. Розрахунок освітлювальних навантажень заводу

Алгоритм визначення параметрів освітлювальної мережі підприємства детально викладено у додатку А.2. Розрахунок електричних навантажень внутрішнього та зовнішнього освітлення виконується методом питомої потужності. З метою підвищення енергоефективності та забезпечення нормативних показників освітленості, як основне джерело світла для всіх виробничих та адміністративних площ прийнято сучасні світлодіодні світильники. Підсумкові показники розрахунків систематизовано у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Результати розрахунку освітлювальних навантажень заводу вцілому

Назва	$E_{норм},$ лк	$F,$ м ²	$h,$ м	$\frac{P_{пит},}{Bm}$ $\frac{Вт}{м^2}$	$P_0,$ кВт	Тип лампи	$K_{пра}$	K_n	$tg\varphi$	$P_{ро},$ кВт	$Q_{ро},$ кВАр
Бетонно-формульний цех	200	1440	9	15	21,60	LED	1,2	0,9	0,33	23,33	7,70
Цех металоконструкцій	200	2300	9	15	34,50	LED	1,2	0,9	0,33	37,26	12,30
Зварювально-складальний цех	200	1252	9	15	18,78	LED	1,2	0,9	0,33	20,28	6,69
Склад	50	450	12	10	4,50	LED	1,2	0,9	0,33	4,86	1,60
Цех спецпокриттів	200	576	9	15	8,64	LED	1,2	0,9	0,33	9,33	3,08
Котельня	75	650	9	10	6,50	LED	1,2	0,9	0,33	7,02	2,32
Лабораторія неруйнівного контролю	300	940	4	20	18,80	LED	1,2	0,9	0,33	20,30	6,70
Адміністрація	300	1152	4	20	23,04	LED	1,2	0,9	0,33	24,88	8,21
Механообробний цех	200	360	9	15	5,40	LED	1,2	0,9	0,33	5,83	1,92
Зовнішнє	—	37080	-	0,2	7,41	LED	1,2	0,9	0,33	8,01	2,64
Всього	—	9120/ 46200	—	—	149,18	—	—	—	—	161,11	53,17

2.2.2. Розрахунок освітлювальної мережі бетонно-формульного цеху

При загальній площі цеху 1440 м² базовий показник питомої потужності для ламп розжарювання становить 15 Вт/м². У зв'язку з переходом на сучасне LED-освітлення, розрахункове значення питомої потужності скориговано до 2,25 Вт/м². Для рівномірного розподілу світлового потоку в робочій зоні попередньо прийнято схему розташування світлодіодних світильників у 4 ряди по 10 одиниць у кожному. Обчислимо потужність світлодіодної лампи за виразом:

$$P_c = \frac{1440 \cdot 2,25}{40} = 81 \text{ Вт.}$$

Вибираємо за [5] LED світильник 90W 6400K 1540x120 мм IP65 серія Standart (Ledmark).

Уточнюємо кількість світлодіодних світильників:

$$n = \frac{1440 \cdot 2,25}{90} = 36 \text{ шт.}$$

Отже, приймаємо чотири ряди світильників по 9 світильника в кожному ряду (разом буде 64 світильника).

Живлення робочого освітлення здійснюється від групового освітлювального щита типу ЩА611 (Нафтаенергопром), номінальний струм до 100 А. Даний щит комплектується автоматикою ЕТІ. Живлення світильників від групового освітлювального щитка здійснюється проводом ПВС-3х2,5 з $I_{mp \cdot доп} = 25 \text{ А}$.

2.3. Визначення сумарних навантажень

Розрахунок повних потужностей на боці низької напруги ТП здійснено відповідно до джерела [6]. Результати обчислень, що відображають енергетичний баланс навантажень, представлені в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Розрахунок повного навантаження

Назва цеху	$P_{ср зм},$ кВт	$Q_{ср зм},$ кВАр	$P_{ро},$ кВт	$Q_{ро},$ кВАр	$P_{р\Sigma},$ кВт	$Q_{р\Sigma},$ кВАр	$S_{р\Sigma},$ кВА
Бетонно-формульний цех	68,73	68,16	23,33	7,70	92,06	75,86	119,29
Цех металоконструкцій	147,82	103,47	37,26	12,30	185,08	115,77	218,31
Зварювально-складальний цех	138,32	96,82	20,28	6,69	158,60	103,52	189,40
Склад	28,12	19,68	4,86	1,60	32,98	21,29	39,25
Цех спецпокриттів	121,60	85,12	9,33	3,08	130,93	88,20	157,87
Котельня	69,92	48,94	7,02	2,32	76,94	51,26	92,45
Лабораторія неруйнівного контролю	11,40	7,98	20,30	6,70	31,70	14,68	34,94
Адміністрація	13,68	9,58	24,88	8,21	38,56	17,79	42,47
Механообробний цех	159,60	111,72	5,83	1,92	165,43	113,64	200,71
Зовнішнє освітлення	-	-	8,01	2,64	8,01	2,64	8,43
Всього	759,19	531,43	161,11	53,17	920,30	604,65	1101,16

					ЛНТУ.971029.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

2.4. Розрахунок картограми навантажень та визначення теоретичного центру навантажень

Розрахунок параметрів картограми навантажень виконано згідно з методичними вказівками Додатку А.3. Підсумкові показники для візуалізації енергоспоживання об'єкта зведено до таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Розрахунок картограми електричних активних навантажень

Назва	X, м	Y, м	$P_{p\Sigma} \cdot x$	$P_{p\Sigma} \cdot y$	r, см	$\alpha, ^\circ$
Бетонно-формувальний цех	110	60	10126,424	5523,504	5	91
Цех металоконструкцій	61	44	11289,88	8143,52	8	72
Зварювально-складальний цех	65	127	10309,156	20142,5048	7	46
Склад	7	90	230,86	2968,2	3	53
Цех спецпокриттів	151	148	19770,6112	19377,8176	6	26
Котельня	82	210	6309,08	16157,4	5	33
Лабораторія неруйнівного контролю	197	127	6245,688	4026,408	3	231
Адміністрація	153	198	5900,1696	7635,5136	4	232
Механообробний цех	92	20	15219,744	3308,64	7	13
Всього	-	-	85401,6128	87283,508	-	-

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

$$X_{\text{ЦЕН}} = \frac{85401,6128}{920,3} = 93 \text{ м},$$

$$Y_{\text{ЦЕН}} = \frac{87283,508}{920,3} = 95 \text{ м}.$$

2.5. Вибір кількості та потужності трансформаторів

Вибір оптимальної кількості та потужності силових трансформаторів базується на техніко-економічному порівнянні конкурентних варіантів за критерієм мінімуму приведених витрат. Методологічну базу цього підходу викладено в додатку А.4, а результати розрахунків, що обґрунтовують остаточне рішення, представлено в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Вибір потужності та кількості силових трансформаторів

Показник	Варіант I	Варіант II
$P_{p\Sigma}$, кВт	920,30	920,30
$Q_{p\Sigma}$, кВАр	604,65	604,65
$S_{p\Sigma}$, кВА	1101,16	1101,16
F , м ²	9120	9120
σ , кВА/м ²	0,1	0,1
Тип трансформатора	ТМ-1000	ТМ-1250
N_{min} , шт	1,3	1,1
m , шт	0	0
N_{ont} , шт	2	2
$Q_{max T}$, кВАр	1055,01	1488,47
$Q_{НБК 1}$, кВАр	-450,36	-883,82
K_{p1}	–	–
K_{p2}	–	–
γ	–	–
$Q_{НБК 2}$, кВАр	–	–
$Q_{НБК}$, кВАр	–	–
Тип НБК	–	–
ΔP_X , кВт	1,55	1,6
ΔP_K , кВт	10,8	14,7
τ_M , год	3090,8	3090,8
ΔW , тис.кВт·год	47,39	45,66
C_e , тис.грн	398,111	383,558
K , тис.грн	1388,00	1440,00
$З$, тис.грн	571,61	<u>563,56</u>

Приведені затрати для другого варіанту менші, отже приймаємо до встановлення два трансформатора типу ТМ-1250/10.

Виконаємо перевірку вибраних трансформаторів на перевантажувальну здатність.

$$1,4 \cdot 1250 = 1750 > \frac{2 \cdot 1101,16}{2} = 1101,16 \text{ кВА.}$$

Умова перевірки виконується, отже приймаємо до встановлення трансформатор ТМ-1250/10 (УкрЕЛКОМ).

2.6. Компенсація реактивної потужності

Відповідно до положень додатка А.5, проведено розрахунок реактивної потужності на стороні ВН, що підлягає компенсації для досягнення оптимального коефіцієнта потужності. Підсумкові показники розрахункового розділу наведено в таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 – Результати розрахунків потужності ВКБ

Показник	Одиниці вимірювання	Значення
Q_p	кВАр	604,65
Q_{max}	кВАр	330
$Q_{\text{НБК}}$	кВАр	0
ΔQ_T	кВАр	38,1
$k_{\text{НС}}$	—	0,9
Q_{M1}	кВАр	544,19
Q_{K1}	кВАр	214,19
$Q_{\text{НСТ}}$	кВАр	642,75
$Q_{\text{ВБК}}$	кВАр	252,29

Отримане значення потужності ВБК (252,29 кВАр) дозволяє реалізувати компенсацію реактивної енергії на стороні 0,4 кВ, що спрощує схему електропостачання та знижує навантаження на трансформаторне обладнання.

Тому приймаємо до встановлення конденсаторні батареї 2хККУ-0,4-130/4-10-21У3 [8] (УкрЕЛКОМ).

2.7. Визначення електричних навантажень на вищих рівнях

Для визначення навантажень вищого рівня ієрархії енергосистеми використано методику, наведену в Додатку А.6. Розрахункові параметри на стороні ВН ТП обчислюються за допомогою математичних залежностей (А.6.1) та (А.6.2):

$$S_{P4} = \sqrt{(920,3 + 6,8)^2 + (604,65 + 38,1 - 260)^2} = 1003 \text{ кВА},$$

$$\Delta P_{T1250} = 2 \cdot 1,6 + \frac{1}{2} \cdot 0,7^2 \cdot 14,7 = 6,8 \text{ кВт}.$$

2.8. Проектування зовнішньої мережі живлення підприємства

Виберемо раціональну напругу живлення:

$$U = \sqrt{1,003 \cdot (100 + 15 \cdot \sqrt{1,9})} = 11 \text{ кВ}.$$

Як видно з розрахунку, раціональною для живлення є напруга 11 кВ, отже, вибираємо з ряду стандартних напруг значення 10 кВ.

Для розрахунку живлячої мережі будемо користуватись методикою яка наведена в додатку А.7.

Спочатку визначимо струм післяаварійного режиму:

$$I_{n \text{ ав}} = \frac{1003}{\sqrt{3} \cdot 10} = 58 \text{ А}.$$

Вибираємо марку кабелю – АПвЕгаПу-10 «кабель силовий з алюмінієвими струмопровідними жилами, з ізоляцією з шитого поліетилену, з повздовжньою

					<i>ЛНТУ.971029.000 ПЗ</i>	Арк.
						18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

та поперечною герметизацією екрану та посиленою зовнішньою оболонкою з поліетилену» [10].

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

$$I_{\text{норм}} = \frac{1003}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 2} = 29 \text{ А.}$$

Виберемо оптимальний переріз кабелю за методом приведених затрат. Результати зведемо в таблицю 2.8.

Таблиця 2.8 – Результати розрахунку перерізу КЛ 10 кВ

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	$\Delta U_{\text{норм}}$, %	$\Delta U_{\text{п ав}}$, %	K_3	ΔP_H , кВт	ΔP_o , кВт	C_e , тис. грн.	K , тис. грн.	3 , тис. грн.
35	119	128,52	0,894	0,095	73,61	0,736	1,472	0,23	84,17	4,29	111,26	2989,3	484,93
50	140	151,2	0,625	0,09	52,81	0,528	1,056	0,19	81,44	3,00	77,79	3174,9	474,65
70	171	184,68	0,447	0,086	39,01	0,390	0,780	0,16	86,90	2,14	55,63	3746,8	523,98
95	203	219,24	0,329	0,083	29,84	0,298	0,597	0,13	90,14	1,58	40,95	3885,2	526,60
120	232	250,56	0,261	0,081	24,54	0,245	0,491	0,12	93,40	1,25	32,48	4394,9	581,85

Так як приведені затрати на кабель перерізом 50 мм² є найменшими, то приймаємо його до влаштування кабель марки АПвЕгаПу-10-3×35 (Південкабель).

2.9. Проектування внутрішньої розподільної мережі

Розрахунок параметрів мережі виконується за методикою, наведеною в Додатку А.8. Для електромонтажних робіт прийнято силовий кабель марки ВВГ [11] із мідними жилами та ПВХ-ізоляцією. Прокладання ліній територією об'єкта передбачено в траншеях на глибині 0,7 м із додатковим захистом полівінілхлоридними трубами. Живлення цехових розподільних пунктів 0,4 кВ реалізується за змішаною схемою. Проектом передбачено встановлення шаф типу EU-ІР11 (Enersys) [12], укомплектованих захисною автоматикою Chint. Вибір перерізів кабелів здійснюється за розрахунковими струмами,

визначеними за формулою (А.8.1). Результати обчислень наведено в таблицях 2.9 та 2.10, а топологію мережі відображено на схемі (рис. 2.1).

Таблиця 2.9 – Вибір розподільчих пунктів 0,4 кВ

Назва	$S_{p\Sigma},$ кВА	$I_p,$ А	Тип РП	$I_{доп\ РП},$ А	Кіль- кість приймачів	Кіль- кість ліній	Кіль- кість РП	Позн. на рис.2.1	Тип ввідного вимикача Chint
Бетонно-формувальний цех	119,29	86,19	ЕУ-РП11	630	23	2	1	РП6	NM8N-630S
Цех металоконструкцій	218,31	157,74	ЕУ-РП11	630	18	2	1	РП9	NM8N-630S
Зварювально-складальний цех	189,40	136,85	ЕУ-РП11	630	10	2	1	РП7	NM8N-630S
Склад	39,25	56,72	ЕУ-РП11	630	6	1	1	РП8	NM8N-630S
Цех спецпокриттів	157,87	114,07	ЕУ-РП11	630	4	2	1	РП4	NM8N-630S
Котельня	92,45	66,80	ЕУ-РП11	630	8	2	1	РП5	NM8N-630S
Лабораторія неруйнівного контролю	34,94	50,49	ЕУ-РП11	630	12	1	1	РП1	NM8N-630S
Адміністрація	42,47	61,37	ЕУ-РП11	630	9	1	1	РП3	NM8N-630S
Механообробний цех	200,71	145,02	ЕУ-РП11	630	9	2	1	РП2	NM8N-630S

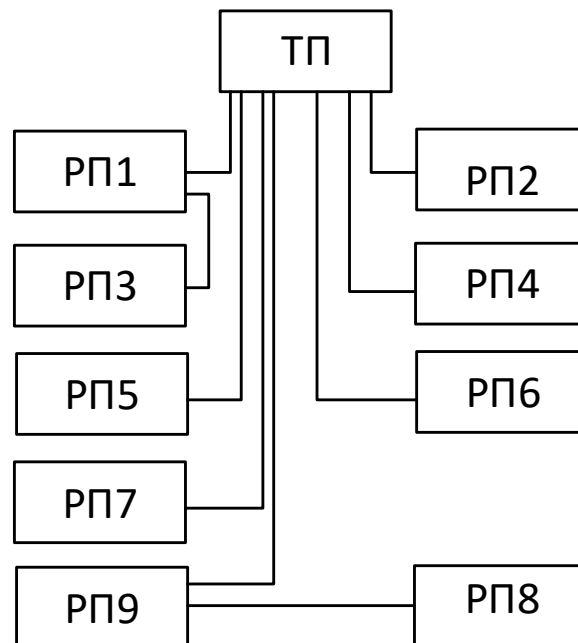


Рисунок 2.1 - Схема з'єднань розподільних пунктів 0,4 кВ

Таблиця 2.10 – Результати перевірки кабельних ліній 0,4 кВ

Назва КЛ	n	$S_{p\Sigma},$ кВА	$I_p,$ А	Переріз кабелю ВВГ	$L,$ км	$I_{доп},$ А	$I_{наг},$ А	$I'_{наг},$ А	$r_0,$ $\frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	$x_0,$ $\frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	$\Delta U_{норм},$ %	$\Delta U_{наг},$ %	$F_{e,2}$ мм ²
ТП-РП1	1	77,41	111,86	4x50	0,062	173	111,86	114,10	0,37	0,085	1,0	1,1	45
ТП-РП5	2	92,45	66,80	4x35	0,238	146	133,60	136,27	0,53	0,088	3,3	6,7	27
ТП-РП7	2	189,4	136,85	4x120	0,244	294	273,70	279,17	0,154	0,08	2,5	5,0	55
ТП-РП9	2	257,56	186,10	4x240	0,156	435	372,20	379,64	0,077	0,077	1,4	2,8	74
ТП-РП6	2	119,29	86,19	4x70	0,096	214	172,38	175,83	0,265	0,082	0,9	1,9	34
ТП-РП4	2	157,87	114,07	4x120	0,082	294	228,14	232,70	0,154	0,08	0,7	1,4	46
ТП-РП2	2	200,71	145,02	4x150	0,173	332	290,04	295,84	0,124	0,079	1,6	3,2	58
РП1-РП3	1	42,47	61,37	4x25	0,089	123	61,37	62,60	0,74	0,091	1,5	1,6	25
РП9-РП8	1	39,25	56,72	4x25	0,063	123	56,72	57,85	0,74	0,091	1,0	1,0	23

Аналіз отриманих результатів свідчить, що всі обрані перерізи провідників відповідають вимогам щодо допустимих втрат напруги як у нормальному, так і в післяаварійному режимах роботи мережі.

2.10. Вибір схеми електропостачання бетонно-формуального цеху

На основі даних про електроспоживачі (табл. 2.1) виконано розрахунок внутрішньої мережі 0,4 кВ бетонно-формуального цеху. Живлення реалізовано за радіальною схемою. Розрахунковий струм живильної лінії для розподільного пункту цеху, при встановленій потужності 119,29 кВА, визначається за формулою:

$$I_p = \frac{119,29}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 2} = 86,19 \text{ А.}$$

Згідно з результатами попереднього розділу, для живлення цеху прийнято кабель із мідними жилами марки ВВГ-4x70-1 ($I_{доп}=214$ А). Як розподільне

					ЛНТУ.971029.000 ПЗ				Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					21

устаткування обрано пункт ЕУ-ІР11 ($I_{\text{ном}}=630 \text{ А}$) на 24 відхідні лінії, укомплектований автоматичними вимикачами Chint. Прокладання кабельних ліній передбачено в конструкціях підлоги. Розрахунок перерізів мережі 0,4 кВ виконується за формулою (А.8.1), а підсумкові дані систематизовано в таблиці 2.11.

Таблиця 2.11 – Результати вибору кабелів 0,4 кВ в цеху

Назва обладнання	Номінальна потужність P_H , кВт	Кількість, шт	$\cos \varphi$	I_p , А	$I_{\text{доп}}$, А	Переріз кабелю ВВГ
Бетонозмішувач №1 та №2	4,0	2	0,7	8,26	43	5х4
Конвеєр 1	5,5	2	0,7	11,35	43	5х4
Розчинозмішувач	5,5	2	0,7	11,35	43	5х4
Глибинний вібратор №1 та №2 бункера цементу	2,5	2	0,7	5,16	43	5х4
Глибинний вібратор воронки для щебню	2,5	1	0,7	5,16	43	5х4
Глибинний вібратор воронки для піску	2,5	1	0,7	5,16	43	5х4
Глибинний вібратор бункера піску	2,5	1	0,7	5,16	43	5х4
Глибинний вібратор бункера щебню	2,5	1	0,7	5,16	43	5х4
Конвеєр 2	5,5	1	0,7	11,35	43	5х4
Конвеєр 3	5,5	1	0,7	11,35	43	5х4
Прес	22	1	0,8	39,74	43	5х4
Вентиляційна установка	4	2	0,8	7,23	43	5х4
Вентиляційна установка	0,4	2	0,8	0,72	43	5х4
Вібростіл	1,4	2	0,8	2,53	43	5х4
Приточний вентилятор	2,4	2	0,8	4,34	43	5х4

Приймаємо до встановлення вибрані перерізи кабелів.

2.11. Розрахунок струмів короткого замикання

2.11.1. Розрахунок струмів короткого замикання на стороні 10 кВ

Для оцінки рівнів струмів короткого замикання на шинах 10 кВ застосовано наближений метод розрахунку у відносних одиницях.

					<i>ЛНТУ.971029.000 ПЗ</i>	Арк.
						22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Послідовність виконання операцій наведено у додатку А.9. Вихідні параметри: розрахунку: $S_{\delta}=100 \text{ МВА}$; $U_{\delta}=U_{cp}=10,5 \text{ кВ}$. $S_{K3}=82 \text{ МВА}$.

$$\dot{X}_{C^*} = \frac{100}{82} = 1,22.$$

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

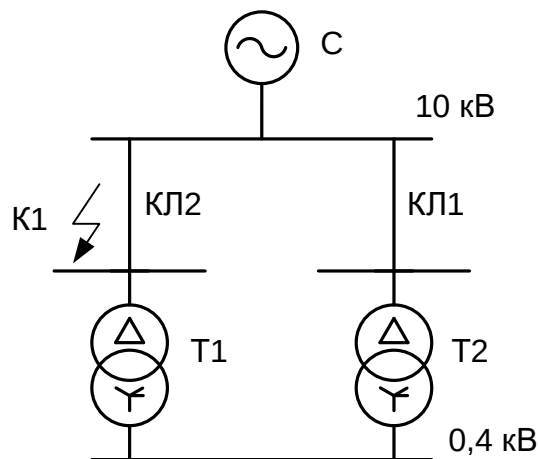


Рисунок 2.2 – Розрахункова схема

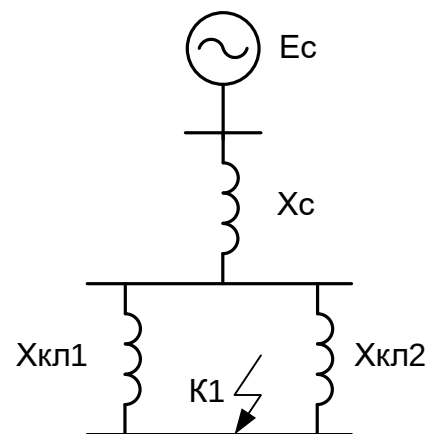


Рисунок 2.3 – Схема заміщення

$$x_{KL1^*} = 1,9 \cdot 0,09 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,155.$$

$$x_{KL12^*} = \frac{0,155}{2} = 0,077.$$

$$x_{рез^*} = 1,22 + 0,077 = 1,297.$$

Спрощуючи, отримаємо схему зображену на рисунку 2.4 та 2.5.

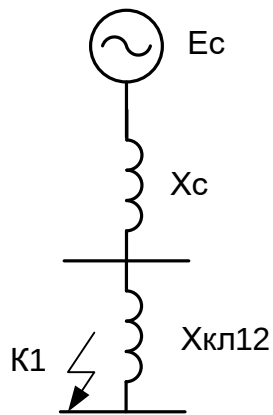


Рисунок 2.4 – Спрощена схема

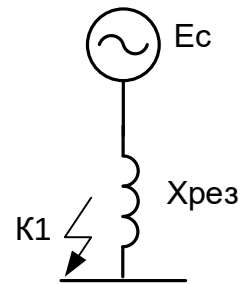


Рисунок 2.5 - Результируючий опір

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

$$I_{no} = \frac{5,5}{1,297} = 4,24 \text{ кА}.$$

$$i_y = \sqrt{2} \cdot 1,3 \cdot 4,24 = 7,79 \text{ кА}.$$

$$F_{\min} = \frac{4240}{65} \cdot \sqrt{0,25} = 32,6 \text{ мм}^2.$$

Так як мінімальний переріз 32,6 мм² менший за вибраний 50 мм², то приймаємо до встановлення кабель АПвЕгаПу-10-3х50 остаточно.

$$B_K = 4,24^2 \cdot 0,25 = 4,49 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

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

Розрахунок будемо проводити за методикою додатку А.10. Вхідні параметри: $U_{\sigma} = 0,4 \text{ кВ}$; $I_{KB} = 4,24 \text{ кА}$; $U_{CBH} = 10,5 \text{ кВ}$; $S_T = 1250 \text{ кВА}$, $\Delta P_K = 14,7 \text{ кВт}$, $u_K = 5,5\%$; параметри лінії показані в таблиці 2.12.

					ЛНТУ.971029.000 ПЗ	Арк.
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$x_c = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 4,24} = 1,43 \text{ Ом};$$

$$r_c = 0,625 \cdot 1,9 = 1,187 \text{ Ом}.$$

Опір системи, який приведений до рівня 0,4 кВ:

$$x_c^o = 1,43 \cdot \left(\frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 2,075 \text{ мОм};$$

$$r_c^o = 1,187 \cdot \left(\frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 1,72 \text{ мОм}.$$

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

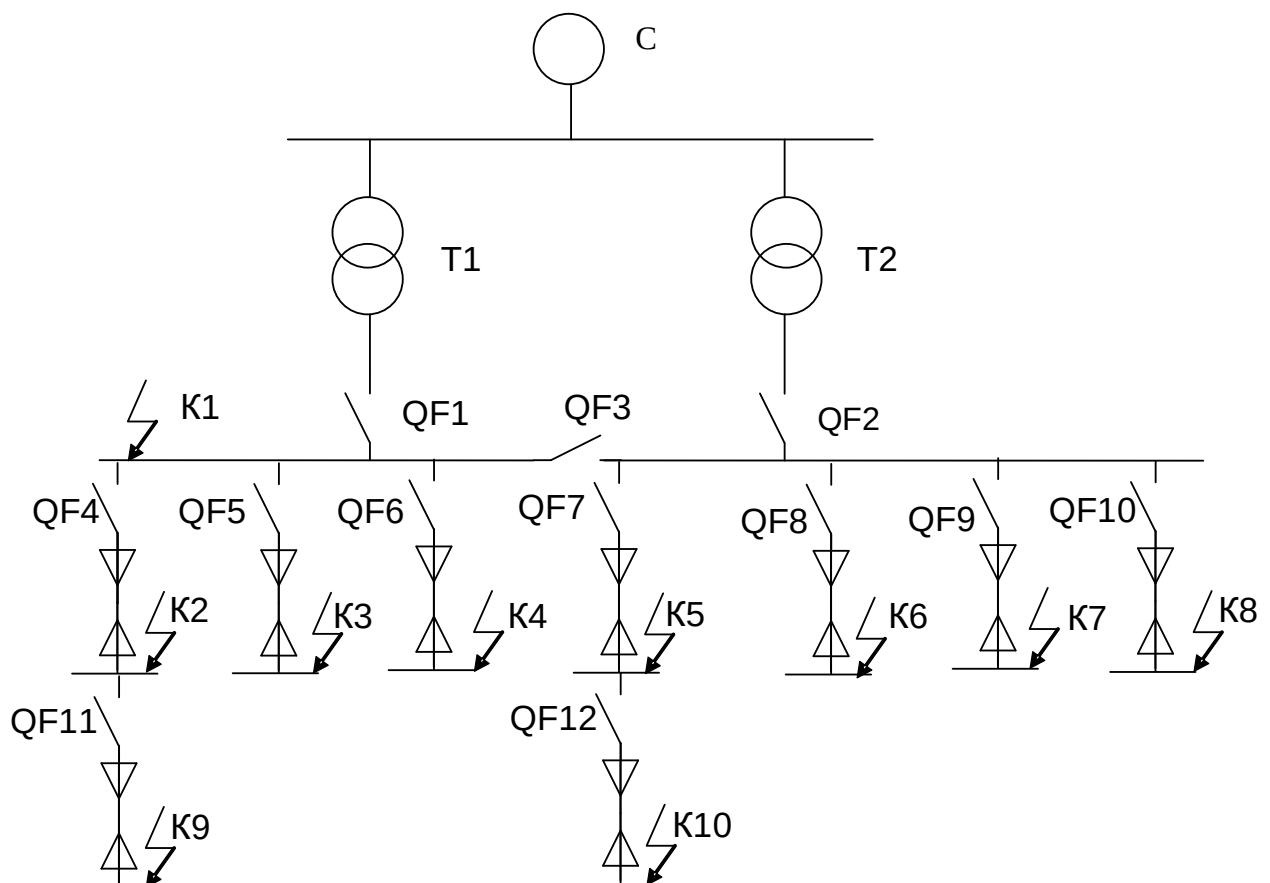


Рисунок 2.6 – Розрахункова схема

$$r_T = \frac{14,7 \cdot 10^{-3} \cdot 0,4^2}{1,25^2} = 1,505 \text{ мОм};$$

					ЛНТУ.971029.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

$$x_T = \frac{5,5}{100} \cdot \frac{0,4^2}{1250} = 0,007 \text{ мОм.}$$

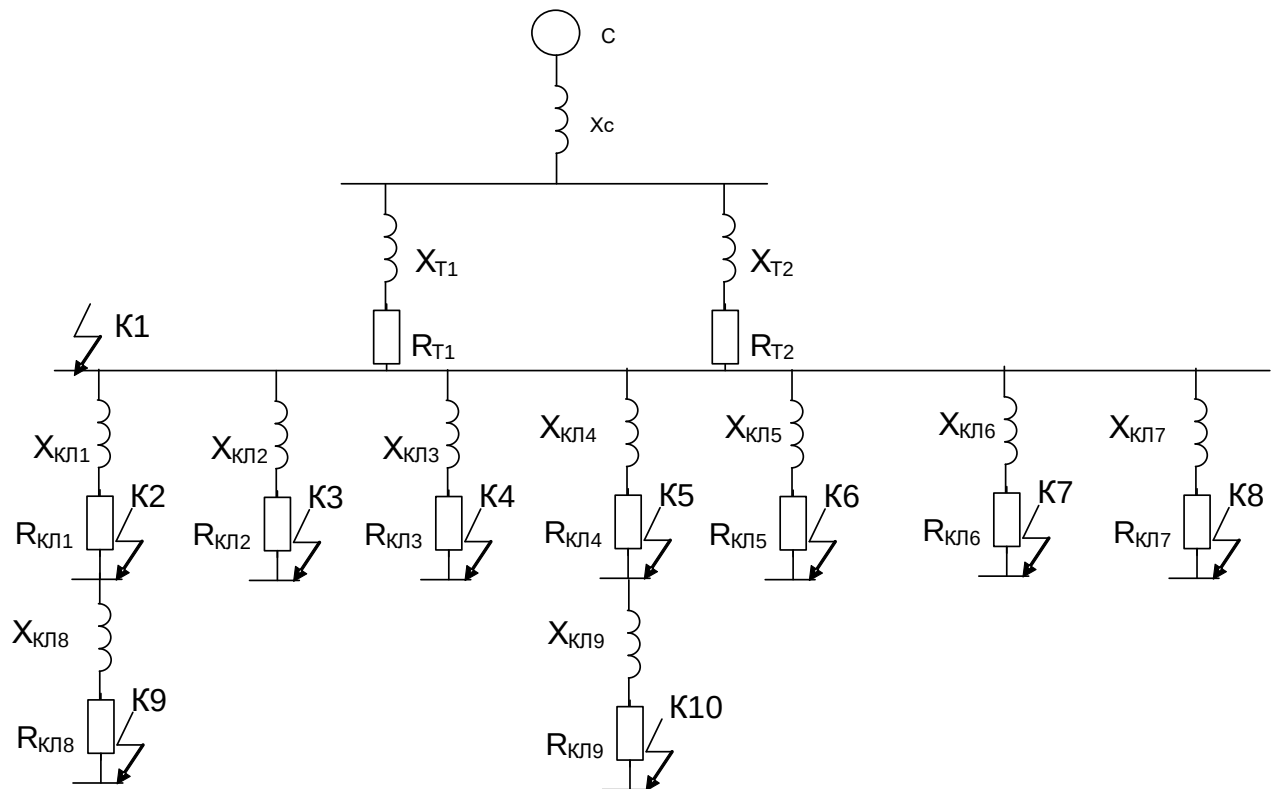


Рисунок 2.7 – Схема заміщення

$$x_{рез1} = 2,075 + 0,007 = 2,082 \text{ мОм;}$$

$$r_{рез1} = 1,72 + 1,505 + 15 = 18,225 \text{ мОм.}$$

Розрахунок опорів КЛ зведемо в таблицю 2.12.

Таблиця 2.12 – Розрахунок опорів КЛ 0,4 кВ

Назва КЛ	l , км	r_o , Ом/км	r , мОм	X_o , Ом/км	x , мОм
КЛ1	0,062	0,37	22,9	0,085	5,3
КЛ2	0,238	0,53	126,1	0,088	20,9
КЛ3	0,244	0,154	37,6	0,08	19,5
КЛ4	0,156	0,077	12,0	0,077	12,0
КЛ5	0,096	0,265	25,4	0,082	7,9
КЛ6	0,082	0,154	12,6	0,08	6,6
КЛ7	0,173	0,124	21,5	0,079	13,7
КЛ8	0,089	0,74	65,9	0,091	8,1
КЛ9	0,063	0,74	46,6	0,091	5,7
КЛ10	0,062	0,37	22,9	0,085	5,3

Вибрані перерізи кабельних ліній перевірено на термічну стійкість до впливу струмів короткого замикання згідно з виразом (А.9.7). Результати перевірки, що підтверджують надійність провідників, систематизовано в таблиці 2.13.

Таблиця 2.13 – Результати перевірки кабелів 0,4 кВ на термічну стійкість

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_{np} , мм ²
K1	2,082	15	18,225	18,34	12,60	1,05	18,66	—	—
K2	7,4	20	61,2	61,61	3,75	1	5,29	16	50
K3	23,0	20	164,4	165,97	1,39	1	1,96	6	35
K4	21,6	20	75,8	78,82	2,93	1	4,14	13	120
K5	14,1	20	50,2	52,18	4,43	1	6,25	19	240
K6	10,0	20	63,7	64,44	3,59	1	5,06	16	70
K7	8,6	20	50,9	51,58	4,48	1	6,32	20	120
K8	15,7	20	59,7	61,72	3,75	1	5,28	16	150
K9	15,5	25	152,0	152,81	1,51	1	2,13	7	25
K10	19,8	25	121,9	123,46	1,87	1	2,64	8	25

Усі вибрані перерізи приймаємо до встановлення.

2.12. Вибір обладнання

2.12.1. Вибір комірок

Комутаційне та захисне обладнання на боці 10 кВ розміщується в камерах збірних однобічного обслуговування серії КСО-306 (виробництва «Валон-А») [16]. Вибір апаратів та їхня подальша перевірка за умовами роботи в нормальному та пусковому режимах виконані згідно з методикою додатка А.11 (вирази А.11.1-А.11.5). Приймаємо комірки типу КСО-306. Результати перевірки зведемо в таблицю 2.14.

Таблиця 2.14 – Вибір комірок 10 кВ

Каталожні дані	Розрахункові дані
$U_{\text{ном.крп}}=10 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}}=10 \text{ кВ}$
$I_{\text{ном.крп}}=630 \text{ А}$	$I_{\text{р.мах}}=58 \text{ А}$
$I_{\text{ном.відкл.крп}}=20 \text{ кА}$	$I_{\text{к.мах}}=4,24 \text{ кА}$
$i_{\text{ном.дин.крп}}=51 \text{ кА}$	$i_{\text{у.мах}}=7,79 \text{ кА}$
$B_{\text{т}}=20^2 \cdot 1=400 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_{\text{к}}=4,24^2 \cdot 0,25= 4,49 \text{ кА}^2\text{с}$

Так як усі умови виконуються, то приймаємо остаточно комірки типу КСО-306.

2.12.2. Вибір роз'єднувачів

В якості роз'єднувачів приймаємо роз'єднувач обладнаний заземлюючими ножами РВ-10 [17]. Результати вибору роз'єднувача зведемо в таблицю 2.15.

Таблиця 2.15 – Вибір роз'єднувача

Розрахункові дані	Каталожні дані
$U_{\text{уст}}=10 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}}=10 \text{ кВ}$
$I_{\text{норм}}=29 \text{ А}$ $I_{\text{макс}}=58 \text{ А}$	$I_{\text{ном}}=630 \text{ А}$
$i_{\text{у}}=7,79 \text{ кА}$	$i_{\text{гр наскр}}=51 \text{ кА}$
$B_{\text{к}}=4,24^2 \cdot 0,25= 4,49 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_{\text{т}}=20^2 \cdot 1=400 \text{ кА}^2\text{с}$

Отже, приймаємо остаточно роз'єднувачі типів РВ-03-10-630 УЗ.

2.12.3. Вибір вимикачів навантаження та запобіжників

Для захисту силових трансформаторів ТП обрано вимикачі навантаження з автогазовим дугогасінням типу ВН-РА (Валон-А) [18]. Перевірку параметрів вимикачів та запобіжників до них наведено в таблиці 2.16.

					<i>ЛНТУ.971029.000 ПЗ</i>	Арк.
						28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.16 – Вибір вимикачів навантаження 10 кВ

Розрахункові дані	Каталожні дані
$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
$I_{ном} = 29 \text{ А}$ $I_{макс} = 58 \text{ А}$	$I_{ном} = 630 \text{ А}$
$i_y = 7,79 \text{ кА}$	$i_{гр\ наскр} = 20 \text{ кА}$
$I_{но} = 4,24 \text{ кА}$	$I_{гр\ наскр} = 10 \text{ кА}$
$B_k = 4,24^2 \cdot 0,25 = 4,49 \text{ кА}^2\text{с}$	$I_m^2 t_m = 20^2 \cdot 1 = 400 \text{ кА}^2\text{с}$
$I_{макс} = 58 \text{ А}$	$I_{ном.з} = 100 \text{ А}$
$I_{макс} = 58 \text{ А}$	$I_{вимк\ з} = 630 \text{ кА}$
$S'' = 82 \text{ МВА}$	$S_{.вимк\ з} = 200 \text{ МВА}$

Отже, приймаємо остаточно вимикач навантаження ВН-РА-ОЗ-П-630-УЗ із запобіжником та ВН-РА-ОЗ-630-УЗ без запобіжника.

2.12.4. Вибір автоматичних вимикачів

Розподіл електроенергії на напрузі 0,4 кВ здійснюється через щити серії ЩО-06 виробництва «Валон-А» [19]. Для комутації на вводах та в секційних перемицках застосовано автоматичні вимикачі Rade Koncar [20], а для фідерних ліній - апарати Rade Koncar [21]. Перевірка обраного обладнання виконана за методикою, наведеною в додатку А.12. Вибір та перевірку зведемо в таблицю 2.17.

Таблиця 2.17 – Вибір автоматичних вимикачів

Назва вимикача	Тип вимикача	Каталожні дані			Розрахункові дані		
		$U_{ном.АВ}, \text{кВ}$	$I_{ном.розщ}, \text{А}$	$I_{гр.вимк}, \text{кА}$	$U_{ном}, \text{кВ}$	$I_p, \text{А}$	$I_K, \text{кА}$
1	2	3	4	5	6	7	8
QF1	кр-1250-f1250a	0,44	1250	50	0,4	965	12,6
QF2	кр-1250-f1250a	0,44	1250	50	0,4	965	12,6
QF3	кр-250-f-200a	0,4	200	35	0,4	111,86	3,75
QF4	кр-250-f-200a	0,4	200	35	0,4	66,80	1,39
QF5	кр-250-f-200a	0,4	200	35	0,4	136,85	2,93

Продовження таблиці 2.17

1	2	3	4	5	6	7	8
QF6	кр-250-f-200a	0,4	200	35	0,4	186,10	4,43
QF7	кр-250-f-200a	0,4	200	35	0,4	86,19	3,59
QF8	кр-250-f-200a	0,4	200	35	0,4	114,07	4,48
QF9	кр-250-f-200a	0,4	200	35	0,4	145,02	3,75
QF10	кр-1250-f1250a	0,4	1250	50	0,4	965	12,6
QF11	кр-250-f-200a	0,4	200	35	0,4	111,86	3,75
QF12	кр-250-f-200a	0,4	200	35	0,4	66,80	1,39
QF13	кр-250-f-200a	0,4	200	35	0,4	136,85	2,93
QF14	кр-250-f-200a	0,4	200	35	0,4	186,10	4,43
QF15	кр-250-f-200a	0,4	200	35	0,4	86,19	3,59
QF16	кр-250-f-200a	0,4	200	35	0,4	114,07	4,48
QF17	кр-250-f-200a	0,4	200	35	0,4	145,02	3,75

Отже, приймаємо до встановлення вибрані вимикачі.

2.12.5. Вибір вимірювальної апаратури

Для обліку електричної енергії на вводах низької напруги встановлюємо трифазний електронний лічильник АСЕ6000 [22] виробника Itron (Франція). Даний електронний лічильник під'єднується через вимірювальні трансформатори струму. Прийmemo трансформатори струму типу ТШ-0,66А-1 [23] (Мегомметр). Перевіряти їх будемо за методикою, яка подана в Додатку А.13.

Результати перевірки зведемо в таблицю 2.18.

					<i>ЛНТУ.971029.000 ПЗ</i>		Арк.
							30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Таблиця 2.18 – Вибір шинних трансформаторів струму

Каталожні дані	Розрахункові дані
$I_{ном\text{ITC}}=1000 \text{ A}$	$I_{p\text{ max}}= 965 \text{ A}$
$U_{ном\text{TC}}=0,72 \text{ кВ}$	$U_{ном}=0,4 \text{ кВ}$
$i_{ном\text{ дин}}=51 \text{ кА}$	$i_{y\text{ max}}= 18,66 \text{ кА}$
$B_m = I_m^2 t_m = 100 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_k = I_{k\text{ max}}^2 t_n = 12,6^2 \cdot 0,25 = 39,69 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$
$s_{2ном}=5 \text{ ВА}$	$s_{2p}=0,286 \text{ ВА}$

Розрахунок номінального навантаження трансформатора струму подано в таблиці 2.19.

Таблиця 2.19 – Вибір лічильника

Назва приладу	Тип приладу	Навантаження, ВА
Електронний лічильник	АСЕ6000	5
Всього	—	5

На лініях, що відходять встановлюємо амперметр TENSE DJ-A96T [24], та вибираємо трансформатори струму типу Т-0,66. Результати перевірки зведемо в таблицю 2.20.

Таблиця 2.20 – Вибір трансформаторів струму

Каталожні дані	Розрахункові дані
$I_{ном\text{ITC}}=200 \text{ A}$	$I_{p\text{ max}}= 186,1 \text{ A}$
$U_{ном\text{TC}}=0,72 \text{ кВ}$	$U_{ном}=0,4 \text{ кВ}$
$i_{ном\text{ дин}}= 51 \text{ кА}$	$i_{y\text{ max}}=6,32 \text{ кА}$
$B_m = I_m^2 t_m = 100 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_k = I_{k\text{ max}}^2 t_n = 4,48^2 \cdot 0,25 = 5,02 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$
$s_{2ном}=5 \text{ ВА}$	$s_{2p}=0,6 \text{ ВА}$

Так як перевірка виконується приймаємо до встановлення вибрані трансформатори струму.

РОЗДІЛ 3

РОЗРАХУНОК ГІБРИДНОЇ (СОНЦЕ-ВІТЕР) ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

Порядок розрахунку потужності гібридної станції міститься в додатку Б. Проект передбачає розподіл навантаження: вітрова установка забезпечує силові потреби адміністрації (38,56 кВт), а сонячна - освітлювальні (17,79 кВт). Для розрахунку вітрогенератора прийнято середню швидкість вітру 4,2 м/с.

$$P_{\Gamma} = 1,1 \cdot 38,56 = 42,4 \text{ кВт.}$$

За [25] вибираємо вітрогенератор горизонтального типу DK-Series RX-45DK 45 кВт (R&X Energy). Технічні характеристики вітрогенератора наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Технічні параметри вітрогенератора

№з/п	Параметр	Значення
1	Продуктивність генератора, кВт	45
2	Стартова швидкість вітру, м/с	3
3	Номінальна швидкість вітру, м/с	4
4	Напруга, В	110, 220, 380
5	Максимальний струм, А	72
6	Кількість лопатей, шт	3
7	Довжина лопатей, м	4,9
8	Діаметр ротора, м	10,5
9	Висота опори, м	28

$$I_p = \frac{45}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 65 \text{ А.}$$

					<i>ЛНТУ.971029.000 ПЗ</i>			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив	Турчак В.В.				Електропостачання підприємства з виробництва гідротехнічних споруд встановленою потужністю 1000кВт. Пояснювальна записка	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірив	Волинець В.І.					Д	32	4
Н. контр.	Ващелюк Ю.І.					ФАБЕ, гр. ЕЕ-41		
Затвердив	Волинець В.І.							

$$q_e = \frac{65}{2,5} = 21,03 \text{ мм}^2,$$

де J_e - економічна густина струму, $J_e = 2,5 \text{ А/мм}^2$.

Вибираємо кабель марки ВВГ-4х25, $I_{\text{доп}} = 123 \text{ А}$.

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot 65 \cdot 40 \cdot (0,74 \cdot 0,8 + 0,091 \cdot 0,6) \cdot 10^{-3} = 2,91 \text{ В}.$$

$$\Delta U \% = \frac{2,91}{400} \cdot 100\% = 0,72\%.$$

Приймаємо даний переріз кабелю.

Вибір інвертора.

$$W_{\text{тижд.}} = 36 \cdot 90 \cdot 113 \cdot 10^{-3} = 366 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

$$W_n = 1,2 \cdot 366,12 = 439,3 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

$$P_{\text{інв}} = \frac{366}{7 \cdot 24} \cdot 10^3 = 2178 \text{ Вт.}$$

Вибираємо інвертор IPOWЕР-LVYUAN 12 3 кВт [26]. Вхідна напруга 10-15 В, вихідна – 210-240 В.

Розрахуємо величину заряду на тиждень:

$$Q_{\text{тижд.}} = \frac{366}{240} \cdot 10^3 = 1525 \text{ А} \cdot \text{год.}$$

$$Q_{\text{доб}} = \frac{366}{7} = 52,2 \text{ А} \cdot \text{год.}$$

					ЛНТУ.971029.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

Вибір акумуляторних батарей.

Приймаємо, що $n_{\delta c} = 1$.

$$q_n = 52,2 \cdot 1 = 52,2 \text{ А} \cdot \text{год.}$$

$$Q_\gamma = \frac{52,2}{0,5} = 104,4 \text{ А} \cdot \text{год.}$$

$$Q_{\text{заг}} = 104,4 \cdot 1,11 = 115,9 \text{ А} \cdot \text{год.}$$

Приймаємо до влаштування акумуляторну батарею ACUMAX GELL 120, 12V 120Ah [27]. Номінальна напруга дорівнює 12 В, а ємність 120 А·год.

$$N_{\text{пар}}^{AB} = \frac{115,9}{120} = 0,96 \approx 1 \text{ шт.}$$

$$N_{\text{посл}}^{AB} = \frac{12}{12} = 1 \text{ шт.}$$

Отже, визначаємо необхідну кількість акумуляторних батарей за виразом:

$$N^{AB} = 1 \cdot 1 = 1 \text{ шт.}$$

Вибір сонячних панелей.

Вибираємо сонячну батарею AXIOMA ENERGY 150 Вт 12 В [28]. Номінальна напруга 12 В, площа панелі – 0,8295 м². Потрібно встановити стабілізатор напруги.

$$Q_{\text{скорег}} = 1,2 \cdot 52,2 = 62,64 \text{ А} \cdot \text{год.}$$

$$I_{ген} = \frac{62,64}{2,99} = 21 \text{ А.}$$

$$N_{CB} = \frac{21 \cdot 240}{150} = 34 \text{ шт.}$$

$$S_{заг.СБ} = 34 \cdot 0,8295 = 28,203 \text{ м}^2.$$

Приймаємо дані сонячні панелі до влаштування.

					<i>ЛНТУ.971029.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

РОЗДІР 4

САПР

За допомогою Mathcad визначався центр електричних навантажень підприємства. На рисунках 4.1-4.3 зображено програму розрахунку.

Mathcad - [визначення ЦЕН]

Файл Правка Вид Вставка Формат Інструменти Символьные операции Окно Справка

Normal Arial 10 B I U

Мой веб-узел Go

Розрахунок картограми електричних навантажень підприємства з виробництва гідротехнічних споруд

Приймаємо кількість цехів підприємства: $n := 9$

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

$$X := \begin{pmatrix} 110 \\ 61 \\ 65 \\ 7 \\ 151 \\ 82 \\ 197 \\ 153 \\ 92 \end{pmatrix} \quad Y := \begin{pmatrix} 60 \\ 44 \\ 127 \\ 90 \\ 148 \\ 210 \\ 127 \\ 198 \\ 20 \end{pmatrix}$$

Формуємо матриці активної та реактивної потужності цехів заводу:

$$P := (92.06 \ 185.08 \ 158.6 \ 32.98 \ 130.93 \ 76.94 \ 31.7 \ 38.56 \ 165.43)$$

$$Q := (75.86 \ 115.77 \ 103.52 \ 21.29 \ 88.2 \ 51.26 \ 14.68 \ 17.79 \ 113.64)$$

Рисунок 4.1 - Програма розрахунку центру електричних навантажень

					<i>ЛНТУ.971029.000 ПЗ</i>		
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			
Розробив	Турчак В.В.				Електропостачання підприємства з виробництва гідротехнічних споруд встановленою потужністю 1000 кВт. Пояснювальна записка	Літ.	Арк.
Перевірив	Волинець В.І.					Д	36
Н. контр.	Ващелюк Ю.І.					ФАБЕ, гр. ЕЕ-41	
Затвердив	Волинець В.І.						
						Аркушів	2

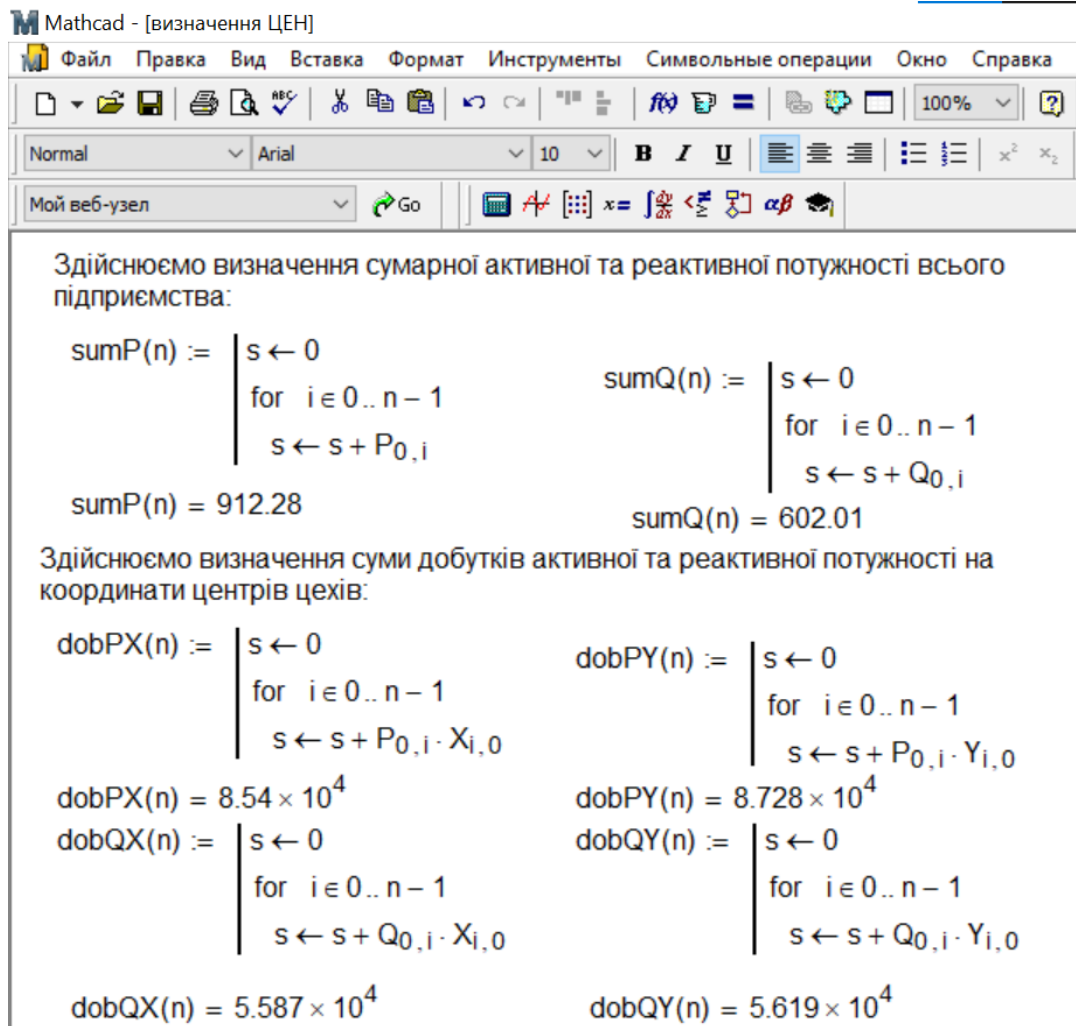


Рисунок 4.2 - Програма розрахунку центру електричних навантажень

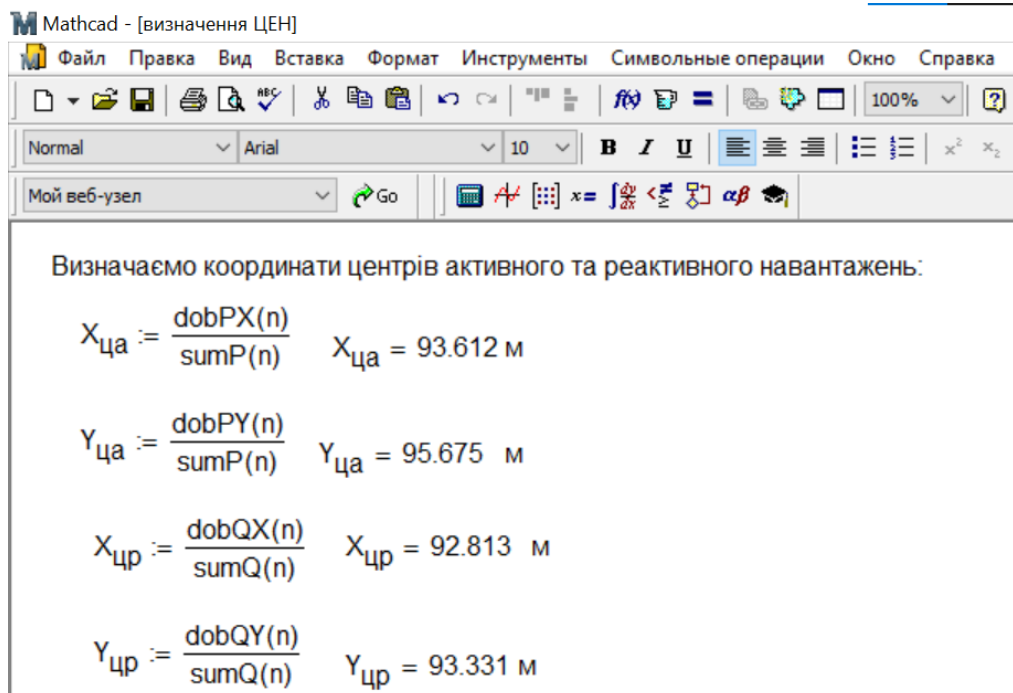


Рисунок 4.3 - Програма розрахунку центру електричних навантажень

РОЗДІЛ 5

ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА

Розрахунок захисного занулення бетонно-формуального цеху

Розрахунок захисного занулення бетонно-формуального цеху проведемо відповідно до додатку В. Параметри, що використовувались та були отримані, подані у таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Вхідні параметри та результати розрахунку захисного занулення

Вхідні параметри	
1	2
Спосіб розташування вертикальних заземлювачів	в ряд
Розміри цеху, м	24x60
Матеріал та форма заземлювачів	сталь, труба
Розмір заземлювачів: - довжина, м - зовнішній діаметр, м	3 0,05
Ширина шини, м	0,06
Вид ґрунту	суглинок
Глибина залягання заземлюючого пристрою, м	0,7
Лінійна напруга, В	400
Матеріал жил кабелю	мідь
Активний опір трансформатора, Ом	0,001505
Номінальний струм автоматичного вимикача, А	630
Довжина петлі «фаза-нуль», м	192
Результати розрахунку	
Питомий опір ґрунту, Ом·м [29, т.5.1]	90
Кліматичний коефіцієнт φ_2 [29, т.5.2]	1,5
Розрахунковий питомий опір ρ_p , Ом·м	135

					<i>ЛНТУ.971029.000 ПЗ</i>			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив	Турчак В.В.				Електропостачання підприємства з виробництва гідротехнічних споруд встановленою потужністю 1000кВт. Пояснювальна записка	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірив	Волинець В.І.					Д	38	2
Н. контр.	Ващелюк Ю.І.					ФАБЕ, гр. ЕЕ-41		
Затвердив	Волинець В.І.							

Продовження таблиці 5.1

1	2
Відстань від поверхні землі до середини заземлювача t , м	2,2
Опір розтіканню струму однієї вертикальної труби R_{od} , Ом	36,85
Орієнтовна відстань між трубами a , м	6
Кількість заземлювачів n' , шт.	7
Коефіцієнт використання стержньових заземлювачів η [29, т.5.3]	0,75
Необхідна кількість заземлювачів з врахуванням коефіцієнта використання n , шт.	6
Коефіцієнт використання для шин $\eta_{ш}$ [29, т.5.4]	0,85
Опір розтіканню струму з'єднувальної шини $R_{ш}$, Ом	51,09
Опір заземлюючого пристрою без врахування опору шини $R_{см}$, Ом	8,89
Загальний опір заземлюючого пристрою R , Ом	7,57
Струм КЗ, А	1890
Найбільший можливий опір нульового провідника, Ом	0,06
Найменший необхідний переріз нульової жили, мм ²	28,8

Розрахунок показав, що загальний опір заземлювача (7,57 Ом) знаходиться в межах норми (10 Ом). Для монтажу системи занулення обрано нульову жилу перерізом 70 мм², що повністю перекиває мінімальне необхідне значення у 28,8 мм².

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

Для забезпечення сталого функціонування підприємства та дотримання вимог до надійності електропостачання споживачів II категорії, проектом прийнято до впровадження радіально-магістральну схему розподілу енергії. Напругу 10/0,4 кВ трансформують два силові трансформатори типу ТМ-1250/10, обрана потужність яких підтверджена розрахунком на допустиме перевантаження в післяаварійному режимі (за умови відключення навантаження III категорії). Зовнішнє живлення забезпечується кабельною лінією АПвЕгаПуГ-10 з поперечним перерізом жил 50 мм², прокладеною в земляній траншеї. Для оптимізації енергоспоживання та підтримки нормативних показників якості напруги на секціях шин 0,4 кВ встановлено комплектні конденсаторні установки сумарною потужністю 260 кВАр.

В індивідуальному розділі розроблено концепцію автономного живлення на базі гібридної вітро-сонячної станції: енергія вітрогенератора спрямована на покриття силового навантаження адміністративного блоку, тоді як фотоелектричні модулі забезпечують потреби системи освітлення.

За допомогою математичного моделювання в середовищі САПР Mathcad визначено координати центру активних навантажень підприємства для раціонального розміщення підстанції.

Питання безпечної експлуатації вирішено в розділі «Електробезпека» шляхом розрахунку системи захисного занулення. Отриманий опір заземлювального пристрою 7,57 Ом не перевищує нормативний ліміт у 10 Ом, а використання нульового провідника перерізом 70 мм² гарантує надійність спрацювання захисту, значно перевищуючи мінімально необхідне розрахункове значення у 28,8 мм².

					<i>ЛНТУ.971029.000 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://ledmark.com.ua/liniinyi-led-svitylnyk-90w-6400k-1540x120-mm-ip65-seriia-standart/>
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. нац.

					<i>ЛНТУ.971029.000 ПЗ</i>	Арк.
						41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2016. 124 с.

10. Кабелі силові 10 кВ. URL:

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

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

<https://www.yuzhcable.info/index.php?CAT=18&MRI=180109&UN=1>

12. Пункт розподільний 0,4 кВ. URL

<https://www.enersys.in.ua/vyrobnystvo/punkt-rozpodilnyi.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-306. URL:

<https://valon-a.org/production/kameryi-sbornyie-kso-306/kso-306-uz/>

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

18. Вимикач навантаження ВН-РА. URL: <https://valon-a.org/production/razedeniteli-vyisokovoltnyie-rv,-rlnd,-rd/vyiklyuchateli-nagruzki-vn-ra/>

19. Розподільчі комірки ЩО-06. URL: <https://valon-a.org/production/paneli-raspreditelnyix-shhitov-shho-06/shho-06-uz/>

20. Автоматичні вимикачі Rade Консар. URL:

<https://electrocontrol.com.ua/ua/av/kp-1250-f-1250a-3p-avtomaticheskii-vykluchatel-rade-koncar-kp-1250-f1250a-3p-50ka>

21. Автоматичні вимикачі ETIBREAK 2. URL:

<https://electrocontrol.com.ua/ua/av/kp-250-f-200a-3p-avtomaticheskii-vykluchatel-rade-koncar-kp-250-f-200a-3p-35ka>

					<i>ЛНТУ.971029.000 ПЗ</i>	Арк.
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

22. Лічильник електроенергії ACE6000. URL: https://sun-energy.com.ua/index.php?route=product/product&path=59_87&product_id=765&gclid=EAIaIQobChMIwb7Bm8Xy_gIVRq3VCh3uTwMSEAQYBCABEgIuJvD_BwE
23. Трансформатори струму ТШ-0,66А-1, Т-0,66. URL: <https://www.megommetr.com/index.php/transformatory-toka>
24. Амперметр електронний трифазний TENSE, DJ-A96T. URL: https://principal.ua/p710081373-ampermetr-trehfaznyj-elektronnyj.html?source=merchant_center&gclid=EAIaIQobChMI3amCgsby_gIVFEeRBR3KBgX6EAQYASABEGIAePD_BwE
25. Вітрогенератор. URL: <https://bts.net.ua/ua/alternative-energy-sources-and-generators/wind-power-generators/horizontal-wind-power-generators/v-trogenerator-dk-series-rx-45dk-45-kvt-gorizontalny/>
26. Інвертор. URL: <https://greenchip.com.ua/36-0-344-0.html>
27. Акумуляторна батарея Merlion. URL: <https://vario.com.ua/ru/akkumuliator-helevyi-12v-120-ah-acumax-gell-120/>
28. Сонячна панель. URL: <https://energo-partner.com.ua/ua/p681254135-solnechnaya-batareya-axioma.html>
29. Сивко В.Й. Розрахунки з охорони праці: навчальний посібник. Житомир. ЖІТІ, 2001. 152 с.

					<i>ЛНТУ.971029.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43